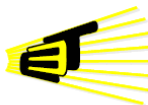


**ESTUDIO DE INCLUSIÓN DE UN SISTEMA SOLAR CONECTADO  
A LA RED DE GENERACIÓN DIESEL DEL MUNICIPIO NUQUÍ  
DEPARTAMENTO DEL CHOCO COLOMBIA**

**JORGE ANDRÉS NÚÑEZ CALDERÓN  
RAFAEL GUTIÉRREZ LARA**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA  
Y DE TELECOMUNICACIONES**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
BUCARAMANGA**

**2018**

**ESTUDIO DE INCLUSIÓN DE UN SISTEMA SOLAR CONECTADO A LA RED  
DE GENERACIÓN DIESEL DEL MUNICIPIO NUQUÍ DEPARTAMENTO DEL  
CHOCO COLOMBIA**

**JORGE ANDRÉS NÚÑEZ CALDERÓN  
RAFAEL GUTIÉRREZ LARA**

Trabajo de grado para optar al título de  
**ESPECIALISTA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

**Director:**  
**JUAN DAVID BASTIDAS RODRIGUEZ**  
**Doctor. En ingeniería con énfasis en ingeniería Eléctrica y Electrónica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
BUCARAMANGA**

**2018**

## *DEDICATORIA*

*A:*

*Díos, por darnos la oportunidad de vivir y por estar con nosotros en cada paso que damos, por fortalecer nuestro corazón e iluminar nuestra mente y por haber puesto en nuestro camino a aquellas personas que han sido nuestro soporte y compañía durante todo el período de estudio.*

*A la memoria de nuestros padres:*

*Sr Núñez y Sr Gutiérrez que siempre creyeron en nuestras capacidades y desearon siempre lo mejor para nosotros*

*A nuestras madres:*

*Carmen y Jesusa, por ser los pilares fundamentales en todo lo que somos, en toda nuestra educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores quieren agradecer comedidamente a Dios primero y a todas las personas que colaboraron de alguna manera para llevar a feliz término, este trabajo, con hincapié en:

A la Universidad Industrial de Santander, por ofertar esta especialidad y generar alta calidad académica, permitiendo adelantar esta especialización.

A los profesores por sus enseñanzas y especialmente la paciencia y aportes del director, Ingeniero Juan David Bastidas, quien con esmero constante realizó un aporte significativo para la culminación de este trabajo.

A los compañeros de clase por su apoyo moral y académico, que culminó en la finalización de la monografía.

Al departamento del Chocó por aportar la ayuda técnica e información requerida y necesaria para llevar a cabo lo cometido.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>18</b>
<b>1. GENERALIDADES MONOGRAFIA .....</b>	<b>20</b>
1.1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	20
1.2.JUSTIFICACION .....	21
1.3.OBJETIVOS.....	22
1.3.1. <i>Objetivo general.</i> .....	22
1.3.2. <i>Objetivos específicos.</i> .....	22
<b>2. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>23</b>
2.1.ANTECEDENTES.....	23
2.1.1. <i>Demanda Eléctrica del municipio de Nuquí</i> .....	24
2.1.2. <i>Capacidad Instalada</i> .....	24
2.1.3. <i>Red de distribución actual</i> .....	25
2.2.BASES TEORICAS.....	26
2.2.1. <i>Radiación solar sobre superficies inclinadas .. ¡Error! Marcador no definido.</i>	
2.2.2. <i>Irradiancia e irradiación solar</i> .....	27
2.2.3. <i>Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos</i> .....	28
2.3.BASES LEGALES.....	31
2.3.1. <i>Ley 1715 de 2014</i> .....	31
<b>3. ESTUDIO TECNICO .....</b>	<b>34</b>
3.1.PERFILES DE CARGA DE LA RED ELÉCTRICA DE NUQUÍ.....	34
3.2.CALCULO DEL RECURSO SOLAR DISPONIBLE .....	41
<b>4. ANALISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
4.1.DIAGRAMA DE FLUJO DEL DISEÑO.....	48
4.1.1 <i>Recolectar información de la Zona</i> .....	49
4.1.2 <i>Evaluar los perfiles de carga</i> .....	50
4.1.3 <i>Dimensionar los elementos del sistema</i> .....	50
4.1.4 <i>Resultados de simulación y análisis económicos.</i> .....	50
4.2. DISEÑO DEL SISTEMA HIBRÍDO DE ENERGIA ELECTRICA.....	51
4.3. SIMULACION DEL DISEÑO FOTOVOLTAICO.....	53
4.3.1. <i>Diseño del proyecto.</i> .....	54

4.3.2. Resultados de la simulación .....	64
<b>5. ESTUDIO ECONOMICO .....</b>	<b>70</b>
5.1. INVERSIÓN .....	70
5.2. PROYECCIONES DE VENTA DE ENERGÍA .....	71
5.3. PROYECCIONES DE INGRESOS POR VENTAS DE ENERGÍA .....	71
5.4. DEPRECIACIONES .....	72
5.5. ESTRUCTURA FINANCIERA .....	72
5.6. ESTADO DE RESULTADOS .....	73
5.7. FLUJO DE CAJA PROYECTADO .....	74
5.8. BALANCE GENERAL .....	75
5.9. EVALUACIÓN ECONÓMICA .....	75
<b>6. PROTOCOLO PROYECTOS FENOGE PARA ZNI .....</b>	<b>78</b>
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>88</b>
<b>8. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>90</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>91</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Unifilar de la localidad. ....	25
Figura 2. Inclinaciones del sol.....	27
Figura 3. Demanda Energética Municipio de Nuquí.....	38
Figura 4. Perfil de Proyección de demanda energética Municipio de Nuquí.....	39
Figura 5. Radiación Solar en Colombia .....	42
Figura 6. Brillo Solar .....	43
Figura 7. Datos Meteorológicos y energía solar Municipio de Nuquí .....	44
Figura 8. Radiación Solar diaria.....	46
Figura 9. Diagrama Unifilar .....	52
Figura 10. Interfaz del software PVSYST V6.68 .....	53
Figura 11. Nuevo proyecto PVSYST V6.68 .....	55
Figura 12. Parámetros Geográficos PVSYST V6.68.....	56
Figura 13. Parámetros de radiación solar durante el año .....	57
Figura 14. Parámetros de campo PVSYST V6.68. ....	58
Figura 15. Definición del sistema fotovoltaico conectado a red PVSYST V6.68....	59
Figura 16. Interfaz, diseño de sistema PVSYST 6.68 .....	63
Figura 17. Resultado de simulación 1 parámetros PVSYST 6.68.....	64
Figura 18. Resultados Simulación 2. PVSYST 6.68 .....	65
Figura 19. Factor de rendimiento de los equipos.....	66
Figura 20. Pérdidas colectivas del sistema y energía útil del sistema. ....	66
Figura 21. Balance de resultados de radiación mensual. ....	67
Figura 22. Resultados de Simulación 3 pérdidas.....	68
Figura 23. Resultados de Simulación 4. Balance.....	69

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Elementos e instrumentos establecidos por la ley 1715 .....	33
Tabla 2. Carga eléctrica en el Municipio de Nuquí- 2015 .....	35
Tabla 3. Carga eléctrica en el Municipio de Nuquí 2016.....	36
Tabla 4. Carga eléctrica en el municipio de Nuquí- 2017 .....	37
Tabla 5. Resumen demanda Energía- Municipio Nuquí .....	38
Tabla 6 Proyección a 20 años demanda energética. ....	40
Tabla 7. Datos Meteorológicos Municipio de Nuquí.....	45
Tabla 8. Resumen de recurso solar Nuquí .....	46
Tabla 9. Elementos del sistema de generación eléctrica Nuquí.....	51

## GLOSARIO

**ACUMULADOR:** Está constituido por las baterías. Es el elemento que se encarga de Almacenar la energía eléctrica generada en épocas de abundancia para utilizarse en épocas de escasez.

**AMPACIDAD:** capacidad de transporte de corriente eléctrica por parte de algún elemento o conductor en un circuito eléctrico.

**AMPERIO (A):** unidad de medida de la corriente eléctrica en el sistema internacional. Equivale al paso de  $6,3 \times 10^{18}$  electrones por segundo en alguna región, zona o punto de un sistema. También se lo puede definir como la cantidad de corriente eléctrica que atraviesa a un elemento cuya resistencia eléctrica sea de  $1 \Omega$  (ohmio) y que esté sometido a una diferencia de potencial de 1 V (voltio).

**AUTO DESCARGA:** proceso mediante el cual la capacidad disponible de una batería se reduce a causa de reacciones químicas parásitas internas. Dicho proceso se acelera al aumentar la temperatura por razones ambientales y/o de uso.

**BATERÍA:** dispositivo que convierte directamente la energía química de sus componentes activos en energía eléctrica, mediante reacción electroquímica que involucra el traspaso de electrones desde un material a otro, a través de un circuito eléctrico.

**CAMPO FOTOVOLTAICO:** se indica con este término al módulo o conjunto de módulos fotovoltaicos de una instalación de generación de electricidad con energía solar fotovoltaica.

**CANDELA:** unidad de intensidad luminosa que equivale a 1/60 de la intensidad de la radiación de un cuerpo negro emergiendo de 1 cm<sup>2</sup> a la temperatura del punto de solidificación del platino (2042 K).

**CARGA:** cantidad de energía eléctrica necesaria para la operación de cualquier dispositivo o aparato eléctrico. A veces se denomina como la carga al aparato mismo que recibe la energía.

**CELDA FOTOVOLTAICA:** dispositivo compuesto de varios elementos semiconductores que convierte directamente la irradiación solar en energía eléctrica; Se le denomina también “celda solar”.

**CELDA DE SILICIO AMORFO:** celda fotovoltaica cuyo componente básico de fabricación es el silicio sin estructura cristalina.

**CELDA DE SILICIO CRISTALINO:** celda fotovoltaica cuyo componente básico de fabricación es el silicio cristalino.

**CELDA DE SILICIO MONO CRISTALINO:** celda fotovoltaica cuyo componente básico de fabricación es el silicio crecido en lingote de una sola estructura cristalina.

**CELDA DE SILICIO POLI CRISTALINO:** celda fotovoltaica cuyo componente básico de fabricación es el silicio crecido en lingote de muchos cristales.

**FACTOR DE FORMA FF:** El factor de forma es la relación entre la potencia máxima que el panel puede entregar y el producto ISC-VOC. Da una idea de la calidad del panel, porque es una medida de lo escarpada que es su curva característica, de forma que cuanto más se aproxima a la unidad, mayor potencia puede proporcionar. Los valores comunes suelen estar entre 0,7 y 0,8.

**GRID TIED:** también llamado sistema eléctrico conectado a la red es una generación eléctrica semiautónoma o un sistema de almacenamiento de energía de red que se conecta a la red para alimentar el exceso de capacidad a la red eléctrica local. Cuando no hay electricidad suficiente, la electricidad extraída de la red eléctrica puede compensar el déficit. Por el contrario, cuando hay exceso de electricidad disponible, se envía a la red eléctrica.

**MÓDULO:** es el dispositivo formado por un conjunto de celdas fotovoltaicas interconectadas, enmarcadas y encapsuladas apropiadamente. También se le define como la unidad reemplazable más pequeña de un campo fotovoltaico.

**PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA:** Punto de funcionamiento ( $IP_{max}$ ,  $VP_{max}$ ) para el cual la potencia entregada es máxima ( $PM=IP_{max} \cdot VP_{max}$ ). Ése es el punto de máxima potencia del panel, y su valor se da en Vatios (W). Cuando trabaja en este punto, se obtiene el mayor rendimiento posible del panel. Sin embargo, no hay que olvidar que en la práctica la tensión de trabajo viene determinado por la batería o el convertidor DC/AC. Los valores típicos de  $IP_{max}$  y  $VP_{max}$  son algo menores a los de ISC y VOC.

**TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO VOC:** Es el máximo voltaje que proporciona el panel, correspondiente al caso en que los bornes están “al aire”. Voc suele ser menor de 22 V para módulos que vayan a trabajar a 12 V.

**RADIACIÓN DIFUSA:** Radiación que llega a la superficie terrestre procedente del sol luego de sufrir dispersión por efecto de nubes, polvo, niebla u otras sustancias de la atmósfera.

**RADIACIÓN DIRECTA:** Radiación que llega a la superficie terrestre procedente del sol sin sufrir desviación, sin dispersarse ni reflejarse en la atmósfera.

**RECURSO SOLAR:** cantidad de insolación que recibe un lugar o región. Se expresa kWh/m<sup>2</sup> por día. Su expresión es más completa cuando se hace referencia a la calidad de esa insolación, es decir, a sus componentes de radiación difusa y directa.

**RENDIMIENTO DE CONVERSIÓN:** relación entre la energía eléctrica que produce una celda fotovoltaica y la energía solar que ella recibe.

**SEMICONDUCTOR:** dispositivo de material sólido que posee una capacidad limitada de conducción de corriente eléctrica.

**SISTEMA FOTOVOLTAICO (SFV):** instalación de módulos fotovoltaicos que tiene asociados otros componentes, proyectada para generar potencia eléctrica a partir de la energía de la radiación solar.

**SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO:** es el que opera sin estar conectado a una red de energía eléctrica ni con un sistema auxiliar de otra fuente energética.

**VIDA ÚTIL:** es el tiempo transcurrido entre el momento de iniciar el desempeño con la eficiencia nominal, hasta el momento en que la eficiencia ha descendido al 80% del valor inicial, criterio que generalmente se aplica al panel fotovoltaico y/o a la lámpara.

**VOLTAJE DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA:** potencial al cual entrega energía eléctrica un sistema fotovoltaico.

**VOLTAJE DE CIRCUITO ABIERTO:** voltaje máximo que produce una celda, módulo o campo fotovoltaico sin aplicación de carga.

## RESUMEN

**TITULO: ESTUDIO DE INCLUSION DE UN SISTEMA SOLAR CONECTADO A LA RED DE GENERACION DIESEL DEL MUNICIPIO NUQUI DEPARTAMENTO DEL CHOCO COLOMBIA\***

**AUTORES: NUÑEZ CALDERON, JORGE ANDRES  
GUTIERREZ LARA, RAFAEL\*\***

**PALABRAS CLAVE:** Fotovoltaico, Energía eléctrica, Diesel, Solar.

La presente investigación tiene como objetivo estudiar la posibilidad de conectar un sistema solar fotovoltaico a una red aislada en el municipio de Nuquí departamento del choco; como solución a la problemática de energización en las zonas geográficamente aisladas e imposibilitadas para la conexión al sistema interconectado de suministro eléctrico en Colombia.

Este proyecto cuenta con los parámetros óptimos para su dimensionamiento, como son el ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos, el tipo y tecnología más adecuada de los paneles y la importancia de la información meteorológica obtenida por el software de la NASA dentro del dimensionamiento fotovoltaico.

Los resultados obtenidos a través de la herramienta de simulación especializada PVsyst V6.6.8 determinaron las condiciones y variables óptimas, las cuales son necesarias para el óptimo funcionamiento del sistema solar fotovoltaico conectado a la red. De igual forma se determina de manera estratégica la combinación de los accesos de energía eléctrica por diésel y solar, bajo un estudio económico sustentable y adquirible donde la implementación y operación del sistema para estas comunidades se haga una realidad en el futuro inmediato, con capacidad hasta el 2038, de otra parte se incluye la información que debe presentar el operador de red para su estudio y aceptación ante el FENOGÉ a fin de obtener los beneficios tributarios de la ley 1715.

---

\* Trabajo de grado. Modalidad: Monografía

\*\* Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.

Director: PhD: Juan David Bastidas

## ABSTRACT

TITLE: STUDY OF INCLUSION OF A SOLAR SYSTEM CONNECTED TO THE DIESEL GENERATION NETWORK OF THE NUQUI MUNICIPALITY DEPARTMENT OF CHOCO COLOMBIA\*

AUTHORS: NÚÑEZ CALDERÓN, JORGE ANDRES

GUTIÉRREZ LARA, RAFAEL\*\*

**Keywords:** Photovoltaic, Electric power, Diesel, solar.

The objective of this research is to study the possibility of connecting a photovoltaic solar system to an isolated network in the municipality of Nuquí department of Choco; as a solution to the problem of energization in geographically isolated areas and impossible for the connection to the interconnected electricity supply system in Colombia.

This project has the optimal parameters for its sizing, such as the angle of inclination of the photovoltaic modules, the most appropriate type and technology of the panels and the importance of the meteorological information obtained by the NASA software within the photovoltaic dimensioning. The results obtained through the specialized simulation tool PVsyst V6.6.8 determined the optimal conditions and variables, which are necessary for the optimal functioning of the photovoltaic solar system connected to the network.

Likewise, the combination of diesel and solar electric energy accesses is strategically determined, under a sustainable and achievable economic study where the implementation and operation of the system for these communities becomes a reality in the immediate future, with capacity up to 2038, on the other hand, the information that must be presented by the network operator for its study and acceptance before FENOGE in order to obtain the tax benefits of Law 1715.

---

\* Degree work. Modality: Monograph

\*\* Faculty of Engineering Physics - Mechanics. School of Electrical, Electronics and Telecommunications Engineering

Director: Juan David Bastidas. PhD Engineer.

## INTRODUCCION

Gran parte del parte del Pacífico colombiano hace parte de las zonas no interconectadas eléctricamente de Colombia (zonas aisladas geográficamente), ya que prácticamente no existe conexión vial con el interior del país, parte de esto, conlleva a que el 96% de la generación de energía eléctrica se produzca a través plantas que utilizan diésel como combustible, generación que no es la más adecuada debido a que este tipo de plantas genera altos niveles de ruido (contaminación auditiva), contaminación por gases emitidos (CO<sub>2</sub>), los cuales, inciden directamente en el cambio climático.

En este sentido la presente investigación tiene como objetivo estudiar la posibilidad de conectar un sistema solar fotovoltaico a una red aislada en el municipio de Nuquí departamento del choco; como solución a la problemática de energización en las zonas geográficamente aisladas y la imposibilidad para la conexión al sistema interconectado nacional de suministro eléctrico en Colombia.

El presente informe contiene 5 capítulos que abordan desde el planteamiento del problema, el desarrollo del marco teórico, la metodología, la presentación y análisis de resultados y las conclusiones y recomendaciones. Finalmente, las referencias bibliográficas.

En el Capítulo I relacionado con el Planteamiento del Problema, se presenta la descripción de la realidad problemática, la identificación y formulación del problema, los objetivos, y la justificación de la investigación.

En el Capítulo II atinente al Marco Teórico, se aborda los antecedentes de la investigación (locales), las bases teóricas y la definición de términos básicos.

En el Capítulo III que corresponde al estudio técnico, se presenta lo fundamental en lo referente al tipo de sistema de energía fotovoltaica a establecer en la región, a fin de establecer la relación entre las variables del estudio.

En el Capítulo IV se hace la presentación y análisis de los resultados, y se aborda una la simulación del diseño fotovoltaico a través del software destinado para tal fin.

En el Capítulo V, se adicionan las conclusiones y recomendaciones. Síntesis de las conclusiones más relevantes, así como las recomendaciones finales obtenidas de la investigación realizada.

Finalmente, se presentan las referencias bibliográficas, se detallan los libros, artículos científicos, tesis y fuentes de internet utilizadas, en el desarrollo de la investigación; y posteriormente los anexos que soportan la investigación.

## **1. GENERALIDADES MONOGRAFIA**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad el Municipio de Nuquí en el Departamento del Chocó, tiene como sistema de abastecimiento de energía eléctrica a una red de distribución alimentada por una planta diésel, cuyos costos de inversión provienen de los recursos del FAZNI (Fondo de apoyo financiero para la energización de las zonas no interconectadas) y es operada por Electronuquí E.S.P. Este sistema de suministro energético tiene altos costos de generación debidos al ACPM (Aceite combustible para motor diésel), combustible que se transporta en barco desde Buenaventura hasta una pequeña isla muy cercana al asentamiento poblacional de Nuquí donde se encuentra la planta diésel. Al mes la planta consume 4.500 galones de ACPM con un costo alrededor de los 43 millones de pesos, sin contar con los costos de transporte del combustible, administración operación mantenimiento.

Para la ejecución de los recursos del FAZNI, se generó un compromiso entre la comunidad organizada en el municipio de Nuquí y el Gobierno Nacional, consistente en el subsidio del 86% del servicio de energía eléctrica en los usuarios de estrato 1 y 2 (que son el 90% de los habitantes); el giro de este subsidio permite suplir parte de la compra del combustible por parte del operador de red. Sin embargo, a menudo los giros se retrasan y Nuquí queda en la oscuridad ya que no hay recursos para comprar el ACPM.

Se desea estudiar una alternativa del suministro energético para el municipio de Nuquí que permita la sostenibilidad económica del sistema de abastecimiento energético, al reducir ampliamente lo costos operacionales, con los cuales la comunidad debe manejar una vez se ha instalado el sistema de generación con los fondos de apoyo del Gobierno.

## **1.2. JUSTIFICACION**

Considerando los altos costos de los combustibles fósiles y el impacto ambiental de su quema en sistemas de generación diésel, los cuales son ampliamente instalados en las zonas no interconectadas con los recursos del FAZNI; y así mismo, siendo consecuentes con las políticas ambientales y energéticas del país donde se busca una matriz más diversificada con menor dependencia de los combustibles fósiles, se hace necesaria la búsqueda de opciones más eficientes de suministro energético en estas zonas del país, proporcionando un servicio de energía eléctrica renovable y sostenible a estas comunidades.

En el caso particular del municipio de Nuquí, se requiere evaluar técnica y financieramente la posibilidad de implementar un sistema híbrido diésel-solar, aprovechando el potencial energético en la zona, el cual permitiría reducir las horas de operación de la planta diésel actualmente instalada y operando

En este sentido es imperioso estudiar el sistema de generación actual y la demanda a fin de establecer las posibilidades de generación híbrida en la red, donde se analizaría la conveniencia tanto técnica y económica de la inyección solar Grid Tied, para reducir costos nivelado de energía - LCOE (por sus siglas en inglés: levelized cost of energy) recuperando el costo de inversión en el sistema en la compra del combustible diésel.

### **1.3. OBJETIVOS**

**1.3.1. Objetivo general.** Realizar un estudio a nivel técnico y económico para la inclusión de un sistema fotovoltaico conectado a la red para el sistema de generación diésel existente en el municipio de Nuquí en el Departamento del Chocó.

#### **1.3.2. Objetivos específicos.**

- Determinar los perfiles de carga actuales en el municipio de Nuquí
- Cuantificar el recurso solar disponible en municipio de Nuquí utilizando bases de datos nacionales e internacionales
- Diseñar el sistema fotovoltaico conectado a la red para el municipio de Nuquí, teniendo en cuenta el sistema de generación Diesel actual
- Realizar la evaluación económica para el sistema fotovoltaico diseñado
- Documentación y Requisitos Generales para la presentación de proyectos al FENOGÉ para ZNI

## 2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.1. ANTECEDENTES

El municipio de Nuquí ubicado en el Departamento del Chocó es una zona del pacífico colombiano, para acceder al casco urbano, solo se puede realizar por vía aérea y/o marítima; Tiene una población cercana a los 7.500 habitantes, incluyendo las zonas aledañas de Pangui, Jurubira Indígena y Jurubira Afro que suman aproximadamente 400 habitantes.

Para el año 2012 la energía en el municipio de Nuquí era muy deficiente, las condiciones para la población era coexistir en la penumbra, contaba con una planta de generación a diésel, en malas condiciones igual que las redes de MT y BT, lo que ocasionaba una generación insuficiente para la población, 6 horas diarias del fluido de energía eléctrica unido a la intermitencia del servicio, lo anteriormente descrito ocasiono un descontento generalizado que llevo a los habitantes realizar una manifestación por las vías de hecho para exigir la mejora del servicio; esto permitió que el ministerio de minas y energía y la Gobernación del Choco se comprometieron a solucionar dichos inconvenientes y ampliar progresivamente las horas de servicio hasta lograr tener el servicio las 24 horas. <sup>2</sup>

En 2015 el ministerio de minas y energía por medio del fondo de FAZNI, otorgó a la empresa GENSA la administración y ejecución de la obra de remodelación de la infraestructura eléctrica del municipio, en el área Rural y urbana; que cobija el pueblo y zonas aledañas con el fin de mejorar las regulaciones de energía eléctrica y brindar un mejor servicio a toda la población. Después de esta inversión, el

---

<sup>2</sup> GUTIERREZ, Carolina. Seis horas de luz en Nuquí. [en línea] Mayo 9 de 2012,El espectador [Recuperado el 18 de Marzo de 2018] Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/actualidad/vivir/seis-horas-de-luz-nuqui-articulo-345033>

municipio cuenta con dos plantas diésel de generación, las cuales deben estar en servicio las 24 horas del día (turno de 12 horas) para garantizar descansos paulatinos entre las máquinas, evitando el deterioro por continuidad en la operación.

3

En este sentido para la remodelación de la infraestructura eléctrica del Municipio, en el área Rural Urbana se tuvo en cuenta los siguientes factores:

**2.1.1. Demanda Eléctrica del municipio de Nuquí.** La demanda de energía eléctrica en Nuquí se concentra principalmente en dos sectores, el sector residencial y el sector comercial y de servicios. Sin embargo, este último puede dividirse en tres grandes grupos, que son el hotelero, el público y el de servicios. Al año 2017, la demanda está compuesta por cerca de 1084 usuarios que consumen alrededor de 2 GWh año y una potencia máxima de 320 kW. [3]

**2.1.2. Capacidad Instalada:** La generación eléctrica en Nuquí se produce exclusivamente con generadores diésel, ubicados en la planta de generación (Parque de generación Nuquí). Esta a su vez posee actualmente dos generadores de 456,5 kVA y potencia pico de 365kW, los cuales operan con intervalos de duración de 12 horas cada uno, conectados en paralelo a un transformador trifásico de 750 kVA

La operación normal del parque generador representa, según cifras de la empresa de energía eléctrica del municipio de Nuquí s.a. E.S.P, el consumo de 54.000 galones de ACPM por año, y un costo de generación de \$ 1.056 PCO/kWh, que

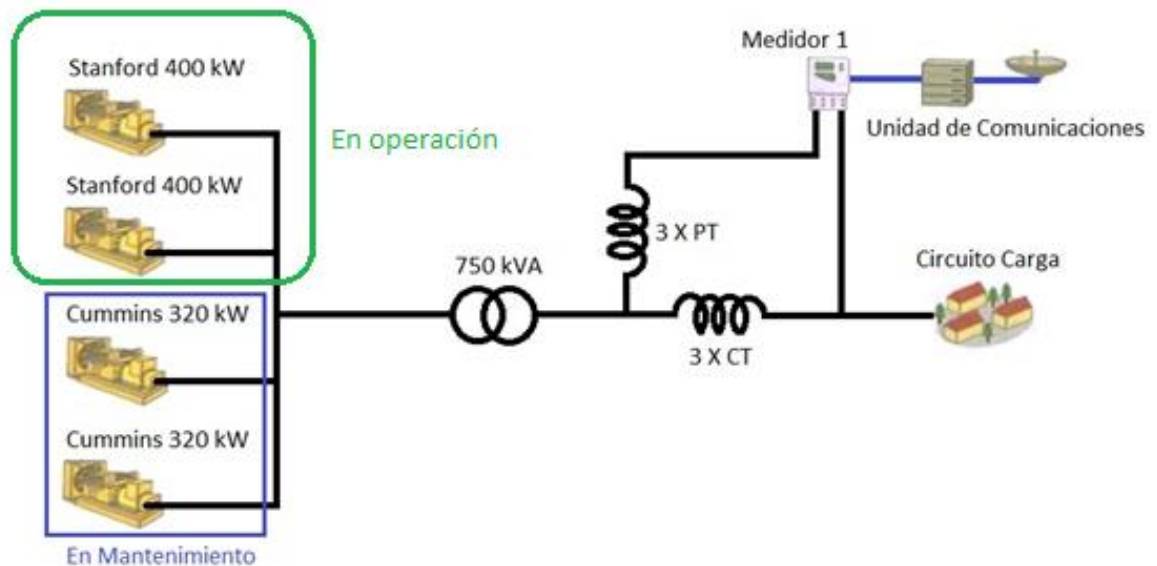
---

<sup>3</sup> IPSE, Inversiones Fondo FAZNI. [en línea] [Recuperado el 20 de marzo de 2018] Disponible en: <http://www.ipse.gov.co/proyectos/fazni-estado>

incluye todos los gastos de inversión, los costos de combustible y los costos de AOM (operación y mantenimiento).<sup>4</sup>

**2.1.3. Red de distribución actual.** Las redes de distribución de Nuquí son operadas por la empresa de energía eléctrica del municipio de Nuquí S.A. E.S.P. El conjunto de generadores diésel que inyecta potencia a un barraje doble de 220 VAC de 1250 Amp, al cual se conecta un transformador trifásico elevador 220V/13.8 kV de 750 kVA, que alimenta las líneas del SDL (sistema de distribución local). Este sistema está compuesto por un circuito sencillo de 13,2 kV de 5,1 km de longitud distribuidos en el municipio y con una potencia total instalada de 952 kVA.<sup>5</sup>

Figura 1. Diagrama Unifilar de la localidad.



Fuente: autores del proyecto

<sup>4</sup>Empresa de Energía del Municipio de Nuquí.

<sup>5</sup> Empresa de Energía del Municipio de Nuquí

## **2.2. BASES TEORICAS**

En este apartado se desglosan la suma de criterios que constituyen en esencia la operacionalización técnica del sistema de energía, definiendo de manera sucinta los aspectos que atañen de manera fundamental el problema que aquí se investiga.

**2.2.1. Radiación solar sobre superficies inclinadas.** La inclinación de una superficie permite aumentar la captación de energía solar, mediante una superficie que esté continuamente apuntada al sol, con seguimiento solar, se maximiza en todo momento la energía colectada. No obstante en módulos FV planos en habitual utilizar una estructura fija que es necesario orientar adecuadamente.

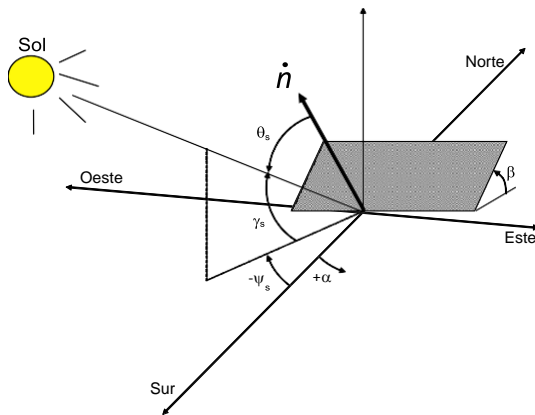
La orientación del generador FV viene definida por dos ángulos, uno acimutal,  $\alpha$ , o ángulo de la normal a la superficie respecto del ecuador del observador y por un ángulo de inclinación,  $\beta$ , de la superficie respecto de la horizontal.

La orientación (acimut) óptima coincide con el ecuador del observador,  $\alpha=0$ , (hacia el Sur en el hemisferio Norte y hacia el Norte en el hemisferio Sur) y es la orientación en la que se aprovecha de modo más completo a la largo del año la radiación del sol.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> ALONSO, José. Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas. [en línea] Agosto 12 de 2017. Europe Sun fields. [Recuperado el 20 de marzo de 2018] Disponible en: [https://myslide.org/the-philosophy-of-money.html?utm\\_source=sunfields-manual-calculo-fotovoltaica-autonomas-pdf](https://myslide.org/the-philosophy-of-money.html?utm_source=sunfields-manual-calculo-fotovoltaica-autonomas-pdf)

Figura 2. Inclinaciones del sol



Fuente. Autores del proyecto. Posición del sol relativa a una superficie captadora inclinada un ángulo  $\beta$  respecto de la horizontal y orientada un ángulo  $\alpha$  respecto del ecuador del observador

**2.2.2. Irradiancia e irradiación solar.** La primera describe la radiación o intensidad de iluminación solar que llega hasta las personas medida como una potencia instantánea por unidad de superficie,  $W/m^2$  o unidades equivalentes.<sup>7</sup>

El segundo término hace referencia a la medición de la energía por unidad de área de radiación solar incidente en una superficie colocada en un lugar y rango de tiempo bien especificados. La magnitud es frecuentemente designada por los medios de comunicación social como radiación 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. Su valor depende críticamente de la latitud, la época del año, las horas del día y el clima imperante en el lugar.<sup>8</sup>

<sup>7</sup> SEBASTIAN, Eliseo. Radiación, Irradiancia, insolación solar. [en línea] febrero 23 de 2018. [Recuperado 21 de marzo de 2018] Disponible en: <http://eliseosebastian.com/radiacion-solar-irradiancia-e-insolacion/>

<sup>8</sup> *Ibíd.* P.2

**2.2.3. Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos.** En general el dimensionado del sistema FV es el cálculo de los elementos del sistema para suministrar de modo fiable un determinado consumo eléctrico. Para ello se involucra el balance entre dos objetivos, normalmente opuestos, máxima fiabilidad y mínimo coste.

El correcto dimensionado de un sistema FV autónomo implica una armonía entre los tamaños del generador FV y batería de acumulación. Por un lado cuanto más potencia de generador y más capacidad de batería se instalen para satisfacer un mismo consumo, se obtendrá un sistema con menor probabilidad de fallo, pero también aumentará su coste.

Existen múltiples combinaciones entre potencia de generador y capacidad de batería que conducen a una misma probabilidad de fallo (así p.e. un sistema con una potencia muy elevada de generador FV necesita muy poca batería y viceversa). Además del óptimo económico de inversión inicial, es necesario tener en cuenta que un sistema con mucha potencia de generador FV en relación con la capacidad de la batería conduce un desperdicio energético por encontrarse la batería completamente cargada. En el caso de un sistema con excesiva capacidad de batería en relación con la potencia del generador FV, se tendrán problemas para conseguir cargar la batería completamente, con los consecuentes efectos de degradación y reducción de su tiempo de vida.

En el dimensionado de los sistemas FV básicamente se pueden encontrar dos metodologías:

- **Probabilidad de pérdida de carga LLP**, probabilidad de pérdida de carga, indicador de que el sistema falle o no sea capaz de suministrar el consumo requerido. Por ejemplo una LLP del 1% indicaría que a largo término la disponibilidad del sistema para el consumo de diseño sería del 99%. Es un método basado en cálculos con ordenador. Se especifica el consumo de diseño,

incluyendo los rendimientos del regulador de carga, de carga de la batería, y del inversor. Se trata de utilizar los modelos de los distintos componentes (radiación solar, generador, batería, regulador...) para determinar cuanta energía de generador es necesaria para suministrar el consumo de diseño con una determinada fiabilidad o probabilidad de fallo. Esto depende del tamaño del generador y de la batería y de la radiación solar disponible. La LLP depende pues del tratamiento estadístico de los datos de radiación solar.

- **“Amperios-hora”**. Estos métodos se basan en el cálculo del consumo diario en amperios-hora, teniendo en cuenta las pérdidas entre la batería y las cargas y el rendimiento de carga de la batería. La batería se dimensiona teniendo en cuenta el *“número de días de autonomía”*, entendido como aquel número de días durante los cuales la batería puede satisfacer el consumo de una determinada instalación sin generación FV (con radiación solar nula). Para dimensionar el generador FV y obtener su orientación óptima son necesarios los datos de irradiación del lugar de la instalación. En el caso más normal se supone un consumo constante durante todo el año, en cuyo caso se necesitan los valores diarios medios mensuales en el plano del generador para el peor mes del año y el ángulo óptimo de inclinación.

Mientras que éste último método se puede realizar con cálculos simples, el primero requiere cálculos mediante ordenador

Los pasos fundamentales en el proceso de dimensionado son:

- Determinación de los consumos.
- Cálculo de la radiación solar disponible sobre superficies en diferentes orientaciones (acimut,  $\alpha$ , o ángulo que mide la desviación respecto del sur, y la inclinación,  $\beta$ , o ángulo formado por la superficie de los módulos y el plano horizontal).
- Cálculo de la capacidad de batería.

- Cálculo de la potencia necesaria del generador FV.
- Selección del regulador de carga
- Selección del inversor.
- Dimensionado del cableado

Para el dimensionado de los sistemas FV se deben tener en cuenta también y definir;

$N$ , el **número máximo de días de autonomía** previstos para la instalación en función de las características climatológicas de la zona y de la aplicación o uso final de la instalación. A la hora de establecer  $N$ , es necesario considerar también las limitaciones económicas, ya que a mayor sea  $N$ , mayor será la inversión.

$V_N$ , la **tensión nominal de la instalación**. La tensión (voltaje) nominal del sistema es normalmente la necesaria para las cargas más elevadas. Si predominan cargas AC, debe elegirse una tensión DC que sea compatible con la entrada del inversor. Si las demandas de potencia más elevadas son para el consumo de aparatos DC, debe elegirse el valor de la tensión de la carga mayor.

Es necesario tener en cuenta que la determinación del voltaje también determina la corriente del sistema, que es necesario mantener en unos niveles aceptables.

DOD, **Profundidad máxima de descarga permisible para la batería**. Es el porcentaje de la capacidad de la batería que puede ser descargado sin causar daños o una limitación de la vida útil de la batería. Por ejemplo, una DOD del 70% indica que la batería se puede descargar un 70% antes de que el regulador de carga corte el consumo.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> ALONSO. Op. Cit. P. 22

## **2.3. BASES LEGALES**

**2.3.1. Ley 1715 de 2014.** Objetivos: 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 participación en las 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 <sup>10</sup>

De forma complementaria a la determinación legal de tal objeto, con todas las implicaciones que ello conlleva, la Ley 1715 establece en su artículo 4º que:

La promoción, estímulo e incentivo al desarrollo de las actividades de producción y utilización de fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, se declara como un asunto de utilidad pública e interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar la diversificación del abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección del ambiente, el uso eficiente de la energía y la preservación y conservación de los recursos naturales renovables.

Así mismo, de acuerdo con su artículo 2, la ley cobija dentro de sus finalidades las siguientes relacionadas con la formulación de políticas, estrategias y adopción de instrumentos:

---

<sup>10</sup> CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1715 de 2014. [en línea] [Recuperado 21 de marzo de 2018] Disponible en: [http://www.upme.gov.co/normatividad/nacional/2014/ley\\_1715\\_2014.pdf](http://www.upme.gov.co/normatividad/nacional/2014/ley_1715_2014.pdf)

- Orientar las políticas públicas y definir los instrumentos tributarios, arancelarios, contables y de participación en el mercado energético colombiano que garanticen el cumplimiento de los compromisos señalados en el párrafo anterior...
- Fijar las bases legales para establecer estrategias nacionales y de cooperación que contribuyan al propósito de la ley.

Adicionalmente, en el artículo 3º de la Ley 1715 se indica que el ámbito de aplicación de las disposiciones allí establecidas debe darse conforme a lo dispuesto en las Leyes 142 y 143 de 1994 y otras normas complementarias, lo cual, concordantemente con todo el texto de la ley, implica la prevalencia de una política orientada a la competencia de mercado en lo que al servicio de energía eléctrica se refiere, así como de los principios de eficiencia, calidad, continuidad, adaptabilidad, neutralidad, solidaridad y equidad dispuestos en el artículo 6 de la Ley 143.

**Instrumentos:** La Ley 1715 plantea entonces los fundamentos de una estrategia bajo un enfoque de mercado competitivo, consistente en crear instrumentos de diferente tipo, algunos de los cuales requieren desarrollos particulares (ej. instrumentos regulatorios), en tanto que otros quedan plenamente definidos en la misma ley (ej. instrumentos de incentivo fiscal).

A continuación en la tabla N° 1 se muestra los principales elementos e instrumentos establecidos por la Ley 1715, los cuales han sido clasificados en económicos, normativos y otros, y a su vez, según cada caso, se han tipificado según el tratamiento en cada contexto de aplicación. Por ejemplo, los instrumentos y elementos económicos se han tipificado en fiscales, de mercado y de financiamiento.

Tabla 1. Elementos e instrumentos establecidos por la ley 1715

Incentivos fiscales (económicos)	<p><b>1.</b> Reducción anual de la renta por valor equivalente al 50% de la inversión, durante 5 años, sin superar el 50% de la renta líquida</p> <p><b>2.</b> Exclusión de IVA a equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados para producción, utilización y medición/ evaluación</p> <p><b>3.</b> Exención de aranceles para maquinaria, equipos, materiales e insumos no producidos nacionalmente</p>
Disposiciones de mercado (económicos)	<b>4.</b> Valoración de los beneficios ocasionados por la generación distribuida, a ser incorporados en la respectiva remuneración.
Mecanismos de financiamiento(económicos)	<b>5.</b> Creación del FENOGE (Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía)
Disposiciones ambientales(normativos)	<p><b>6.</b> Definición de parámetros y criterios ambientales a ser cumplidos por proyectos con FNCER, de acuerdo con cada fuente o tecnología</p> <p><b>8.</b> Definición de ciclo de evaluación rápido para proyectos con FNCE</p>
Divulgación(otros)	<b>9.</b> Programas de divulgación masiva y focalizada para informar al público sobre requisitos, procedimientos, beneficios y potenciales para desarrollar proyectos a pequeña escala con FNCER UPME En ejecución (talleres y SGI & C – FNCER).
elementos ZNI (otros )	<p><b>10.</b> Conformación de áreas exclusivas y otros esquemas empresariales</p> <p><b>11.</b> Incentivos para la sustitución de diésel</p> <p><b>12.</b> Administración y utilización de recursos del FAZNI y FENOGE con criterios de costo-efectividad, productividad, sostenibilidad, etc.</p>

Fuente: CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1715 de 2014

### 3. ESTUDIO TECNICO

#### 3.1. PERFILES DE CARGA DE LA RED ELÉCTRICA DE NUQUÍ.

Para dar cumplimiento al objetivo planteado en el presente estudio, se analizó el historial de la demanda de energía eléctrica del municipio de Nuquí, Chocó. A través de este análisis se obtuvo una matriz de datos explicada a continuación. Se revisaron los datos presentados en fuentes nacionales como la SIMEC (Sistema de información minero energético colombiano), más específicamente en la SIEL (Sistema De Información Eléctrico Colombiano).<sup>11</sup>

Se obtiene una base de datos con los perfiles de carga para el mes de mayor demanda (diciembre) en los años 2015, 2016 y 2017. Al no existir más tiempo de registro de esta información se presentan estos datos.

En las Tablas 2, 3 y 4 describen la información evidenciando los tipos de energía y el factor de potencia según la demanda de acuerdo con los años mencionados.

---

<sup>11</sup> MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Proyección regional de demanda de energía eléctrica y potencia máxima en Colombia. UPME. [en línea] Julio de 2016 [Recuperado 21 de marzo de 2018] Disponible en: [http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/UPME\\_Proyeccion\\_demanda\\_regional\\_energia\\_electrica\\_Julio\\_2016.pdf](http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/UPME_Proyeccion_demanda_regional_energia_electrica_Julio_2016.pdf)

Tabla 2. Carga eléctrica en el Municipio de Nuquí- 2015

2015 Diciembre	Energía Activa (kWh)	Energía Reactiva (kWh)	Energía Aparente (kWh)	Factor de Potencia
1	6,257	2,012	6681,7	0,95
2	6,303	1,768	6704,1	0,95
3	6,221	1,769	6585,1	0,95
4	6,244	1,732	6571,1	0,96
5	6,240	1,234	6603,0	0,96
6	6,143	1,025	6633,5	0,96
7	6,106	1,964	6531,6	0,95
8	6,238	2,087	6586,6	0,96
9	6,209	2,036	6412,6	0,95
10	6,225	1,933	6441,7	0,96
11	6,329	2,124	6652,3	0,95
12	6,068	2,031	6807,3	0,95
13	6,037	2,013	6465,8	0,95
14	5,958	1,763	5175,8	0,95
15	6,099	1,842	6280,0	0,95
16	6,024	1,865	6284,5	0,95
17	6,042	2,092	6576,1	0,96
18	5,193	1,877	5499,6	0,95
19	6,011	1,868	6444,8	0,95
20	6,033	1,843	6209,4	0,96
21	5,049	2,027	5267,2	0,95
22	6,083	1,864	5494,9	0,95
23	6,046	2,022	6959,3	0,95
24	6,067	1,869	6510,5	0,96
25	6,015	1,855	5465,5	0,96
26	5,064	1,895	5574,2	0,96
27	6,038	2,085	6403,5	0,96
28	6,032	1,929	6443,7	0,95
29	6,083	1,941	6411,1	0,96
30	5,087	1,733	5493,8	0,95
31	6,060	1,931	6547,7	0,96
	<b>179,989</b>	<b>56,174</b>	<b>189252,2</b>	<b>0,954</b>

Fuente: Empresa de Energía del Municipio de Nuquí.

Tabla 3.Carga eléctrica en el Municipio de Nuquí 2016

<b>2016 Diciembre</b>	<b>Energía Activa (kW/h)</b>	<b>Energía Reactiva (kW/h)</b>	<b>Energía Aparente (kW/h)</b>	<b>Factor de Potencia (FP)</b>
1	6,475	2,049	6791,27	0,95
2	6,408	1,988	6709,05	0,96
3	6,501	1,976	6795,10	0,95
4	6,384	1,938	6672,19	0,96
5	6,650	2,131	6983,17	0,95
6	6,434	2,020	6743,50	0,95
7	6,326	1,988	6630,59	0,95
8	6,451	2,048	6768,56	0,96
9	6,603	2,068	6919,46	0,96
10	6,651	1,989	6941,69	0,96
11	6,488	2,010	6792,29	0,96
12	6,599	2,049	6910,25	0,96
13	6,246	2,027	6566,38	0,95
14	5,965	1,868	6525,89	0,95
15	6,098	1,934	6397,15	0,95
16	6,118	1,866	6396,39	0,96
17	6,356	2,009	6666,31	0,96
18	6,192	1,839	6459,23	0,96
19	6,238	1,878	6514,38	0,96
20	6,030	1,855	6308,65	0,96
21	6,338	2,037	6657,14	0,96
22	6,191	1,964	6494,85	0,95
23	6,626	2,129	6959,25	0,95
24	6,221	1,919	6510,49	0,95
25	6,174	1,855	6447,05	0,96
26	6,350	1,869	6894,52	0,95
27	6,555	2,183	6908,54	0,95
28	6,048	1,925	6346,86	0,95
29	6,292	1,930	6581,08	0,96
30	5,337	1,641	5583,46	0,96
31	6,360	1,942	6649,64	0,96
	<b>189,355</b>	<b>59,055</b>	<b>198630</b>	<b>0,956</b>

Fuente: Empresa de Energía del Municipio de Nuquí.

Tabla 4. Carga eléctrica en el municipio de Nuquí- 2017

<b>2017 Diciembre</b>	<b>Energía Activa (kW/h)</b>	<b>Energía Reactiva (kW/h)</b>	<b>Energía Aparente (kW/h)</b>	<b>Factor de Potencia (FP)</b>
1	7,218	2,197	7545,24	0,96
2	7,500	2,188	7573,31	0,96
3	7,030	2,264	7385,93	0,95
4	7,129	2,177	7453,56	0,96
5	7,072	2,190	7403,06	0,96
6	6,839	2,075	7146,64	0,96
7	6,754	2,057	7060,47	0,96
8	6,630	1,991	6922,81	0,96
9	6,652	2,006	6947,42	0,96
10	6,471	1,976	6766,08	0,96
11	7,123	2,204	7456,10	0,96
12	6,753	2,032	7244,09	0,96
13	7,020	2,125	7335,03	0,96
14	7,129	2,241	7491,79	0,95
15	6,723	2,046	7084,59	0,96
16	7,733	2,214	7474,60	0,96
17	6,733	2,042	7131,34	0,96
18	7,009	2,139	7328,26	0,96
19	6,797	2,125	7312,41	0,96
20	7,049	2,075	7348,28	0,96
21	7,069	2,167	7412,55	0,96
22	7,048	2,179	7377,32	0,96
23	7,120	2,169	7443,05	0,96
24	7,123	2,236	7556,10	0,96
25	6,723	2,046	7084,59	0,96
26	6,605	2,081	7211,93	0,96
27	6,460	1,968	6753,51	0,96
28	7,119	2,176	7357,92	0,96
29	6,966	2,129	7284,36	0,96
30	7,397	2,228	7438,62	0,95
31	7,454	2,244	7402,51	0,95
	<b>208843</b>	<b>63846</b>	<b>218356,5</b>	<b>0,959</b>

Fuente: Empresa de Energía del Municipio de Nuquí.

Para la estimación de la demanda siempre es fundamental que los datos sean lo más realistas posibles para evitar desviaciones en el dimensionamiento. Por ello se realizó una sumatoria de la energía activa y se discretizó en comparación de los años donde se llevó a cabo la recolección de datos, para finalmente obtener la Tabla 4 y la Figura 2.

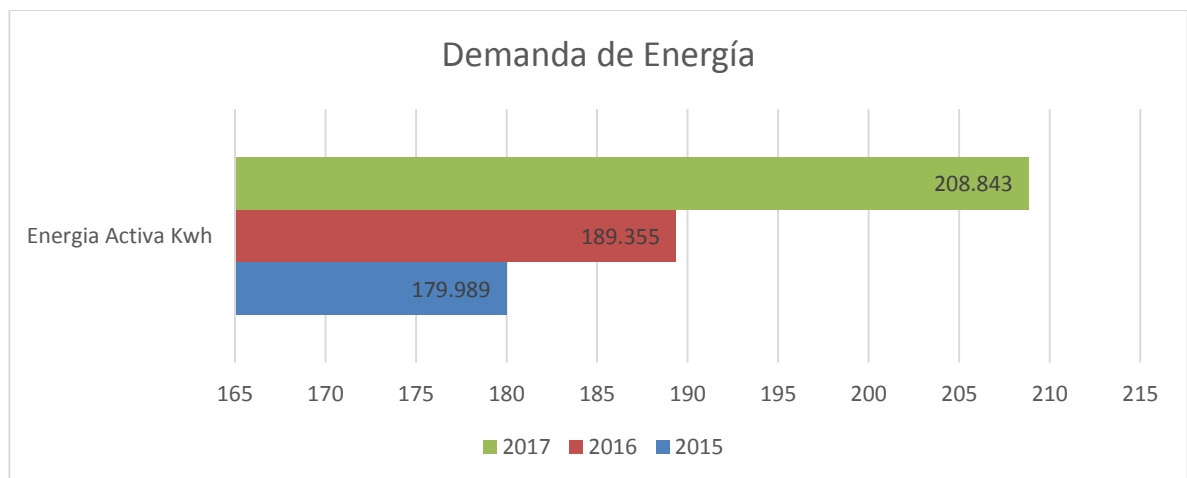
Tabla 5. Resumen demanda Energía- Municipio Nuquí

Años	Energía Activa (kWh/mes)
2015	179,989
2016	189,355
2017	208,843
<b>2018</b>	<b>308,460</b>

Fuente: Empresa de Energía del Municipio de Nuquí.

La energía Activa correspondiente al mes de diciembre del 2018 se proyectó con la información obtenida de los años antes mencionados ya que el operador de red Electronuquí no suministró más información para este estudio.

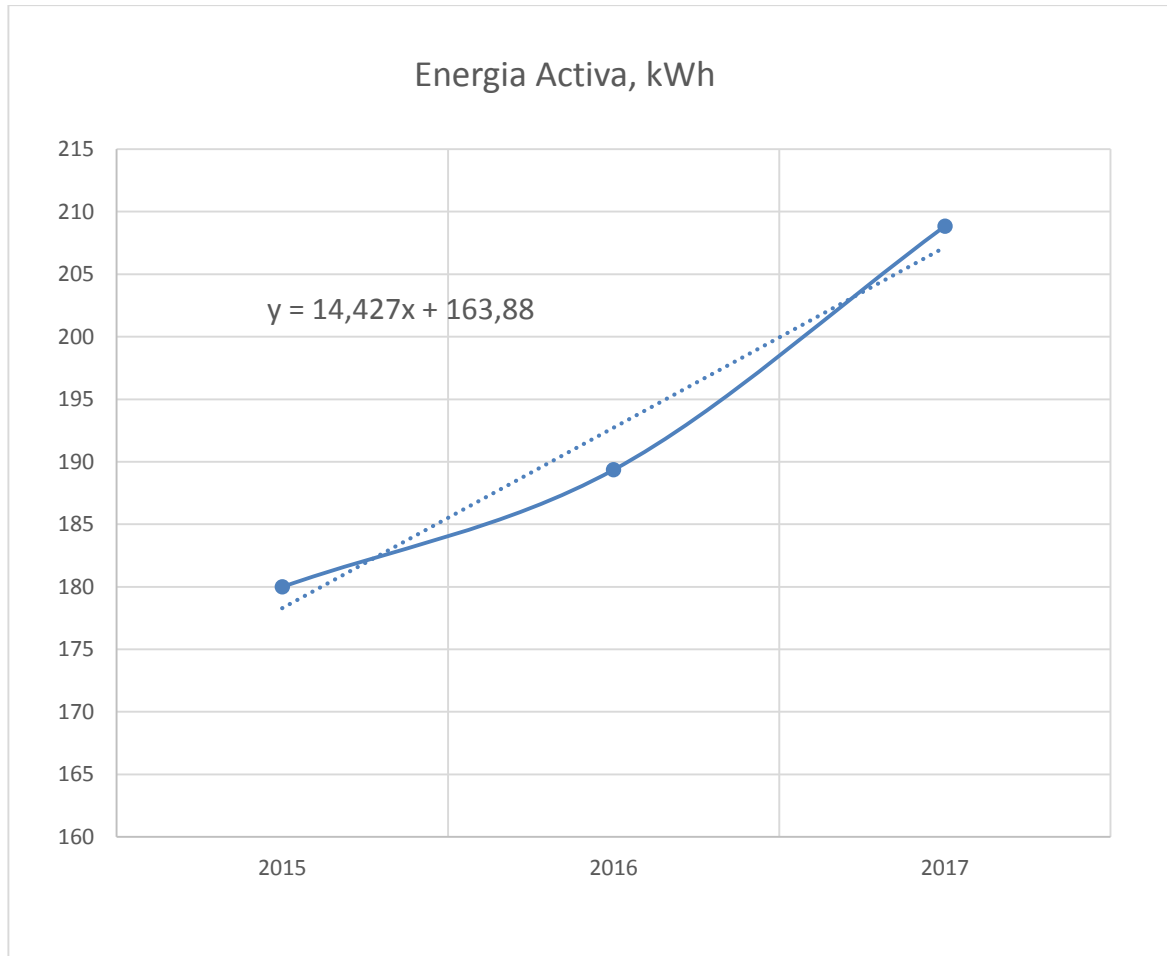
Figura 3. Demanda Energética Municipio de Nuquí



Fuente: Autores del proyecto, Demanda de energía del Municipio de Nuquí en el periodo de tiempo 2015 a 2017.

Es necesario analizar los datos históricos del consumo de energía en el municipio, con el fin de obtener la suficiente información para generar escenarios de proyección de la demanda de energía eléctrica. Para ello, se realiza una regresión lineal, generando un perfil lineal de proyección de demanda hasta por 20 años.

Figura 4. Perfil de Proyección de demanda energética Municipio de Nuquí.



Fuente: Autores del proyecto, Demanda de energía del Municipio de Nuquí en el periodo de tiempo 2015 a 2017.

Una vez expresada la ecuación lineal de la proyección se procede a realizar la matriz de cómputo para establecer datos de carga año a año hasta el 2038, la cantidad de energía activa demandada en el municipio de Nuquí en kWh, (ver Tabla 6.)

Tabla 6 Proyección a 20 años demanda energética.

<b>Años</b>	<b>Energía Activa kWh/mes</b>
2015	179,989
2016	189,355
2017	208,843
2018	308,460
2019	322,930
2020	337,400
2021	351,870
2022	366,340
2023	380,810
2024	395,280
2025	409,750
2026	424,220
2027	438,690
2028	453,160
2029	467,630
2030	482,100
2031	496,570
2032	511,040
2033	525,510
2034	539,980
2035	554,450
2036	568,920
2037	583,390
2038	<b>597,860</b>

Fuente: autores del proyecto

Cabe resaltar que un perfil más fiel a la realidad se podría construir con una aproximación polinomial, pero esta no se puede desarrollar debido a que no existe

la densidad de datos históricos necesaria con la cual poder generar dicha evaluación.

Con el estudio realizado se concluye que para el año 2038 la demanda energética abarcará un máximo aproximado de 600.000 kWh.

### **3.2. CALCULO DEL RECURSO SOLAR DISPONIBLE**

La disponibilidad de energía solar depende de varios factores como lo son la hora del día, la época del año, la situación atmosférica (día-noche), la altura del sol sobre el horizonte, las nubes, las nieblas, el grado de contaminación por material sólido suspendido coloidalmente (smog), calimas, etc.

Para determinar el recurso solar es necesario investigar las bases de datos más fiables, por ello se investigó los documentos ofrecidos por la UPME (Unidad de Planeación Minero-energética), entidad gubernamental colombiana, en la cual realizaron estudios de evaluación de la radiación solar en Colombia; Como muestra de ello un atlas de radiación.<sup>12</sup>

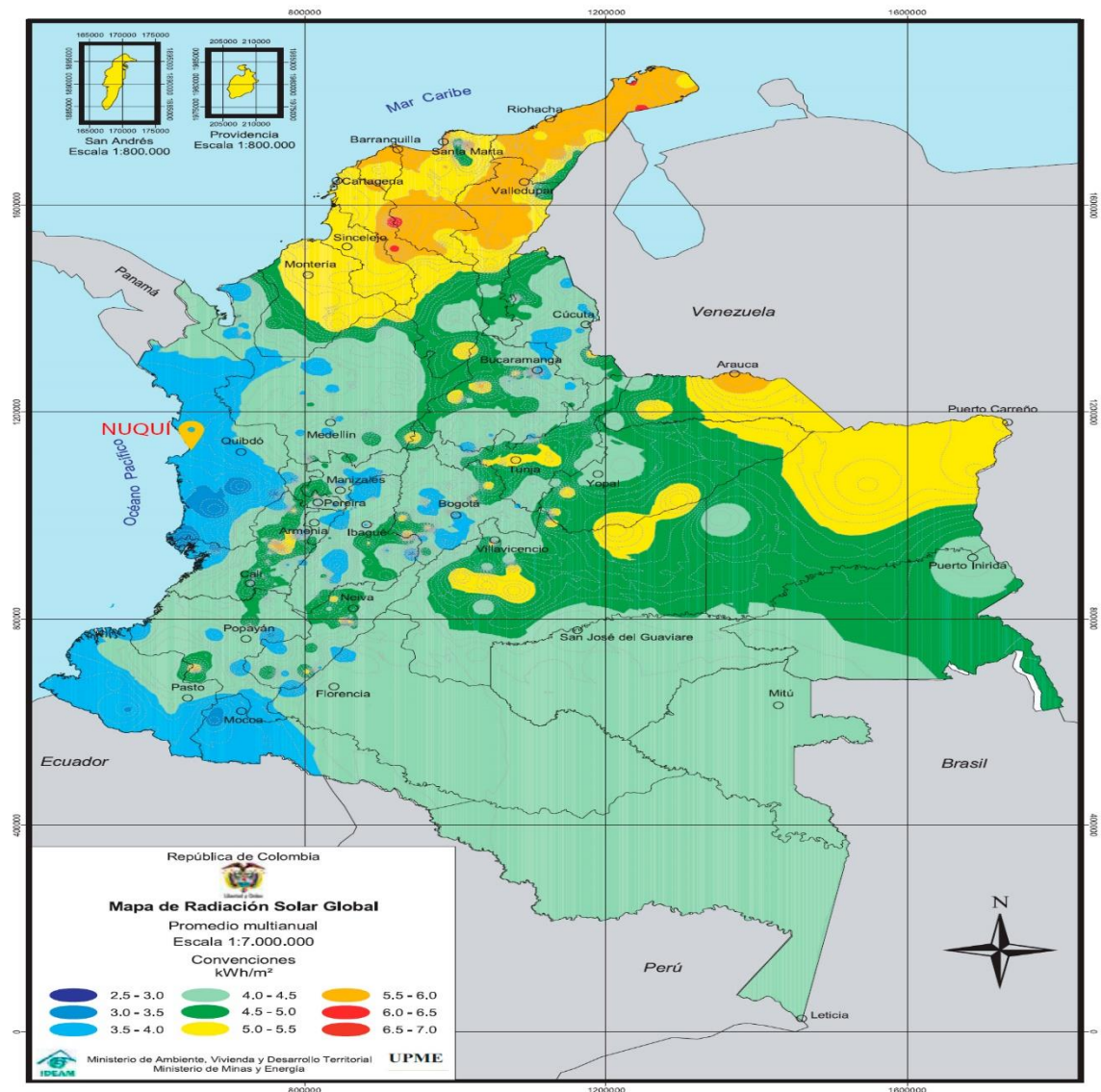
En el cual se expone, la radiación solar global mes tras mes, así como su promedio anual, incluyendo otros parámetros como brillo solar, ver Figuras 4 y 5 respectivamente. Esta información se validó gracias simulaciones generadas con cálculos estadísticos, obtenidos de hojas electrónicas de Excel. Las cuales fueron alimentadas diariamente con valores de la radiación global, brillo, humedad, temperaturas máximas y mínimas, asociando las coordenadas de cada estación y la fecha de los datos tomados. Esto se realizó en diferentes estaciones de monitoreo meteorológico, Las cuales se encuentran puestas a lo largo del país,

---

<sup>12</sup>UPME. Atlas radiación solar en Colombia. [en línea] 2017 [Recuperado 03 de Abril de 2018] Disponible en: [http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/Atlas/Atlas\\_radiacion\\_solar\\_2017.pdf](http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/Atlas/Atlas_radiacion_solar_2017.pdf)

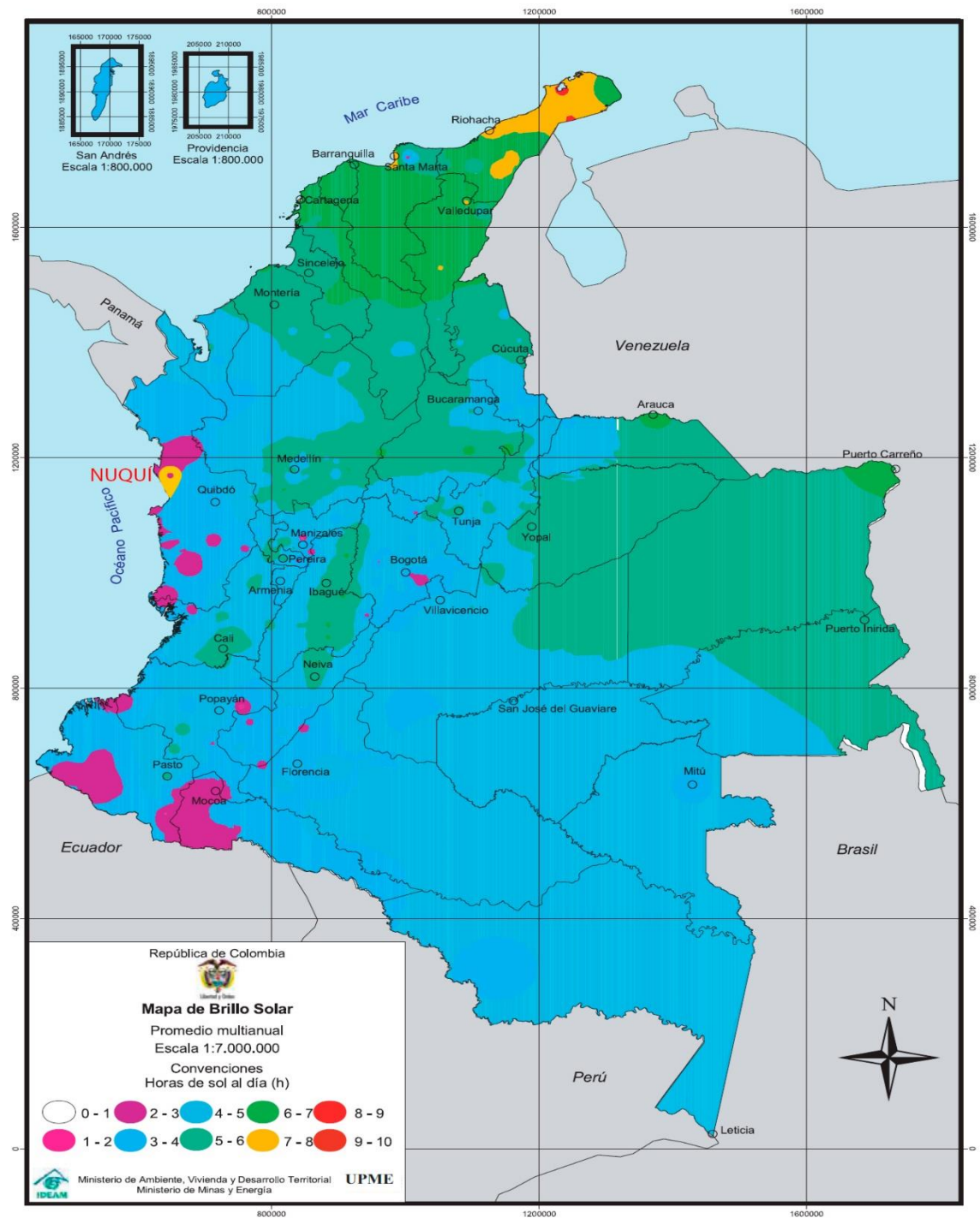
donde se almacenaron históricos de estos parámetros y por medio de un modelo matemático (Ångström) se determinaron dichos resultados, expuestos en mapas con diferentes escalas de colores.

Figura 5. Radiación Solar en Colombia



Fuente: UPME. Mapas de radiación solar global sobre una superficie plana. [en línea] 2017 [Recuperado 03 de abril de 2018] Disponible en: [http://www.upme.gov.co/docs/atlas\\_radiacion\\_solar/2-mapas\\_radiacion\\_solar.pdf](http://www.upme.gov.co/docs/atlas_radiacion_solar/2-mapas_radiacion_solar.pdf)

Figura 6. Brillo Solar



Fuente: UPME. Mapas de brillo solar. [en línea] 2017 [Recuperado 03 de abril de 2018] Disponible en: [http://www.upme.gov.co/docs/atlas\\_radiacion\\_solar/2-mapas\\_radiacion\\_solar.pdf](http://www.upme.gov.co/docs/atlas_radiacion_solar/2-mapas_radiacion_solar.pdf)

Por otra parte, analizando las reseñas internacionales, la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) ofrece ayuda al entregarnos datos de radiación solar, entre otros, según el mes del año en la ubicación exacta de la cabecera municipal de Nuquí, localizada en las coordenadas 5°42'25": 5.706944 Latitud Norte Y 77°16'13": -77.270277. <sup>13</sup>

Estos resultados se presentan en la Figura 5, donde se pueden apreciar los parámetros típicos del clima del municipio. Así como también en la Tabla 6, podemos observar con ayuda del software canadiense RETScreen Expert. El cual recomendado por la NASA, detalla puntualmente los datos anteriores incluyendo la ubicación geográfica requerida, así como el cambio de la radiación solar diaria según el mes del año, visible en la Figura 6.

Figura 7. Datos Meteorológicos y energía solar Municipio de Nuquí

ATMOSPHERIC SCIENCE DATA CENTER		NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data		NASA				
Latitude 5.707 / Longitude -77.27 was chosen.								
	Unit	Climate data location						
Latitude	°N	5.707						
Longitude	°E	-77.27						
Elevation	m	210						
Heating design temperature	°C	20.70						
Cooling design temperature	°C	29.65						
Earth temperature amplitude	°C	4.72						
Frost days at site	day	0						
Month	Air temperature °C	Relative humidity %	Daily solar radiation - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d	Atmospheric pressure kPa	Wind speed m/s	Earth temperature °C	Heating degree-days °C-d	Cooling degree-days °C-d
January	24.6	85.8%	4.06	98.6	1.8	25.0	0	461
February	25.0	84.7%	4.67	98.6	1.4	25.4	0	432
March	25.0	85.1%	5.02	98.6	1.3	25.6	0	475
April	24.9	87.3%	4.21	98.6	1.3	25.4	0	452
May	25.0	86.2%	4.01	98.7	1.6	25.4	0	470
June	24.9	84.8%	3.58	98.7	1.7	25.3	0	456
July	24.8	82.8%	4.04	98.7	1.8	25.1	0	471
August	24.7	83.9%	3.86	98.8	2.0	25.2	0	466
September	24.2	86.4%	3.49	98.8	2.2	24.7	0	434
October	24.0	87.7%	3.55	98.7	2.2	24.4	0	438
November	23.9	88.8%	3.46	98.7	2.2	24.2	0	418
December	24.3	87.8%	3.51	98.6	2.0	24.6	0	448
<b>Annual</b>	24.6	85.9%	3.95	98.7	1.8	25.0	0	5421
Measured at (m)					10.0	0.0		

Fuente: 11. NASA. Surface meteorology and Solar Energy. [en línea] [Recuperado 03 de abril de 2018] Disponible en: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=5.706944444444&lon=-77.2702777777777777&submit=Submit>

<sup>13</sup> NASA. Surface meteorology and Solar Energy. [en línea] [Recuperado 03 de abril de 2018] Disponible en: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=5.706944444444&lon=-77.2702777777777777&submit=Submit>

Tabla 7. Datos Meteorológicos Municipio de Nuquí.

### Ubicación y datos meteorológicos

RETScreen Expert

Archivo Ubicación Instalación Energía Costo Emisión Finanzas Riesgo Informe

Seleccionar ubicación de datos meteorológicos... Analizador de energía virtual... Abrir

Mostrar mapa Zoom Carretera

Mostrar datos Mostrar gráfico Mostrar notas

Paso 1 - Condiciones de referencia del sitio Opciones Ayuda

---

RETScreen - Ubicación Suscriptor: Visualización

Condiciones de referencia del sitio

Ubicación de datos meteorológicos: Colombia - Nuquí Localización de la instalación: Colombia

**Legenda**

- Localización de la instalación
- Ubicación de datos meteorológicos

---

País: Colombia

Provin./Estado: n/d

Ubicación de datos meteorológicos: Nuquí [Ver mapa](#)

Latitud: 5,7 °N

Longitud: -77,3 °E

Zona climática: 1A Muy caliente - Húmedo

Elevación: 67,8 m

Temperatura de diseño de la calefacción: 20,7 °C

Temperatura de diseño del aire acondicionado: 29,6 °C

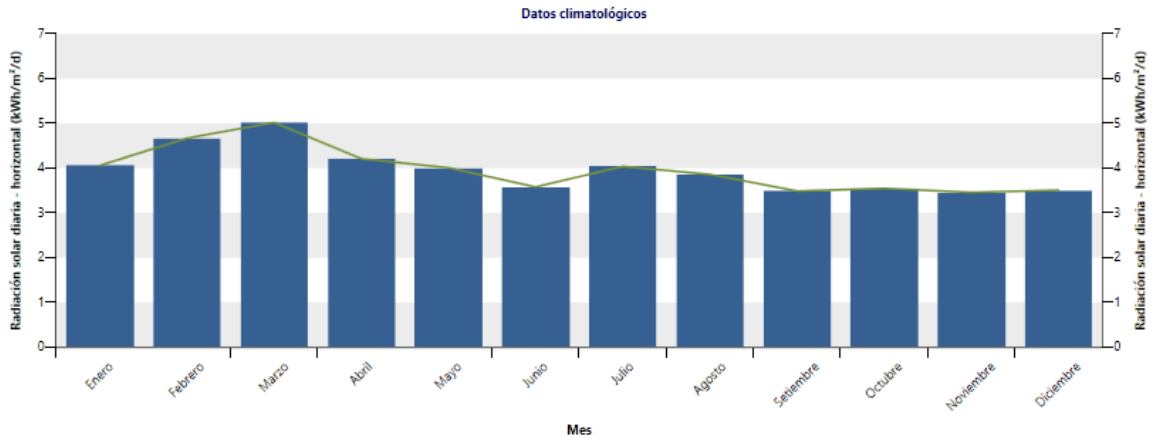
Amplitud de la temperatura del suelo: 5,5 °C

**Fuente**  
NASA  
NASA  
NASA  
NASA  
NASA

	Temperatura del aire	Humedad relativa	Radiación solar diaria - horizontal	Precipitación	Presión atmosférica	Velocidad del Viento	Temperatura del suelo	Días-grado de calentamiento 18 °C	Días-grado de enfriamiento 10 °C
Mes	°C	%	kWh/m <sup>2</sup> /d	mm	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Enero	24,6	85,8%	355,50	4,06	98,6	1,8	25,0	0	453
Febrero	25,0	84,7%	237,77	4,67	98,6	1,4	25,4	0	420
Marzo	25,0	85,1%	254,19	5,02	98,6	1,3	25,6	0	465
Abril	24,9	87,3%	377,64	4,21	98,6	1,3	25,4	0	447
Mayo	25,0	86,2%	489,43	4,01	98,7	1,6	25,4	0	465
Junio	24,9	84,8%	478,65	3,58	98,7	1,7	25,3	0	447
Julio	24,8	82,8%	491,60	4,04	98,7	1,8	25,1	0	459
Agosto	24,7	83,9%	466,07	3,86	98,8	2,0	25,2	0	456
Setiembre	24,2	86,4%	453,10	3,49	98,8	2,2	24,7	0	426
Octubre	24,0	87,7%	449,85	3,55	98,7	2,2	24,4	0	434
Noviembre	23,9	88,8%	456,50	3,46	98,7	2,2	24,2	0	417
<b>Anual</b>	<b>24,6</b>	<b>85,9%</b>	<b>4.939,76</b>	<b>3,95</b>	<b>98,7</b>	<b>1,8</b>	<b>25,0</b>	<b>0</b>	<b>5.331</b>
<b>Fuente</b>	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Medido a						10	0		

Fuente: pvsyst/software/Download. [en línea] [Recuperado 03 de abril de 2018] Disponible en: <http://www.pvsyst.com/en/software/download>.

Figura 8. Radiación Solar diaria



Fuente: “RETScreen | Natural Resources Canada.” [en línea] [recuperado 20 de abril de 2018]  
 Disponible en: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>.

Una vez evaluados estos datos podemos resumirlos, en una tabla que evidencie los parámetros más relevantes para nuestro estudio, calculando finalmente el promedio de horas y radiación específica obtenida en la zona de estudio. Ver Tabla 7.

Tabla 8. Resumen de recurso solar Nuquí

Mes	Radiación kWh/m²d
Enero	4.06
Febrero	4.67
Marzo	5.02
Abril	4.21
Mayo	4.01
Junio	3.58
Julio	4.04
Agosto	3.08
Septiembre	3.49
Octubre	3.55
Noviembre	3.46
Diciembre	3.51
<b>Promedio</b>	<b>3.95</b>

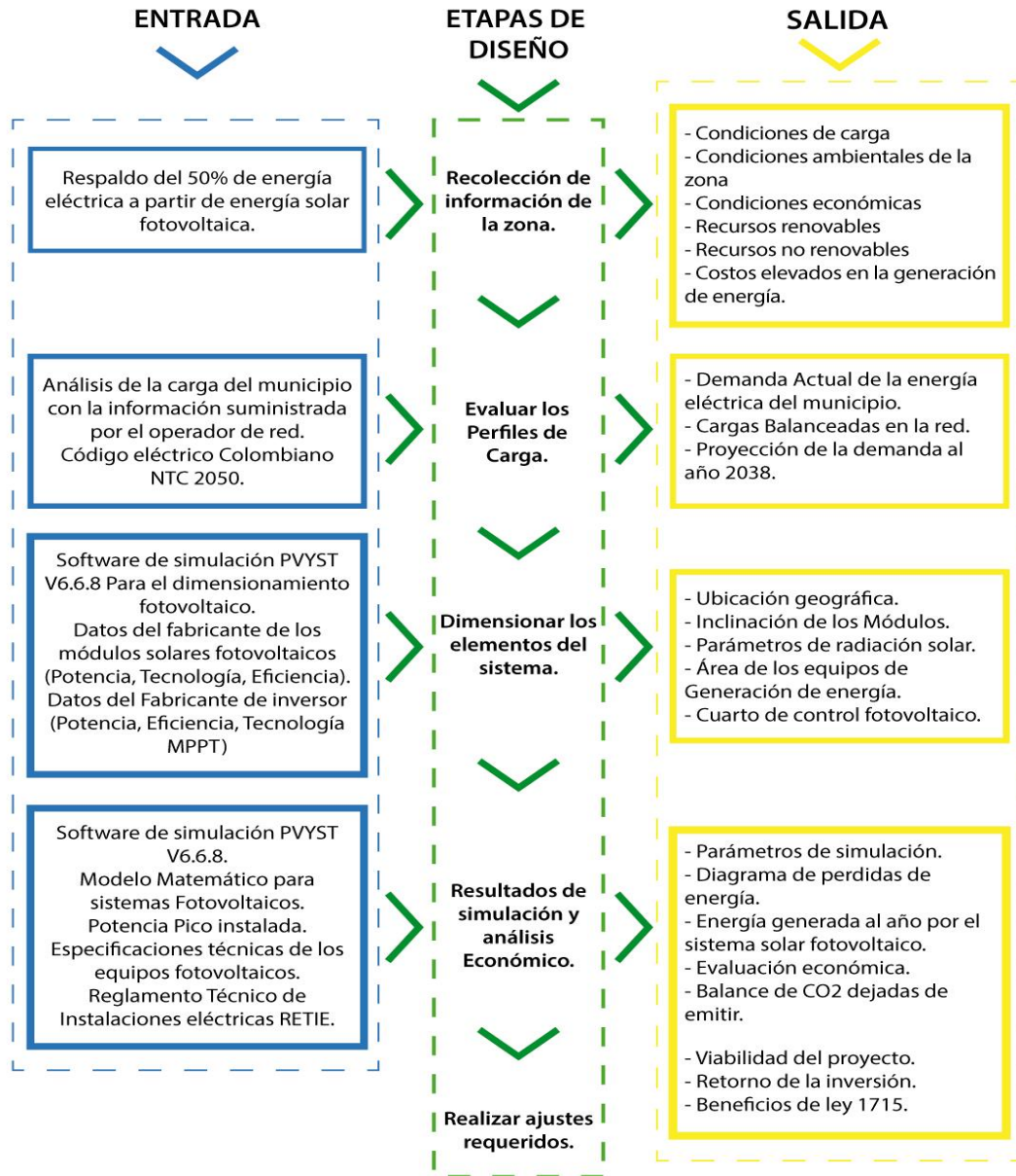
Fuente: NASA. Surface meteorology and Solar Energy .

Resumen de recurso solar disponible en el municipio de Nuquí.

A manera de conclusión se tiene que la radiación promedio diaria, en la zona puntual de evaluación se acerca a los 3.95 kWh/m<sup>2</sup>d.

## 4. ANALISIS DE RESULTADOS

### 4.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL DISEÑO



Fuente: autores del proyecto

El diagrama de flujo del diseño está compuesto por cuatro etapas principales.

**4.1.1 Recolectar información de la Zona.** Se debe disponer de información específica de la zona que puede ser adquirida a través de: visitas a la zona para registrar el comportamiento de las diferentes variables en un período de tiempo, consulta de fuentes confiables tales como el operador de red ElectroNuqui, El Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para las zonas no interconectadas, IPSE, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), National Aeronautics and Space Administration (NASA) etc. El método de generación de energía eléctrica dependerá de la disponibilidad de recursos presentes en la zona, procurando la utilización del mayor recurso renovable de la zona. La información preliminar que debe ser recolectada para el diseño del parque solar es la siguiente:

Condiciones de la carga: número de usuarios, capacidad instalada por el operador de red en el municipio, costo de la energía generada por la quema de ACPM.

Condiciones de la zona: temperatura ambiente mínima, máxima y promedio, altura sobre el nivel del mar, densidad de descargas atmosféricas.

Condiciones económicas: disponibilidad de apoyos gubernamentales (Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas no Interconectadas, FAZNI, IPSE).

Recursos renovables: irradiación solar promedio mensual y condiciones de registro, velocidad de viento promedio mensual y condiciones de registro, potencial oceánico.

Recursos no renovables: diésel.

**4.1.2 Evaluar los perfiles de carga.** Aplicando los procedimientos establecidos en el Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050), se calcula la demanda máxima a partir del análisis de carga suministradas por el operar de red Electro Nuquí. Una vez estimado el valor de demanda máxima del municipio se establece la proyección de la demanda para el año 2038.

**4.1.3 Dimensionar los elementos del sistema.** Según las características del terreno, ubicación geográfica, inclinación de los módulos, parámetros de radiación solar apoyado por las bases de datos de la UPME y de la NASA, el área disponible, la distribución y magnitud de las cargas, ubicación y distribución de los equipos de generación, configuración y trazado de la red de distribución, y toda la información que sea necesaria para elaborar una simulación en el Software PVSYST .

**4.1.4 Resultados de simulación y análisis económicos.** El análisis de la simulación ante la variación de la generación a lo largo del día en la zona, diagrama de pérdidas de energía a causa del nivel de Irradiancia, temperatura, inversores, calidad del módulo etc.

Cantidad de energía generada al año por los paneles fotovoltaicos y a su vez esta se inyectada a la Red del municipio, reducción del CO<sub>2</sub> dejada de emitir a la atmosfera mejorando la calidad del aire de la zona.

El análisis económico del proyecto se es viable ya que la inversión se recupera en un lapso de tiempo muy corto y goza de los beneficios de la ley 1715.

En la se muestra el diagrama de flujo del diseño, en el cual se destacan las entradas y salidas más relevantes de cada etapa.

## 4.2. DISEÑO DEL SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGIA ELECTRICA

El municipio de Nuquí presenta una población según el censo DANE de 2005 de 8668 habitantes de los cuales 3809 están emplazados en la cabecera municipal y 4859 en las áreas rurales del municipio. El número de usuarios de servicio eléctrico alcanza los 1084.<sup>14</sup>

Evaluando la proyección realizada en el primer objetivo, se tiene que para el 2038 exista un total de 1504 usuarios; actualmente la Infraestructura Electrógena, es mantenida por el uso de combustibles fósiles específicamente ACPM, teniendo una subestructura de almacenaje de 10000 galones. Logrando alimentar dos motores gemelos Cummins de 323 kW, en estado de reparación y dos generadores eléctricos Standford de 400 kW, en operación; determinando de esta manera una configuración de generación eléctrica en la localidad según lo evidencia la Tabla 9.

Tabla 9. Elementos del sistema de generación eléctrica Nuquí

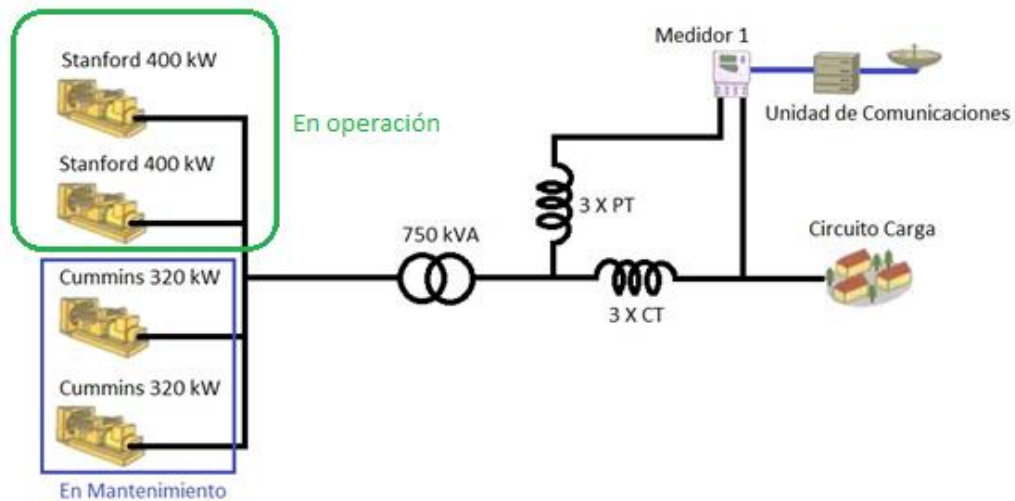
Grupo Electrógeno					
Ítem	Marca	Modelo	Seri	Cap.	Estado
1	Cummin	GSL9-	46928596	32	Mantenimiento
2	Cummin	GSL9-	46928611	32	Mantenimiento
3	Stanford	HCI434	M13L51236	40	Operativo
4	Stanford	HCI434	M13G30396	40	Operativo
Transformador					
Ítem	Marca	Capacidad		Estado	
1	Rymel	7		Operativo	

Fuente: Autores del proyecto

<sup>14</sup> 13. DANE. Censo general 2005. [en línea] [Recuperado 19 de marzo de 2018] Disponible en: <https://www.dane.gov.co/files/censos/libroCenso2005nacional.pdf>

En la Figura 8, se presenta el diagrama unifilar del sistema de generación existente en la localidad de Nuquí operado por la empresa de servicios públicos Electronuquí.

Figura 9. Diagrama Unifilar



Fuente: autores del proyecto. Diagrama Unifilar del Municipio de Nuquí.

El sistema actual, posee una energía máxima probada de 434 kWh, consumida el viernes 23 de diciembre 2016 a las 1900 horas. Con el fin de suplir la demanda proyectada para el año 2038 es de 600.000 kWh/mes, de energía eléctrica.

Es necesario evaluar cual configuración se debe atender por medio de tecnología fotovoltaica, para garantizar la dicha demanda. Para ello se soporta en la herramienta computacional Software PVSYST V6.6.8.

### 4.3. SIMULACION DEL DISEÑO FOTOVOLTAICO

PVSYST V6.68, es un software de la familia Bluesol, para el diseño de sistemas fotovoltaicos en todos los países del mundo. La herramienta de simulación es muy versátil ya que permite diseñar y simular los diferentes escenarios fotovoltaicos como son los sistemas aislados y los sistemas conectados a la red. Cuenta con una gran cantidad de bases de datos meteorológicas, paneles solares, inversores, baterías, controladores de carga de diversos fabricantes los cuales permiten realizar un estudio más completo y obtener resultados precisos. La versión de PVsyst utilizada para desarrollar este documento fue la 6.6.8, el cual permite trabajar con 4 secciones para sistemas fotovoltaicos. Dichas secciones son pre-dimensionado, diseño del proyecto, bases de datos y herramientas como se muestra en la Figura 9.

Figura 10. Interfaz del software PVSYST V6.68



Fuente: Software PVSYST V6.68

Este software utiliza bases de datos meteorológicos para determinar la radiación solar disponible, horas picos solares, temperaturas, velocidades de viento y demás variables, teniendo en cuenta las coordenadas de longitud y latitud del lugar de implementación el sistema. <sup>15</sup>

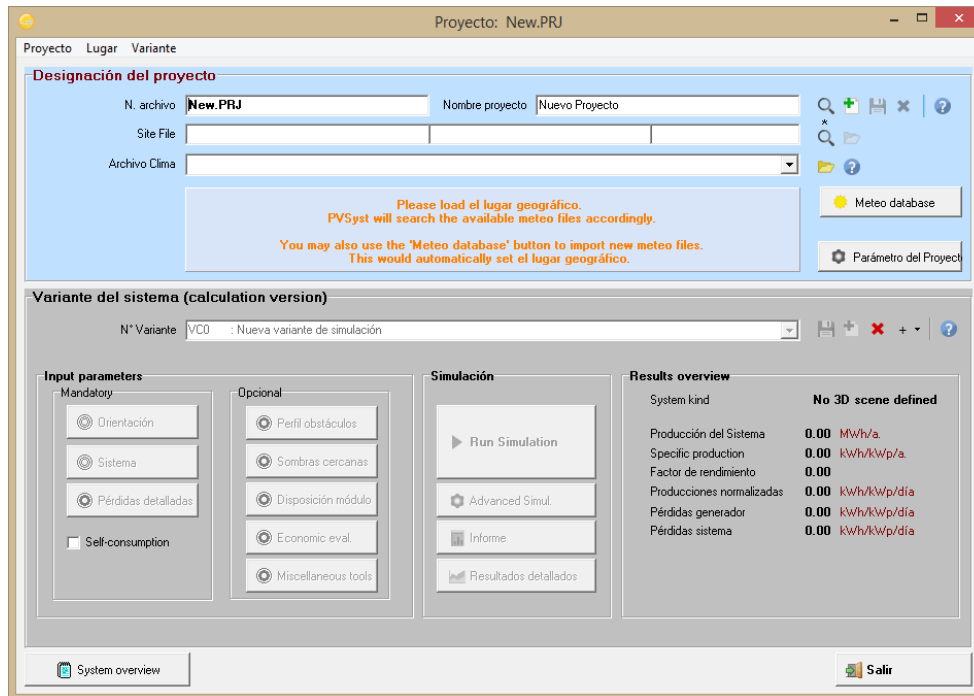
**4.3.1. Diseño del proyecto.** El software permite realizar un estudio completo de un sistema solar fotovoltaico, donde se cuenta con cálculos precisos de la producción del sistema utilizando simulaciones detalladas por hora, se permiten interpretar diversas variantes de la simulación además el análisis detallado de las pérdidas del sistema, así como una evaluación económica con precios reales de los componentes utilizados. Después de seleccionar “Diseño del proyecto” junto al tipo de sistema fotovoltaico a desarrollar (conectado a la red), el proceso de dimensionamiento sigue los siguientes pasos:

---

<sup>15</sup> 14. pvsyst/software/Download. [en línea] [Recuperado 03 de abril de 2018] Disponible en: <http://www.pvsyst.com/en/software/download>.

1. Se crea un Nuevo proyecto o se carga un proyecto existente.

Figura 11. Nuevo proyecto PVSYST V6.68

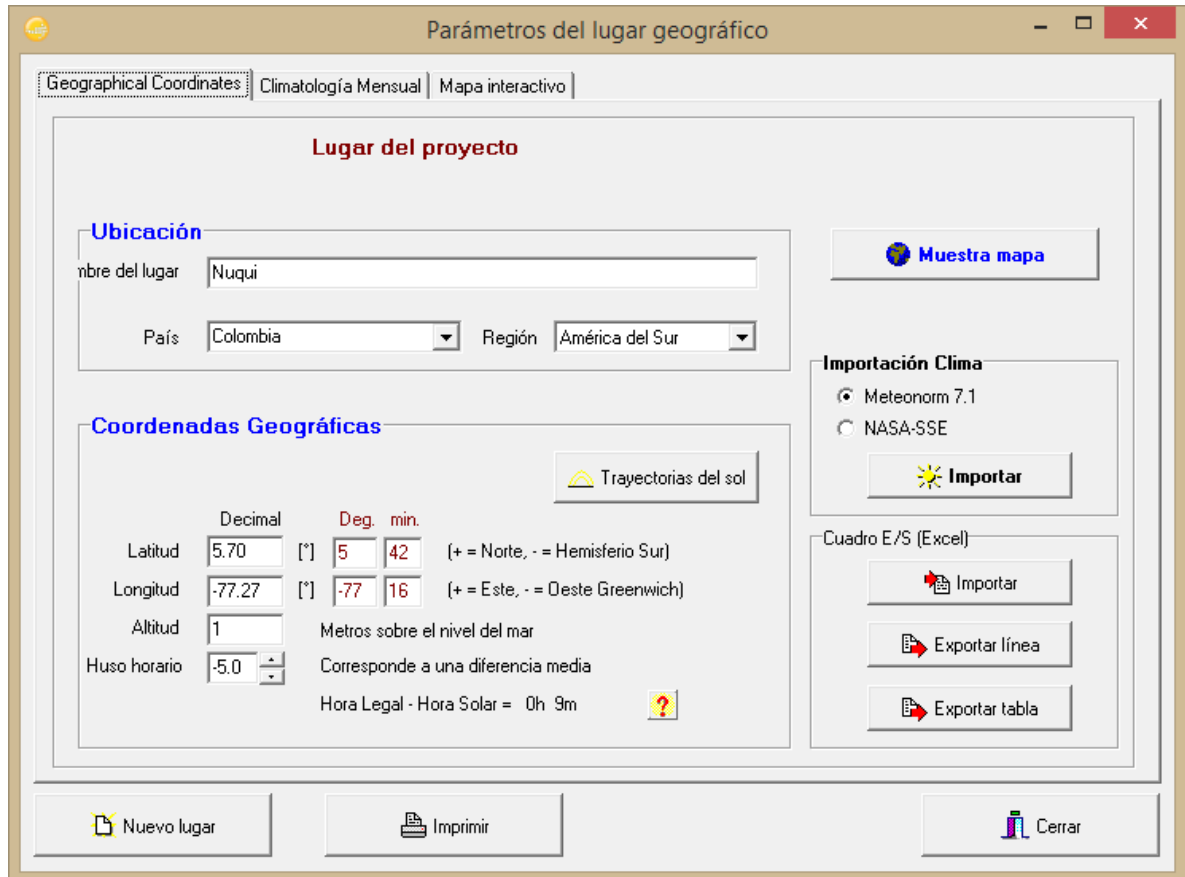


Fuente: Software PVSYST V6.68

En este primer paso se coloca el nombre del proyecto que deseamos y queda grabado en un archivo .PRJ, el cual queda guardado directo cada vez que abra el PVsyst hasta que se haga otra simulación.

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 11.

Figura 12. Parámetros Geográficos PVSYST V6.68



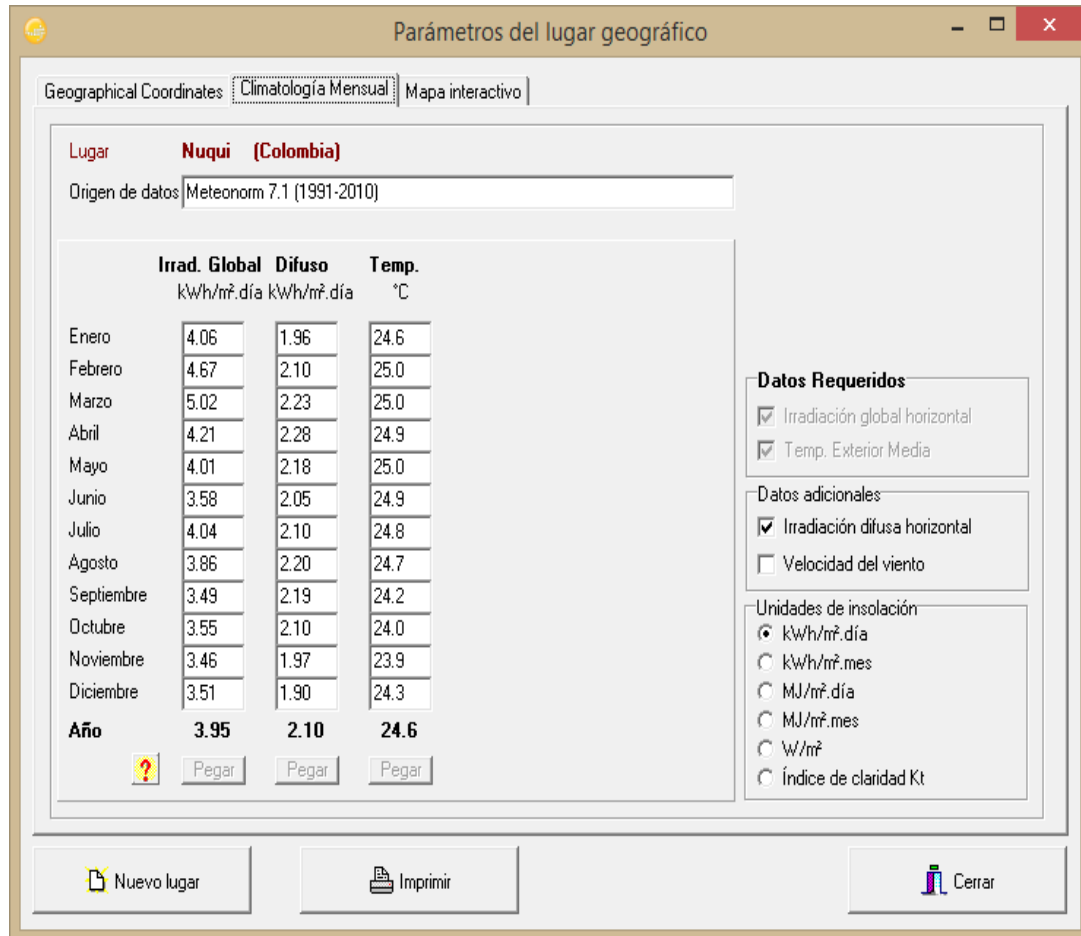
Fuente: Software PVSYST V6.68

En este paso se coloca la latitud, longitud y altitud del lugar en donde se va a colocar el sistema solar y dependiendo de esos 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.

Meteonorm 7.1 el cual es un software de radiación global del planeta utilizado por la NASA, esta actualizado hasta el año 2010, comparando con los datos de radiación obtenidos de la NASA expuestos anteriormente vemos que coincide su radiación promedio (3.95). En el software encontramos 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 y como se observa en la Figura 12.

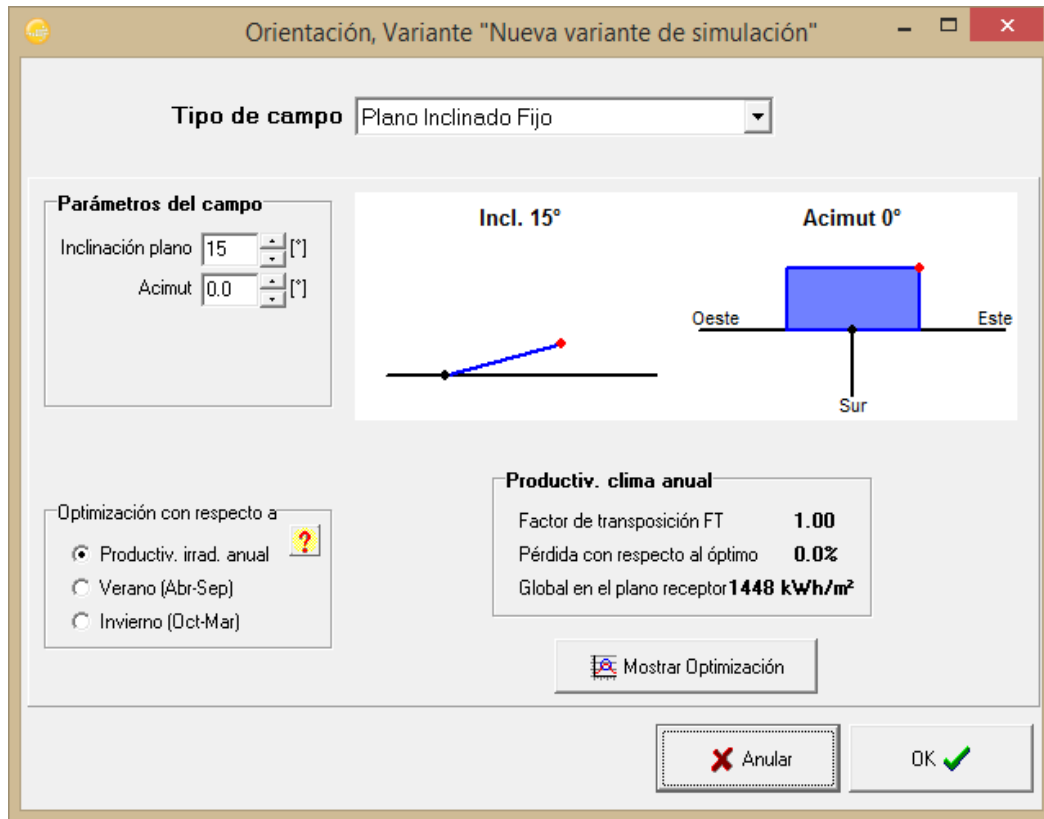
Figura 13. Parámetros de radiación solar durante el año



Fuente: Software PVSYST V6.68

- Determinar la orientación del plano fotovoltaico; azimut, perfil de obstáculos, ángulo de los paneles y el tipo de seguidor solar (fijo, de un eje o de dos ejes) si se requiere.

Figura 14. Parámetros de campo PVSYST V6.68.



Fuente: Software PVSYST V6.68

Este parámetro permite definir las sombras presentes en la localización seleccionada, para este caso se asume que los paneles fotovoltaicos se va 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 13.

- Definir las propiedades del sistema (cargas, tipo de paneles, inversores, baterías, área requerida, etc.) como se muestra en la Figura 14.

Figura 15. Definición del sistema fotovoltaico conectado a red PVSYST V6.68

**Definición de un sistema red, Variante "Nueva variante de simulación"**

**Configuración global sistema**  
 1 N° de tipos de sub-campos  
 Esquema Simplificado

**Resumen sistema global**

N° de módulos	4626	Potencia nominal FV	1850 kWp
Superficie módulos	9588 m²	Potencia máxima FV	1813 kWdc
N° de inversores	24	Potencia nominal CA	1440 kWac

Sub-generador #1

**Sub-array name and Orientation**  
 Name: Sub-generador #1  
 Orient.: Plano Inclinado Fijo  
 Inclinación: 15°  
 Acimut: 0°

**Ayuda al Dimensionado**  
 No sizing Entrar Pnom deseada: 1850.9 kWp  
 Resize superficie disponible(módulos): 9590 m²

**Selección del módulo FV**  
 Disponible actualmente: Módulos aprox. necesarios: 4627  
 LG Electronics 400 Wp 34V Si-mono LG 400 NZw-A5 Since 2017 Manufacturer 2017  
 Tensiones de dimensionado (V): 35.2 V  
 Voc (-10°C): 54.0 V  
 Use Optimizer

**Selección del inversor**  
 Disponible actualmente:  50 Hz  60 Hz  
 SMA 60 kW 570 - 800 V TL 60 Hz Sunw Tripower 60-US-10 (400 VAC) Since 2015  
 N° de inversores: 24 Tensión Funciona.: 570-800 V Pglobal inversor: 1440 kWac  
 Tensión máx de entrada: 1000 V

**Diseño del generador FV**  
 N° de módulos y cadenas  
 Mód. en serie: 18 entre 17 y 18  
 N° de cadenas: 257 entre 200 y 257  
 Perdida sobrecarga: 0.4 % Pérd. sobrecarga: ?  
 Relación Pnom: 1.29  
 N° módulos: 4626 Superficie: 9588 m²  
 Cond. de funcionamiento  
 Vmpp (60°C): 634 V  
 Vmpp (20°C): 737 V  
 Voc (-10°C): 973 V  
 Irradiancia plano: 1000 W/m²  
 Impp (STC): 2556 A  
 Isc (STC): 2691 A  
 Isc (en STC): 2691 A  
 La potencia máxima del Generador es más grande que la potencia máxima especificada del inversor. (Info, not significant)  
 Máx. en bases  STC  
 Pmáx en funcionamiento en 1000 W/m² y 50°C: 1686 kW  
 Potencia nom gener. (STC): 1850 kWp

System overview Anular OK

Fuente: Software PVSYST V6.68

En este parámetro de simulación se encuentran las bases de datos de componentes fotovoltaicos con datos de placa suministrados por fabricantes para (módulos PV, inversores, baterías, reguladores de carga) además se pueden crear componentes nuevos de ser necesario. El primer parámetro a ingresar es la potencia en Kwp deseada para la simulación (para saber cuál es la potencia

ingresada es necesario tener claridad cuanta energía se va a producir mensualmente).

La energía activa proyectada para el año 2018 de 308.460Kwh/mes teniendo en cuenta lo anterior se toma el 50% de la demanda (154.230kwh/mes), Además se debe tener en cuenta que por cada año transcurrido los paneles solares pierden un 1% de su capacidad de producción de energía, por esta razón es importante aumentar 20% de la energía (30.846KWh/mes) teniendo en total producir una energía mensual de 185.076KWh/mes (2220MWh/año).

$$\frac{185076kwh/mes}{30\text{ días}} = 6169.2\text{ kwh/día}$$

$$\frac{6169.2kwh/día}{3.95\text{ h/día}} = 1561.8\text{ KW valor real de la potencia sin pérdidas}$$

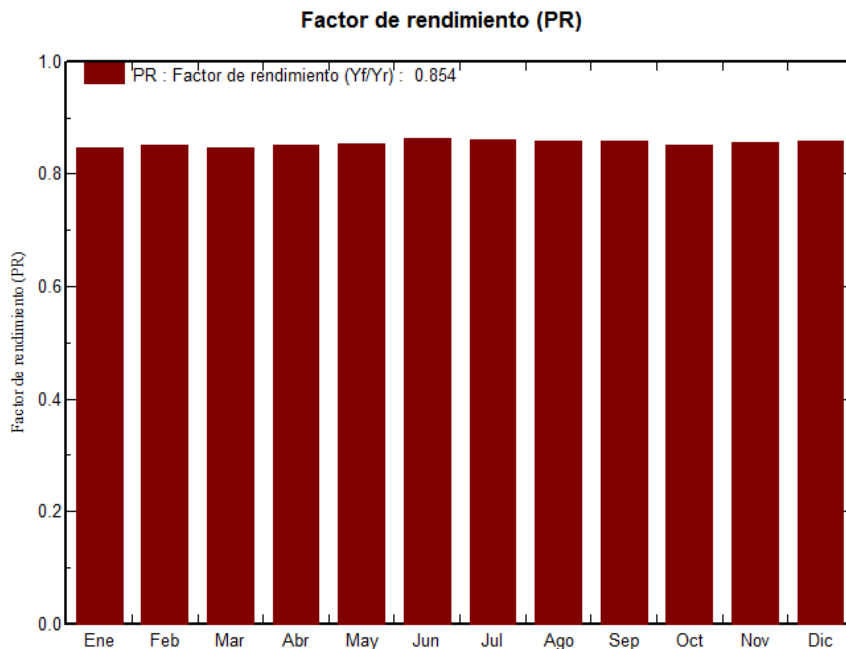
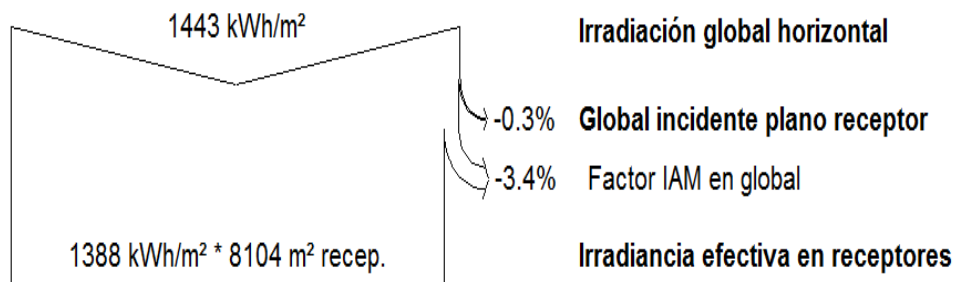
En teoría es necesario instalar una potencia de 1561.8KW; el segundo parámetro es elegir el tipo de panel solar fotovoltaico a utilizar (en estos grandes sistemas se recomienda tener en cuenta la potencia y la eficiencia del panel ya que un 1% de diferencia es significativo para la generación de energía y retorno de inversión), se seleccionó módulo fotovoltaico LG 400 N2W-A5 [16], el cual se adecua a las necesidades de la zona; y el tercer parámetro es elegir el inversor (es importante tener en cuenta la eficiencia al igual que el panel) se eligió de la librería el inversor Sunny Tripower 60-US-10 (400 VAC De).<sup>16</sup>

Al ingresar estos tres parámetros al software y simularlo, arroja una energía anual entregada de 1921MWh/año ya está con todas las posibles pérdidas en el sistema (esta energía no es la que se necesita generar anualmente), para saber

---

<sup>16</sup> Civicsolar. "SMA Sunny Tripower 24kW 480VAC TL Inverter w/ SWDM-US-10 STP 24000TL-US-10. [en línea] [Recuperado 03 de abril de 2018] Disponible en: <https://www.civicsolar.com/>

exactamente cuanta perdida se está generando en la simulación del sistema con los equipos fotovoltaicos seleccionados; se observan las pérdidas de performance ratio (PR) [son las pérdidas totales que se generan entre los paneles, inversores y cableado] y las perdidas IAM de modificación del ángulo de incidencia (IAM) [son las pérdidas por radiación y se generan cuando el sol incide en el panel con otro ángulo durante el día].



Se puede observar que las pérdidas globales IAM son de 0.3%+3.4% para un total de 3.7%, en las perdidas PR tienes un factor de rendimiento de 0.854, que corresponde a un 85.4% de eficiencia; y un 14.6% en pérdidas, finalmente el total de pérdidas en el sistema corresponde al 18.3%.

Al tener claridad sobre las pérdidas totales que se generan en todo el sistema, se toma la potencia teórica a instalar y posterior se suma las pérdidas totales en el sistema lo que arroja un resultado de:

$$1561.8\text{KWp} * 1.183 = 1847.6\text{KWp}$$

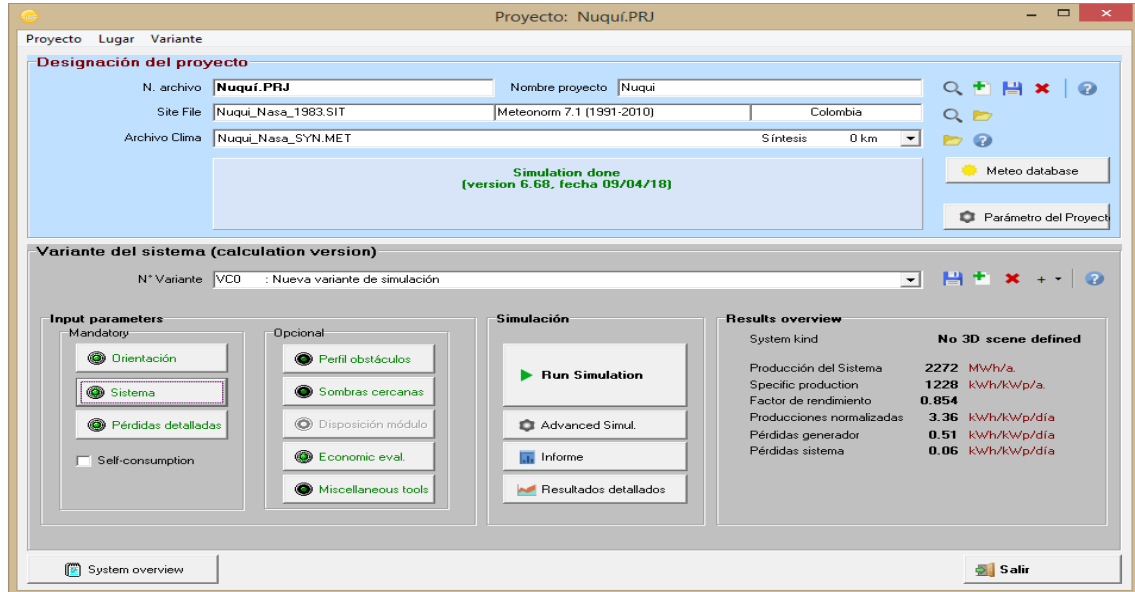
Se recomienda subir de 1 a 5% de respaldo en la potencia pico instalada por los días lluviosos que se presentan durante el año, para este caso el incremento corresponde al 1.8% por costos; la razón obedece a que se está generando 20% más de la energía objeto de simulación que fue 154.230kwh/mes en el año 2018, por lo tanto el resultado final sería:

$$1847.6\text{KWp} * 1.0018 = 1850.9 \text{KWp}$$

Después de hacer estos tres pasos el software calcula el número de paneles que se necesita (4626), el área que se requiere para instalarlos (9590 m<sup>2</sup>), el número de inversores (24) y el diseño del generador fotovoltaico (es la configuración de los paneles en serie y paralelo para conectarlos correctamente a los inversores (18 módulos en serie y 257 en paralelo)), esta configuración es la más adecuada para conectar todos los paneles a los inversores dada por el software y de esta forma el sistema funciona a su mayor eficiencia y evita las mayores pérdidas posibles.

5. Verificación de todos los parámetros ingresados

Figura 16. Interfaz, diseño de sistema PVSYST 6.68



Fuente: Software PVSYST V6.68

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.

**4.3.2. Resultados de la simulación.** Esta parte de la simulación arroja los resultados del sistema ingresado anteriormente tales como; ubicación geográfica, especificaciones técnicas de los equipos utilizados, graficas de factor de rendimiento, diagrama de perdida, energía producida durante el año, evaluación económica y emisiones de CO2 evitadas por año como se puede observar en la Figura 16.

**4.3.2.1. Parámetros de Simulación 1.**

Figura 17. Resultado de simulación 1 parámetros PVSYST 6.68

PVSYST V6.68		07/04/18		Página 1/5	
<b>Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación</b>					
<b>Proyecto :</b> Nuquí					
<b>Lugar geográfico</b>		<b>Nuquí</b>		<b>Pais Colombia</b>	
<b>Ubicación</b>		Latitud 5.70° N		Longitud -77.27° W	
Hora definido como		Hora Legal Huso hor. UT-5		Altitud 1 m	
<b>Datos climatológicos:</b>		<b>Nuquí</b>		Síntesis	
<b>Variante de simulación : Nueva variante de simulación</b>					
Fecha de simulación 07/04/18 20h05					
<b>Parámetros de la simulación</b>		Tipo de sistema <b>No 3D scene defined</b>			
<b>Orientación Plano Receptor</b>		Inclinación 15°		Acimut 0°	
<b>Modelos empleados</b>		Transposición Perez		Difuso Perez, Meteorom	
<b>Perfil obstáculos</b>		Sin perfil de obstáculos			
<b>Sombras cercanas</b>		Sin sombreado			
<b>Características generador FV</b>					
<b>Módulo FV</b>		Si-mono		Modelo <b>LG 400 N2W-A5</b>	
Custom parameters definition		Fabricante LG Electronics		En paralelo 257 cadenas	
Número de módulos FV		En serie 18 módulos		Pnom unitaria 400 Wp	
N° total de módulos FV		N° módulos 4626		En cond. funciona. 1686 kWp (50°C)	
Potencia global generador		Nominal (STC) <b>1850 kWp</b>		I mpp 2556 A	
Caract. funcionamiento del generador (50°C)		V mpp 659 V		Superf. célula 8603 m²	
Superficie total		Superficie módulos <b>9588 m²</b>			
<b>Inversor</b>					
Original Pvsyst database		Modelo <b>Sunny Tripower 60-US-10 (400 VAC)</b>			
Características		Fabricante SMA			
Banco de inversores		Tensión Funciona. 570-800 V		Pnom unitaria 60.0 kWac	
		N° de inversores 24 unidades		Potencia total 1440 kWac	
<b>Factores de pérdida Generador FV</b>					
Factor de pérdidas térmicas		Uc (const) 20.0 W/m²K		Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s	
Pérdida Óhmica en el Cableado		Res. global generador 4.2 mOhm		Fracción de Pérdidas 1.5 % en STC	
Pérdida Calidad Módulo				Fracción de Pérdidas -0.8 %	
Pérdidas Mismatch Módulos				Fracción de Pérdidas 1.0 % en MPP	
Strings Mismatch loss				Fracción de Pérdidas 0.10 %	
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE		IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)		Parám. bo 0.05	
<b>Necesidades de los usuarios :</b> Carga ilimitada (red)					

Fuente: Software PVSYST V6.68

En este informe de resultados de simulación se muestran datos importantes como la ubicación o coordenadas del proyecto, latitud 5.70°N Longitud -77.27°W, inclinación de 15° de los paneles, acimut, características del panel LG 400 N2W-A5 y la cantidad de módulos empleados en el proyecto 4.626 con una Pnom 1850kWp, área disponible para la instalación de los módulos de 9588 m<sup>2</sup> y factor de pérdidas del generador FV, además el inversor utilizado para la simulaciones Sunny Tripower 60-us-10 (400VAC) el cual se Requieren 24 unidades con una potencia total de 1440 kWac como se muestra en la figura 16.

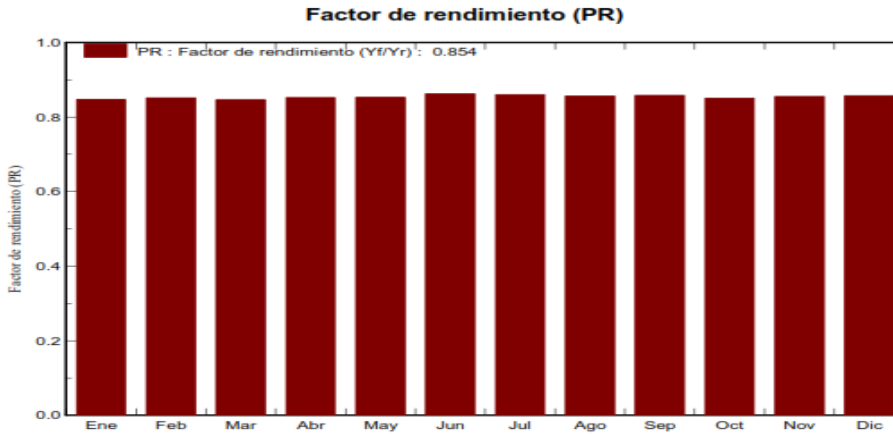
#### 4.3.2.2. Resultados Principales.

Figura 18. Resultados Simulación 2. PVSYST 6.68

Resultados principales de la simulación	
Producción del Sistema	<b>Energía producida 2272 MWh/año</b>
	Factor de rendimiento (PR) 85.38 %

En los resultados principales de la simulación podemos observar la cantidad de energía producida por el sistema fotovoltaico de 2272MWh/año. Además el factor de rendimiento entre los paneles FV, los inversores y cableado (PR [85.38%]), dándonos un 14,6% de perdidas como se pude observar en la figura 14 y 15. Además muestra un balance de resultados de radiación, temperatura, energía mes a mes como se puede observar en la figura 17.

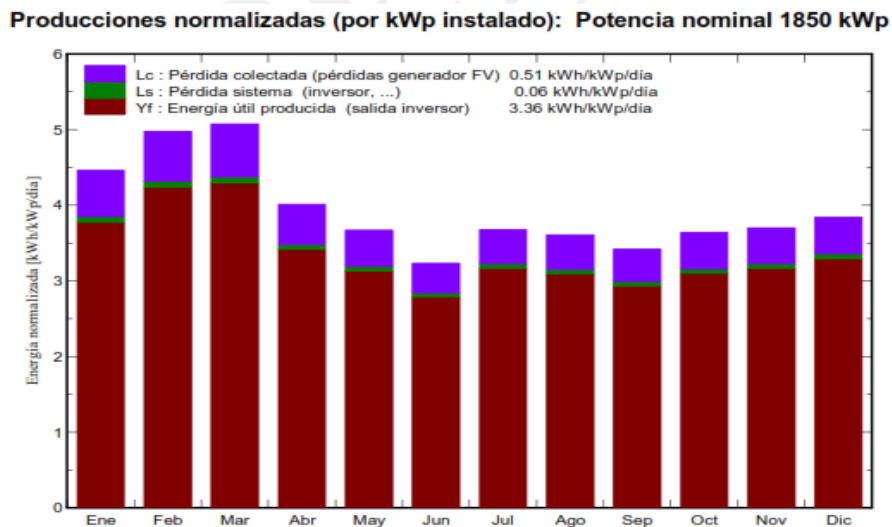
Figura 19. Factor de rendimiento de los equipos.



Fuente: Software PVSYST V6.68

En la figura 18 se observa el comportamiento de la potencia nominal del sistema de cada mes del año, en ella se resalta la energía útil producida en la salida del inversor de 3.36 kWh/kWp/día, las pérdidas del inversor es de 0.06 kWh/kWp/día y por ultimo las perdidas colectivas del generador Fotovoltaico es de 0.51 kWh/kWp/día.

Figura 20. Pérdidas colectivas del sistema y energía útil del sistema.



Fuente: Software PVSYST V6.68

Figura 21. Balance de resultados de radiación mensual.

**Nueva variante de simulación**  
**Balances y resultados principales**

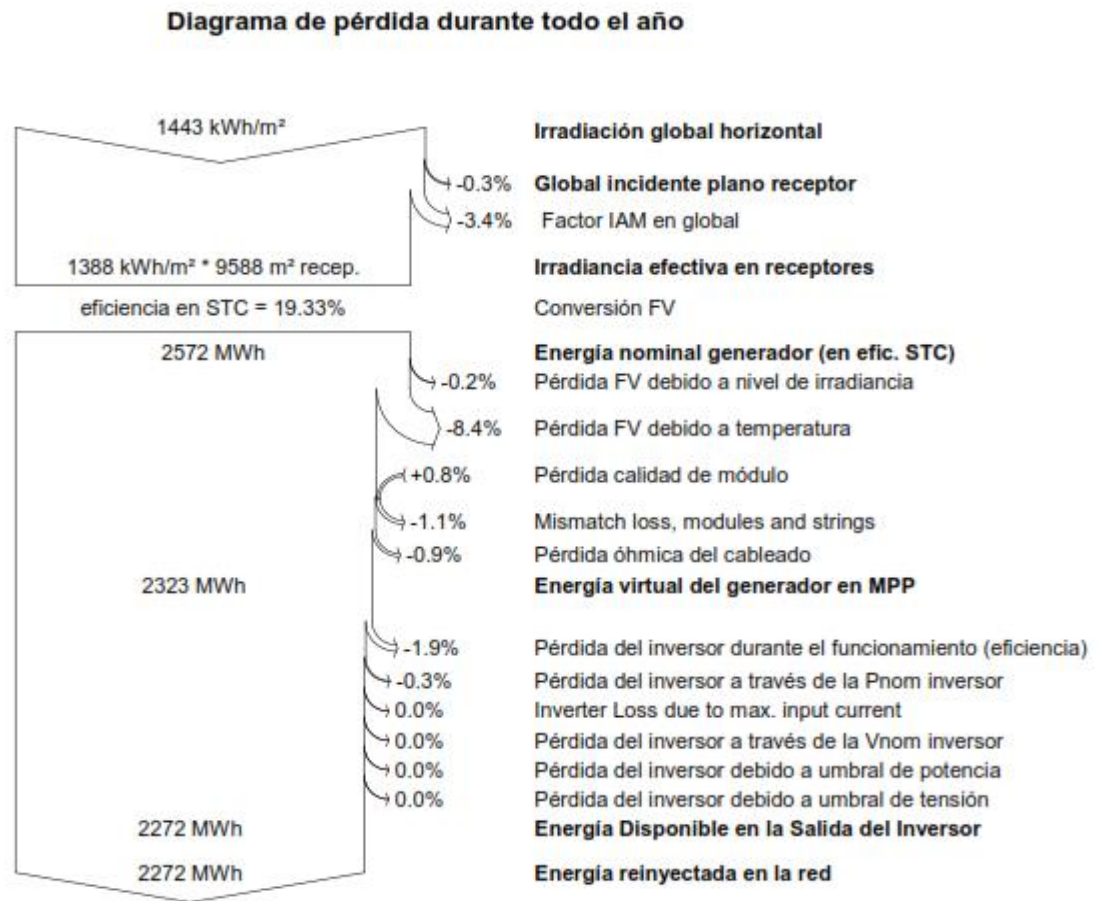
	<b>GlobHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>DiffHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>T Amb</b> °C	<b>GlobInc</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>GlobEff</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>EArray</b> MWh	<b>E_Grid</b> MWh	<b>PR</b>
<b>Enero</b>	125.9	60.76	24.65	138.2	134.0	221.0	216.7	0.847
<b>Febrero</b>	130.8	58.80	24.97	139.3	135.1	223.7	219.5	0.852
<b>Marzo</b>	155.6	69.13	25.03	157.4	152.5	251.1	246.4	0.846
<b>Abril</b>	126.3	68.40	24.89	120.4	116.0	193.4	189.8	0.852
<b>Mayo</b>	124.3	67.58	24.97	113.8	109.2	183.1	179.7	0.853
<b>Junio</b>	107.4	61.50	24.90	97.0	92.9	157.8	154.8	0.863
<b>Julio</b>	125.2	65.10	24.83	114.2	109.7	185.2	181.7	0.860
<b>Agosto</b>	119.7	68.20	24.71	112.0	107.7	180.9	177.5	0.857
<b>Septiembre</b>	104.7	65.70	24.23	102.7	98.9	166.2	163.0	0.858
<b>Octubre</b>	110.0	65.10	23.98	112.9	109.0	181.3	177.8	0.851
<b>Noviembre</b>	103.8	59.10	23.88	111.1	107.4	179.2	175.8	0.856
<b>Diciembre</b>	108.8	58.90	24.28	119.2	115.4	192.7	189.1	0.857
<b>Año</b>	1442.5	768.27	24.61	1438.0	1387.9	2315.7	2271.9	0.854

Leyendas:	GlobHor	Irradiación global horizontal	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
	DiffHor	Irradiación difusa horizontal	EArray	Energía efectiva en la salida del generador
	T Amb	Temperatura Ambiente	E_Grid	Energía reinyectada en la red
	GlobInc	Global incidente plano receptor	PR	Factor de rendimiento

Fuente: Software PVSYST V6.68

### 4.3.2.3. Diagrama de Pérdidas.

Figura 22. Resultados de Simulación 3 pérdidas

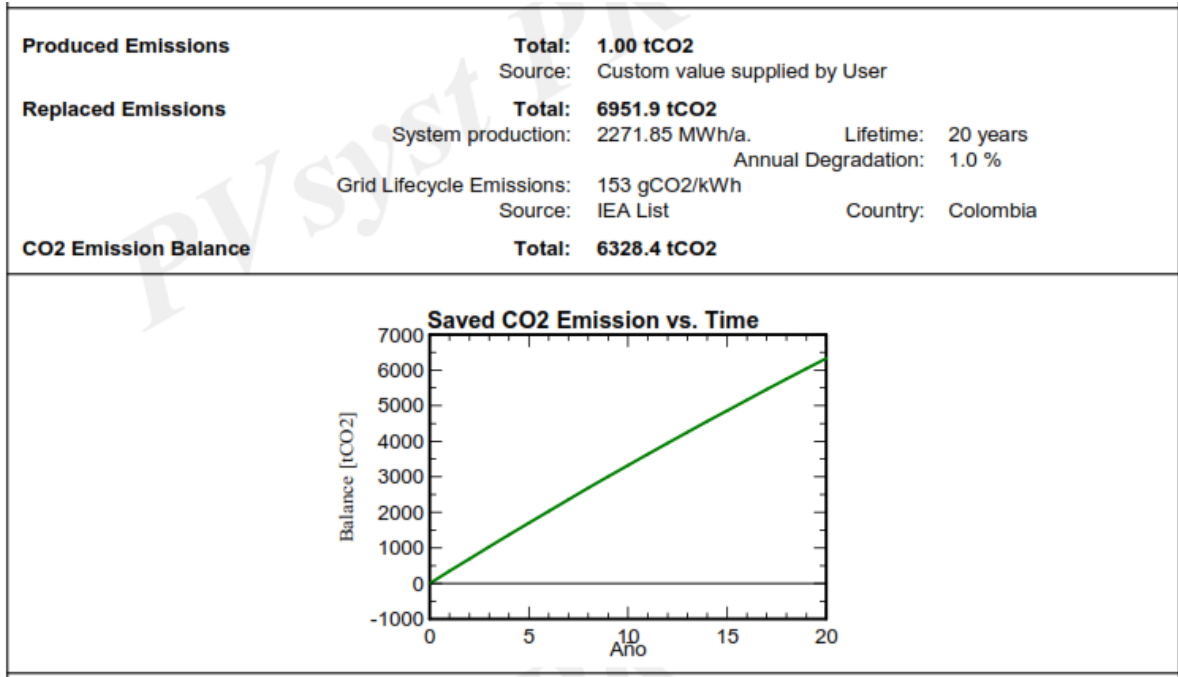


Fuente: Software PVSYST V6.68

El resultado de informe numero 3 proporciona herramientas especializadas para la evaluación de las pérdidas de cableado (y otras pérdidas como la calidad del módulo), la falta de comunicación o conexión entre los módulos, la suciedad, el comportamiento térmico de acuerdo con el montaje mecánico, la falta de disponibilidad del sistema, la energía nominal generada y la energía entregada a la red durante el año, Ver Figura 21.

#### 4.3.2.4. Balance de CO2.

Figura 23. Resultados de Simulación 4. Balance



Fuente: Software PVSYST V6.68

Adicional al beneficio que puedan obtener al instalar esta fuente de energía renovable, el informe de resultados 4, muestra que de acuerdo con los estudios realizados por la Agencia Internacional de Energía IEA que indica que la producción de energía eléctrica en Colombia genera en promedio 153 gramos de dióxido de carbono por cada kilowatio-hora (153gCO<sub>2</sub>/kWh), con la implementación de este sistema se estaría evitando 6328.4 toneladas de CO<sub>2</sub> durante los 20 años de duración de este proyecto (153g se basa en la producción de energía con fuentes convencionales [térmica(gas y carbón), petróleo, quema diésel] excepto la hidráulica. Fuente *PVSYST 6.68*.

## 5. ESTUDIO ECONOMICO

En esta sección se analiza principalmente el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno; además de los costos propios de la operación se incluirán los costos que generen establecer como tal el sistema de energía solar fotovoltaica y así determinar su desempeño en un horizonte de 10 años de actividades.

### 5.1. Inversión

De acuerdo al diseño del sistema solar fotovoltaico; se da como resultado las cifras relacionadas en la siguiente tabla:

<b>Concepto.</b>	<b>Valor (COP).</b>
Un X de nómina sin prestaciones	16.961.286
Un mes de gastos generales.	2.760.000
Maquinaria y equipo.	7.763.475.000
Muebles y enseres.	-
Construcciones.	-
Puesta en Marcha	-
Montajes y asistencia técnica.	7.500.000
Materia prima e insumos para xx mes.	-
Terreno	-
<b>TOTAL INVERSIÓN (\$).</b>	<b>7.790.696.286</b>

Fuente: Autores del proyecto

La inversión inicial como su nombre lo indica hace referencia a los recursos necesarios para el inicio del proyecto, en este caso se calcula los dos primeros meses que corresponde a nomina, gastos generales, maquinaria y equipo por los dos primeros meses de instalación del sistema eléctrico fotovoltaico.

## 5.2. Proyecciones de venta de Energía

Las proyecciones se realizan a cinco años

Proyección de Ventas (Unidades)						
Producto o Servicio	Cantidad Mensual (Unidades)	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022
Energía Fotovoltaica	189.333	2.271.996,00	2.385.595,80	2.504.875,59	2.630.119,37	2.761.625,34
PRECIO DE VENTA POR UNIDAD (\$)	1.056	1.056,00	1.108,80	1.164,24	1.222,45	1.283,57
		-	-	-	-	-
PRECIO DE VENTA POR UNIDAD (\$)		-	-	-	-	-
		1.135.998,00	1.192.797,90	1.252.437,80	1.315.059,68	1.380.812,67

Fuente: autores del proyecto

La proyección de ventas comprende los 5 primeros años de funcionamiento del sistema eléctrico fotovoltaico; para realizar la proyección, los valores que se tienen en cuenta son la generación de energía, en unidades mensuales, de igual forma se proyecta el precio de venta por unidad de servicio.

## 5.3. Proyecciones de Ingresos por ventas de Energía

Producto o Servicio	Cantidad Mensual (\$)	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022
Energía Fotovoltaica	199.935.648	2.399.227.776	2.645.148.623	2.916.276.357	3.215.194.683	3.544.752.139
0	-	-	-	-	-	-
TOTAL (\$)	199.935.648	2.399.227.776	2.645.148.623	2.916.276.357	3.215.194.683	3.544.752.139
Iva (19%)	-	-	-	-	-	-
Total con Iva (\$)	199.935.648	2.399.227.776	2.645.148.623	2.916.276.357	3.215.194.683	3.544.752.139

Fuente: Autores del proyecto

Este cálculo se toma de los ingresos mensuales por el servicio ofertado, para luego proyectar los ingresos a cinco años; teniendo en cuenta un aumento del 5% anual, para el crecimiento en la oferta de servicios y el aumento de precios anual.

#### 5.4. Depreciaciones

Elemento o equipo.	Valor total(\$).	Período a depreciar. (Meses).	Valor Mensual(\$).	Valor Anual(\$).
Maquinaria y herramientas.	7.763.475.000	120	64.695.625	776.347.500
	-	240	-	-
	-	60	-	-
<b>TOTAL DEPRECIACIÓN.</b>			<b>64.695.625</b>	<b>776.347.500</b>

Fuente: Autores del proyecto

La depreciación se llevara a cabo por el método de línea recta, de acuerdo con la legislación nacional y el establecimiento de la vida útil.

#### 5.5. Estructura Financiera

Los recursos financieros con los que se establecerá el sistema de Energía fotovoltaico, corresponden en un 100% con un crédito bancario, en un periodo de 10 años a una tasa de interés efectivo anual de 19%.

<b>Credito</b>		
Monto:	7.790.696.286	
Plazo	10 años	
Tasa	9% anual	
Amortizacion	Mensual	

Fuente: Autores del proyecto

## Amortización de la deuda

Periodo	Amortización	Intereses	Saldo
0	0	0	7.790.696.286
1	779.069.629	623.255.703	7.011.626.657
2	779.069.629	560.930.133	6.232.557.029
3	779.069.629	498.604.562	5.453.487.400
4	779.069.629	436.278.992	4.674.417.771
5	779.069.629	373.953.422	3.895.348.143
6	779.069.629	311.627.851	3.116.278.514
7	779.069.629	249.302.281	2.337.208.886
8	779.069.629	186.976.711	1.558.139.257
9	779.069.629	124.651.141	779.069.629
10	779.069.629	62.325.570	0

Fuente: Autores del proyecto.

## 5.6. Estado de resultados

	2018	2019	2020	2021	2022
<b>VENTAS</b>	<b>2.326.477.824</b>	<b>2.564.941.801</b>	<b>2.827.848.336</b>	<b>3.117.702.790</b>	<b>3.437.267.326</b>
Inventario inicial de materia prima	0	0	0	0	0
+ Compra de materia prima	0	0	0	0	0
- Inventario final de materia prima	0	0	0	0	0
= Consumo de materia prima	0	0	0	0	0
- Inventario inicial de producto proceso	0	0	0	0	0
+ Inventario final de producto proceso	0	0	0	0	0
- Inventario inicial de producto terminado	0	0	0	0	0
+ Inventario final de producto terminado	0	0	0	0	0
Mano de Obra Directa	50.524.060	53.050.263	55.702.776	58.487.915	61.412.311
Depreciación	776.347.500	776.347.500	776.347.500	776.347.500	776.347.500
Otros Costos	90.000.000	0	0	0	0
Total costos de operación	916.871.560	829.397.763	832.050.276	834.835.415	837.759.811
<b>Utilidad Bruta</b>	<b>1.409.606.264</b>	<b>1.735.544.038</b>	<b>1.995.798.059</b>	<b>2.282.867.375</b>	<b>2.599.507.515</b>
Gasto de Ventas	600.000	630.000	661.500	694.575	729.304
Nomina Administrativa	51.243.654	53.805.837	56.496.129	59.320.935	62.286.982
Gastos de Administracion	16.560.000	17.222.400	17.911.296	18.627.748	19.372.858
Gastos de constitucion	0				
<b>Utilidad Operativa</b>	<b>1.341.202.609</b>	<b>1.663.885.801</b>	<b>1.920.729.134</b>	<b>2.204.224.117</b>	<b>2.517.118.371</b>
Intereses	0	0	0	0	0
<b>Utilidad antes de impuestos</b>	<b>1.341.202.609</b>	<b>1.663.885.801</b>	<b>1.920.729.134</b>	<b>2.204.224.117</b>	<b>2.517.118.371</b>
Impuestos (35%)	469.420.913	582.360.030	672.255.197	771.478.441	880.991.430
<b>Utilidad Neta Final</b>	<b>871.781.696</b>	<b>1.081.525.770</b>	<b>1.248.473.937</b>	<b>1.432.745.676</b>	<b>1.636.126.941</b>
Reservas 10%	87.178.170	108.152.577	124.847.394	143.274.568	163.612.694
<b>Utilidad del Ejercicio</b>	<b>784.603.527</b>	<b>973.373.193</b>	<b>1.123.626.544</b>	<b>1.289.471.108</b>	<b>1.472.514.247</b>

Fuente: Autores del Proyecto

### 5.7. Flujo de caja proyectado

	2018	2019	2020	2021	2022
SALDO INICIAL EN CAJA	0	682.709.832	1.095.686.847	1.652.583.273	2.403.095.468
INGRESOS					
VENTAS	2.326.477.824	2.564.941.801	2.827.848.336	3.117.702.790	3.437.267.326
APORTE COOPERADOS	0				
CREDITO	7.790.696.286				
TOTAL INGRESOS	10.117.174.110	2.564.941.801	2.827.848.336	3.117.702.790	3.437.267.326
EGRESOS					
Puesta en Marcha	0				
Terreno	0				
Construcciones	0				
Maquinaria y Equipo	7.763.475.000				
Muebles y enseres	0				
Materia Prima	0	0	0	0	0
Mano de Obra Directa	47.506.214	49.881.524	52.375.601	54.994.381	57.744.100
Cesantias e Intereses	0	3.017.846	3.168.739	3.327.176	3.493.535
Gasto de Ventas	600.000	630.000	661.500	694.575	729.304
Nomina Administrativa	48.183.807	50.592.997	53.122.647	55.778.779	58.567.718
Cesantias e Intereses	0	3.059.848	3.212.840	3.373.482	3.542.156
Gastos de Administracion	16.560.000	17.222.400	17.911.296	18.627.748	19.372.858
Amortizacion	1.558.139.257	1.558.139.257	1.558.139.257	1.558.139.257	1.558.139.257
Intereses	0	0	0	0	0
Inpuestos	0	469.420.913	582.360.030	672.255.197	771.478.441
TOTAL EGRESOS	9.434.464.278	2.151.964.786	2.270.951.910	2.367.190.595	2.473.067.368
DISPONIBLE	682.709.832	412.977.015	556.896.426	750.512.195	964.199.958
FLUJO DE CAJA NETO	682.709.832	1.095.686.847	1.652.583.273	2.403.095.468	3.367.295.426

Fuente: Autores del proyecto

## 5.8. Balance General

	2018	2019	2020	2021	2022
<b>ACTIVO</b>					
<b>ACTIVO CORRIENTE</b>					
Caja	682.709.832	1.095.686.847	1.652.583.273	2.403.095.468	3.367.295.426
Inventarios Materias Primas e Insum	0	0	0	0	0
Inventarios de Producto en Proceso	0	0	0	0	0
Inventarios Producto Terminado	0	0	0	0	0
<b>Total Activo Corriente:</b>	<b>682.709.832</b>	<b>1.095.686.847</b>	<b>1.652.583.273</b>	<b>2.403.095.468</b>	<b>3.367.295.426</b>
<b>ACTIVO FIJO</b>					
Terrenos	0	0	0	0	0
Construcciones y Edificios	0	0	0	0	0
Maquinaria y Equipo de Operación	7.763.475.000	7.763.475.000	7.763.475.000	7.763.475.000	7.763.475.000
Muebles y Enseres	0	0	0	0	0
<b>Depreciacion acumulada</b>	<b>776.347.500</b>	<b>1.552.695.000</b>	<b>2.329.042.500</b>	<b>3.105.390.000</b>	<b>3.881.737.500</b>
<b>Total Activo Fijo</b>	<b>6.987.127.500</b>	<b>6.210.780.000</b>	<b>5.434.432.500</b>	<b>4.658.085.000</b>	<b>3.881.737.500</b>
<b>TOTAL ACTIVO</b>	<b>7.669.837.332</b>	<b>7.306.466.847</b>	<b>7.087.015.773</b>	<b>7.061.180.468</b>	<b>7.249.032.926</b>
<b>PASIVO</b>					
Cuentas X Pagar Cesantias	6.077.694	6.381.579	6.700.658	7.035.691	7.387.475
Impuestos X Pagar	469.420.913	582.360.030	672.255.197	771.478.441	880.991.430
Obligaciones Financieras	6.232.557.029	4.674.417.771	3.116.278.514	1.558.139.257	0
<b>TOTAL PASIVO</b>	<b>6.708.055.636</b>	<b>5.263.159.380</b>	<b>3.795.234.369</b>	<b>2.336.653.388</b>	<b>888.378.905</b>
<b>PATRIMONIO</b>					
Capital Social	0	0	0	0	0
Reserva Legal Acumulada	87.178.170	195.330.747	320.178.140	463.452.708	627.065.402
Utilidades Retenidas	0	784.603.527	1.757.976.720	2.881.603.263	4.171.074.372
Utilidades del Ejercicio	784.603.527	973.373.193	1.123.626.544	1.289.471.108	1.472.514.247
<b>TOTAL PATRIMONIO</b>	<b>871.781.696</b>	<b>1.953.307.467</b>	<b>3.201.781.404</b>	<b>4.634.527.080</b>	<b>6.270.654.021</b>
<b>TOTAL PAS + PAT</b>	<b>7.579.837.332</b>	<b>7.216.466.847</b>	<b>6.997.015.773</b>	<b>6.971.180.468</b>	<b>7.159.032.926</b>

Fuente: Autores del proyecto

## 5.9. Evaluación Económica

La evaluación económica del sistema de energía, permite analizar la viabilidad del proyecto mediante los siguientes factores:

- Valor Presente Neto
- Tasa Interna de Retorno

### VALOR PRESENTE Y TASA INTERNA DE RETORNO

Año	Flujo de caja
0	-7.790.696.286
1	682.709.832
2	1.095.686.847
3	1.652.583.273
4	2.403.095.468
5	3.367.295.426
<b>VPN</b>	2.194.347.394
<b>TASA = DTF(8,0) + 8 PUNTOS</b>	16,00%
<b>TIR</b>	10%

Fuente: Autores del proyecto

### Índices Financieros

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Liquidez	1,44	1,86	2,43	3,09	3,79
Capital de trabajo	207.211.225	506.945.238	973.627.418	1.624.581.337	2.478.916.521
Nivel de endeudamiento	87,46%	72,03%	53,55%	33,09%	12,26%
Rotación de activos totales	0,30	0,35	0,40	0,44	0,47
Margen bruto de utilidad	60,59%	67,66%	70,58%	73,22%	75,63%
Margen neto de utilidad	33,72%	37,95%	39,73%	41,36%	42,84%
Rendimiento de patrimonio	90,00%	49,83%	35,09%	27,82%	23,48%

Fuente: Autores del proyecto

### PUNTO DE EQUILIBRIO

Año	PE (\$)	PE (unidades)
2018	112.896.480	4,85%
2019	105.902.935	4,13%
2020	106.365.237	3,76%
2021	107.402.781	3,44%
2022	108.941.217	3,17%

Fuente: Autores del proyecto

### Análisis financiero y Económico

El presente estudio demostró que el proyecto es rentable y atractivo para invertir ya que el VAN, T.I.R., fundamentaron la viabilidad del presente proyecto; determinando

las condiciones óptimas para la puesta en marcha del presente proyecto, lo cual determina la rentabilidad del mismo.

El cumplimiento de las metas en ventas proyectadas, permitirá asumir los costos y gastos asociados a la operación del proyecto para cada uno de los cinco años proyectados. Al primer año se alcanza un porcentaje de utilidad neta del 33.72%.

El punto de equilibrio como indicador de los niveles mínimos de operación requeridos para cubrir los costos y gastos operacionales, alcanza un valor en las ventas de \$112.896.480.

En cuanto a la inversión del proyecto está calculado en pesos Colombianos y corresponde a un valor Inicial de \$7.790, 696, 286 representado en Maquinaria y equipos y gastos de operación y mantenimiento.

El valor de la inversión corresponde a un crédito de Línea Verde, financiado a 10 años con una tasa efectiva anual de 9%, cuyos intereses en 10 años asciende a \$ 3.427.906.366, y al término de este periodo la inversión total sería de \$11.218.602.652.

## **6. PROTOCOLO PROYECTOS FENOGE PARA ZNI**

De conformidad con lo establecido en el numeral 8 del Artículo 8 de la Ley 1437 de 2011, el Ministerio de Minas y Energía se permite expedir el Manual Operativo del FENOGE, por el cual se tiene en cuenta la fundamentación para presentar proyectos con fuentes de energía no convencionales (FNCE) en zonas no interconectadas.

### **5.3.2. Carta de presentación de la propuesta**

Es un documento en el que se incluye de manera concreta la información más relevante del programa, plan o proyecto, así:

#### **Del solicitante:**

Nombre o razón social, tipo de identificación (cédula de ciudadanía, de extranjería, NIT u otro), número de identificación, actividad económica relacionando el Código CIIU correspondiente (mencionar la revisión), los productos o servicios que ofrece o si pertenece al sector residencial.

#### **Del programa, plan o proyecto:**

Nombre, tipo, objetivo, alcance, geocalización, número de beneficiarios, tiempo esperado de ejecución, fecha estimada de inicio, ejecutor, costo total, valor solicitado al fondo, valor cofinanciado por terceros, impacto energético (indicadores de eficiencia energética, de respuesta de la demanda, de generación de energía con FNCE, etc.) total de las emisiones de gases efecto invernadero que se mitigarían o evitarían y cualquier otro aspecto que se considere relevante y/o necesario para tener en cuenta en la evaluación.

Esta carta debe contener un inventario de los documentos presentados, domicilio y correos electrónicos para comunicaciones. Además, se deberá certificar que los documentos entregados son auténticos y la información es veraz.

### **6.1.2. Descripción del programa, plan o proyecto.**

Este aparte debe diferenciar claramente dos secciones:

#### **Diagnóstico y la línea base**

Se debe describir cuál es la situación o contexto antes de realizar el programa, plan o proyecto, la situación (operación) del proceso o área en el cual se realizará el proyecto de GEE, los principales equipos consumidores de energía, los energéticos que emplean y los consumos asociados (promedio mensual de los últimos doce meses, indicando las unidades correspondientes). Podrá incluir balances de masa y energía, diagramas, planos, información histórica, mediciones, resultado de auditorías energéticas, etc.

#### **Resultados esperados**

Se debe describir cómo el programa, plan o proyecto a realizar impactará positivamente (desde el punto de vista energético, económico, financiero, ambiental, social, etc.) el proceso o área en el cual se llevará a cabo, las ventajas, beneficios y cobeneficios.

### **6.1.3. Estudios técnicos**

Soportan la viabilidad técnica del programa, plan o proyecto. Deben incluir memorias de cálculo, diseños, descripción y especificaciones técnicas de las tecnologías a instalar, planos o diagramas, cantidades de obra, simulaciones,

modelos, salidas de software de cálculo o diseño, referencia a normas o reglamentos técnicos con los cuales cumplirá el proyecto. En desarrollo de los programas, planes o proyectos de eficiencia energética, los proponentes deberán instalar preferentemente equipos certificados de alta eficiencia.

La información esquematizada en los planos debe ser coherente con la del presupuesto y con el alcance propuesto. Dichos planos deben estar debidamente firmados por un profesional inscrito y libre de inhabilidades ante la entidad que lo agreemia. Se deben enviar en medio digital en formatos \*.dwg y \*.pdf para facilitar su revisión.

Para las propuestas en investigación, estudios técnicos, auditorías y cualquier otro que no resulte en la instalación o implementación de tecnologías físicas, solamente deberán incluirse dentro de este documento los aspectos relevantes del mismo.

#### **6.1.4. Indicadores con los cuales se realizará seguimiento al programa, plan o proyecto**

##### **Energéticos**

El indicador energético está relacionado con el cambio en el consumo específico definido como la cantidad total de energía primaria o secundaria de uso final por unidad de producto o servicio. Se mide en unidades calóricas o energéticas equivalentes con respecto a las unidades de producto o servicio.

El indicador es el cambio producido en el consumo específico, entre el período  $t$  y el  $t+1$ , donde  $t$  es la situación sin proyecto y  $t+1$  situación con proyecto:

$$\Delta CEt = (E_{t+1}/Pt+1)/(Et/Pt)$$

$$\text{Proporción de ahorro} = 1 - \Delta CEt$$

Donde

$\Delta CEt$  = Cambio en el consumo específico entre el tiempo t y t+1

$E_t$  = Consumo de energía en el período t

$P_t$  = Cantidad de productos o servicios en el período t

$E_{t+1}$  = Consumo de energía en el período t+1

$P_{t+1}$  = Cantidad de productos o servicios en el período t+1

Este indicador se define como “Variación en el consumo específico”. Además de éste, podrán emplearse otros como los contenidos en la norma NTC/ISO 50001.

### **Económicos**

El indicador económico está relacionado con el porcentaje de ahorro económico alcanzado con las medidas adoptadas y viene dado por el ahorro monetario asociado a la ejecución del programa, plan o proyecto. Este indicador se define como “Porcentaje de ahorro anual alcanzado con las medidas adoptadas”.

### **Ambientales**

Para estimar el impacto ambiental se debe calcular las emisiones reducidas o evitadas a través de la operación del programa, plan o proyecto en ton CO<sub>2</sub>e.

## **Sociales**

Se debe identificar el número de personas beneficiadas directamente por la ejecución del programa, plan o proyecto presentado. El indicador para este criterio es “Número de personas beneficiadas”.

**6.1.5. Presupuesto.** Es la expresión financiera de las actividades del programa, plan o proyecto con sus respectivos costos unitarios y las cantidades de obra. Debe incluir los costos indirectos como administración, imprevistos, utilidad, costos de la contratación de la Interventoría y otros costos que sean necesarios para la puesta en servicio del programa, proyecto o plan. Se debe desagregar en fuentes de financiación.

El presupuesto también debe incluir claramente cualquier incentivo tributario que se esté considerando obtener o aplicar para el éxito de la propuesta

**6.1.6. Análisis de Precios Unitarios – APU.** Son el soporte del presupuesto y corresponde al análisis de costos unitarios estimados para la ejecución del plan, programa o proyecto, incluyendo los costos de contratación de la interventoría técnica y financiera, auditoría y administración a que haya lugar. La sumatoria de todos los APU debe ser coincidente con el valor total del presupuesto.

**6.1.7. Cronograma y flujo de fondos.** Es la relación de los tiempos y actividades, en el que se deben señalar los hitos más representativos para la ejecución del plan, programa o proyecto, de forma que permita realizar el seguimiento a su ejecución.

**6.1.8. Estudio Financiero.** Son los cálculos que demuestren que el proyecto tiene definida la sostenibilidad financiera en el tiempo, estableciendo como se realizará la administración, la operación, el mantenimiento, el cronograma de los mantenimientos preventivos y la reposición de los sistemas energéticos implementados.

Se requiere incluir el análisis socioeconómico de la región y la localidad en la que se desarrolla el proyecto.

Se debe calcular y presentar el flujo del proyecto, la relación Beneficio – Costo (B/C), el Valor Presente Neto (VPN) y el periodo de retorno de la inversión.

**6.1.9. Registro BPI.** El respectivo plan, programa o proyecto deberá estar registrado en el Banco de Proyectos de Inversión del Ente Territorial o en el Banco de Proyectos de Inversión Nacional – BPIN

**6.1.10. Aval técnico y financiero del prestador del servicio.** Documento firmado por el Representante Legal del Prestador del Servicio Público Domiciliario de Energía Eléctrica, sobre la viabilidad técnica y financiera del proyecto de inversión, en caso de que el proyecto sea de iniciativa del Ente Territorial; o la manifestación expresa de tal aprobación cuando sea producto exclusivo del Prestador del Servicio, en el cual se deberá indicar la disponibilidad para:

- Recibir los activos construidos como resultado de la ejecución del proyecto para efectuar las labores de Administración, Operación y Mantenimiento - AOM.
- Efectuar la reposición de los activos cuando sea necesario.
- Garantizar la prestación del servicio de energía eléctrica a los suscriptores potenciales, ofreciendo los índices de calidad y continuidad previstos en la regulación.
- Descripción del programa, plan o proyecto

**6.1.11. Acta de Concertación de la Comunidad.** En la cual deberán consignados los compromisos asumidos entre la comunidad, la entidad territorial y el prestador de servicios publico domiciliario de energía eléctrica que ´presenta el proyecto

**6.1.12. Análisis de riesgos e impactos ambientales y sociales.** Corresponde al estudio establecido en el artículo 38 de la Ley 1523 de 2012, que debe incorporar el análisis de riesgo de desastres en el nivel de detalle que sea definido en función de la complejidad y naturaleza de los planes, programas o proyectos.

El análisis y evaluación del riesgo implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación.

Este análisis debe ser incorporado desde la formulación de los planes, programas o proyectos, para prevenir la generación de futuras condiciones de riesgo asociadas con su instalación y operación.

Además, debe incluirse un estudio y análisis de los riesgos e impactos que se esperan afrontar y generar con el plan, programa o proyecto a nivel económico, ambiental y social, incluyendo, pero sin limitarse a posibles beneficios y externalidades en la calidad de vida de las comunidades e impactos a nivel de adaptación al cambio climático.

#### **6.1.13. Certificado de presentación a otros fondos o fuentes de financiación**

El Representante Legal de la Entidad solicitante de los recursos debe certificar si el proyecto fue presentado a consideración de otro u otros Fondos y, de ser así, si se le asignaron o asignarán recursos de otra fuente de financiación.

Para estos efectos deberá indicar los montos aprobados o que se proyectan sean aprobados, y los porcentajes de financiación de estos para el programa, plan o proyecto que presenta.

**6.1.14. Certificado de tradición y libertad.** Este documento es expedido por la Superintendencia de Notariado y Registro y debe ser presentado cuando el proyecto requiere de predios para la construcción de algún tipo de infraestructura.

Estos certificados deben ser expedidos con antelación de máximo treinta (30) días calendario, y debe constar que los predios están libres de restricciones.

**6.1.15. Consulta Previa.** Constancia del trámite de consulta previa ante el Ministerio del Interior sobre grupos étnicos, comunidades indígenas y comunidades afro descendientes, así como su resultado o estado del trámite.

**6.1.16. Licencias y permisos ambientales.** Certificado de Parques Naturales en donde se establezca que las comunidades beneficiarias se encuentran o no ubicadas en áreas pertenecientes al SINAP (Sistema Nacional de Áreas Protegidas).

Si el programa, plan o proyecto requiere licencia ambiental o plan de manejo ambiental, adjuntar certificado del trámite de la licencia ambiental y/o permisos ambientales complementarios o el aval de la autoridad ambiental competente necesarios para la debida ejecución de los proyectos o en su defecto carta de la autoridad ambiental certificando que no requiere licencia o permiso ambiental.

## **6.2. Documentos y requisitos específicos adicionales para proyectos de generación de electricidad con FNCE**

**6.2.1. Aval de Conexión.** Para el caso de los proyectos de FNCE, se requiere un documento donde el representante legal del operador de red (OR), la empresa prestadora del servicio de energía eléctrica o la entidad competente, certifica la viabilidad de conexión del proyecto garantizando la administración, operación, mantenimiento y reposición de la infraestructura, así como la prestación del servicio con índices de calidad.

La certificación expedida debe indicar que el plan, programa o proyecto cumple con las especificaciones y normas técnicas definidas para los materiales, equipos, construcción e instalación de la infraestructura, además, que se tiene la disponibilidad y viabilidad de conexión, transporte y comercialización.

La certificación no debe tener una fecha de expedición superior a seis (6) meses a la fecha de presentación de la propuesta al Equipo Ejecutor del FENOGE.

**6.2.2. Certificado de Plan de Desarrollo y Plan de Expansión.** Se debe presentar el certificado de inclusión del proyecto en el Plan de Desarrollo de la entidad territorial cuando el solicitante es una de ellas.

Certificado de inclusión en el Plan de Expansión del OR para los proyectos que se conectan al SIN, o certificado en donde indique que no hace parte de la expansión de red. Para la implementación de FNCE, se requiere certificación de no inclusión

en el Plan de Expansión emitida por el OR o por la entidad territorial en el cual se especifique que los usuarios beneficiados por el proyecto no son interconectarles.

**6.2.3. Usuarios beneficiados.** Listado de usuarios beneficiados, georeferenciados por localidad (en un archivo Excel), desagregando los usuarios por localidad e indicando su ubicación geográfica (mapa de longitud y latitud).

**6.2.4. Indicadores de Cobertura.** Se deberán incluir las metas de cumplimiento de indicadores de cobertura, calidad de servicio, recaudo y medición en la prestación del servicio de energía eléctrica, de acuerdo con los criterios de eficiencia establecidos por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG).<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> 17. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Manual FENOGE. [en línea] [Recuperado 03 de abril de 2018]  
Disponibles en:  
<https://www.minminas.gov.co/documents/10180/674559/Foro+Manual+Operativo+del+FENOGE.pdf/fa32892c-828f-454b-945f-d582b5fbc3>

## 7. CONCLUSIONES

- Se cumplió con las normas y la consecución de los objetivos tanto generales como específicos establecidos para el desarrollo de este proyecto.
- Con el estudio realizado se concluye que para el año 2038 la demanda energética abarcará un máximo aproximado de 600.000 kWh/mes de los cuales 185.076 kWh/mes son a base de energía solar fotovoltaica y un número de usuarios de 1504.
- La inversión inicial del proyecto según la evaluación económica se retorna a los 4.8 años y tendremos 15.4 años de utilidad solo con la necesidad de invertir un 0.6% anual de la inversión inicial en mantenimiento y prevención de daños del sistema solar.
- El costo total de energía (kWh) generado en el sistema solar Fotovoltaico simulado por el software es de (\$ 210 COP) pero con el incremento de dinero debido al préstamo sube un 25% quedando el valor de kWh fotovoltaico a (\$262.5 COP), el cual es más económico que el costo total de energía generado por la quema del ACPM (1056.64 COP), este costo total de energía comprende la generación, distribución y comercialización en su totalidad por kWh.
- Podemos concluir que la radiación promedio diaria en la zona puntual de evaluación debido a las condiciones de humedad y temperatura se acerca a los 3.95 kWh/m<sup>2</sup>d, lo que significa que esa zona tiene condiciones óptimas para la implementación de este tipo de energía renovable.
- El tiempo de viable en la recuperación de inversión en los sistemas solares son menores o iguales a 6 años ( $t \leq 6$  años), ya que este proyecto da un retorno de

inversión por debajo de este tiempo podemos afirmar que es factible implementarlo.

- El software de ingeniería utilizado para la simulación del sistema solar (PVsyst) es una de las herramientas más utilizadas a nivel mundial por ingenieros y empresas que desarrollan este tipo de energía, lo que permite afirmar que es muy confiable y preciso en los resultados de simulación.
- Las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> (6328.4 tCO<sub>2</sub>) durante la ejecución de este proyecto son significativas para combatir uno de los problemas más importante que sufre nuestra humanidad a nivel mundial y que aún estamos a tiempo de prevenirlo.
- Se pudo cuantificar la necesidad de implementar 4.626 módulos Fotovoltaicos LG 400 N2W-A5, así como 24 inversores Sunny Tripower 60-US-10 (400 VAC), en la configuración del sistema fotovoltaico con el fin de producir 2272 MWh/año y de este modo garantizar 185KWh/mes el cual es aproximadamente el 50% de la energía total consumida en los 20 años.
- La base meteorológica de la NASA y la UPME sin duda alguna permite dimensionar óptimamente la autonomía de un sistema fotovoltaico, del mismo modo permite determinar la tecnología más adecuada de módulos fotovoltaicos según el comportamiento de la irradiación solar a lo largo del año.
- Desarrollar proyectos de este tipo permite aportar a los procesos de masificación y expansión de la energía fotovoltaica para las zonas no interconectadas generando un mejor aprovechamiento de los recursos en pro de la reducción de costos ambientales y económicos.

## 8. RECOMENDACIONES

- Fomentar con mayor intensidad desde el Estado la explotación de energías renovables que abundan en el país para disminuir los riesgos energéticos asociados a la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles.
- Promover la generación de electricidad con fuentes en recursos naturales renovables para disminuir los riesgos energéticos asociados al efecto climatológico por el fenómeno del niño, que reduce las fuentes hidrográficas y consecuentemente la producción de electricidad en hidroeléctricas.
- Diversificar la matriz energética nacional que provea respaldo en tiempo de escasez por el fenómeno del Niño, evitando la compra de energía a países vecinos y a racionamientos obligados.

## BIBLIOGRAFIA

ALONSO, José. Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas. [en línea] Agosto 12 de 2017. Europe Sun fields. [Recuperado el 20 de marzo de 2018] Disponible en: [https://myslide.org/the-philosophy-of-money.html?utm\\_source=sunfields-manual-calculo-fotovoltaica-autonomas-pdf](https://myslide.org/the-philosophy-of-money.html?utm_source=sunfields-manual-calculo-fotovoltaica-autonomas-pdf).

Civicsolar. “LG LG400N2W-A5 NeON 2 400W 72 Cell Mono SLV/WHT Solar Panel. [en línea] [Recuperado 03 de abril de 2018] Disponible en: <https://www.civicsolar.com/>

Civicsolar. “SMA Sunny Tripower 24kW 480VAC TL Inverter w/ SWDM-US-10 STP 24000TL-US-10. [en línea] [Recuperado 03 de abril de 2018] Disponible en: <https://www.civicsolar.com/>.

CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1715 de 2014. [en línea] [Recuperado 21 de marzo de 2018] Disponible en: [http://www.upme.gov.co/normatividad/nacional/2014/ley\\_1715\\_2014.pdf](http://www.upme.gov.co/normatividad/nacional/2014/ley_1715_2014.pdf).

DANE. Censo general 2005. [en línea] [Recuperado 19 de marzo de 2018] Disponible en: <https://www.dane.gov.co/files/censos/libroCenso2005nacional.pdf>.

Empresa de Energía del Municipio de Nuquí.

GUTIERREZ, Carolina. Seis horas de luz en Nuquí. [en línea] Mayo 9 de 2012, El espectador [Recuperado el 18 de Marzo de 2018] Disponible en: <https://www.elspectador.com/noticias/actualidad/vivir/seis-horas-de-luz-nuqui-articulo-345033>.

IPSE, Inversiones Fondo FAZNI. [en línea] [Recuperado el 20 de marzo de 2018] Disponible en: <http://www.ipse.gov.co/proyectos/fazni-estado>.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Energía eléctrica. [en línea] [Recuperado el 21 de Marzo de 2018] Disponible en: <https://www.minminas.gov.co/fazni1>.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Manual FENOGE. [en línea] [Recuperado 03 de abril de 2018] Disponibles en: <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/674559/Foro+Manual+Operativo+del+FENOGE.pdf/fa32892c-828f-454b-945f-d582b5fbc3>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Proyección regional de demanda de energía eléctrica y potencia máxima en Colombia. UPME. [en línea] Julio de 2016 [Recuperado 21 de marzo de 2018] Disponible en: [http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/UPME\\_Proyeccion\\_demanda\\_regional\\_energia\\_electrica\\_Julio\\_2016.pdf](http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/UPME_Proyeccion_demanda_regional_energia_electrica_Julio_2016.pdf).

NASA. Surface meteorology and Solar Energy. [en línea] [Recuperado 03 de abril de 2018] Disponible en: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=5.7069444444444&lon=-77.27027777777777&submit=Submit>.

pvsyst/software/Download. [en línea] [Recuperado 03 de abril de 2018] Disponible en: <http://www.pvsyst.com/en/software/download>.

RETScreen | Natural Resources Canada.” [en línea] [recuperado 20 de abril de 2018] Disponible en: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>.

SEBASTIAN, Eliseo. Radiación, Irradiancia, insolación solar. [en línea] febrero 23 de 2018. [Recuperado 21 de marzo de 2018] Disponible en: <http://eliseosebastian.com/radiacion-solar-irradiancia-e-insolacion/>.

UPME. Atlas radiación solar en Colombia. [en línea] 2017 [Recuperado 03 de Abril de 2018] Disponible en: [http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/Atlas/Atlas\\_radiacion\\_solar\\_2017.pdf](http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/Atlas/Atlas_radiacion_solar_2017.pdf).

UPME. Mapas de radiación solar global sobre una superficie plana. [en línea] 2017 [Recuperado 03 de abril de 2018] Disponible en: [http://www.upme.gov.co/docs/atlas\\_radiacion\\_solar/2-mapas\\_radiacion\\_solar.pdf](http://www.upme.gov.co/docs/atlas_radiacion_solar/2-mapas_radiacion_solar.pdf).