

GESTIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTÁICOS PARA LA GENERACIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA EN ZONAS NO INTERCONECTADAS (En comunidades
menores a 500 habitantes) EN EL PACÍFICO COLOMBIANO

YEFER ARLEY GAMBOA PALACIOS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA
MEDELLÍN
2016

GESTIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAÍCOS PARA LA GENERACIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA EN ZONAS NO INTERCONECTADAS (En comunidades
menores a 500 habitantes) EN EL PACÍFICO COLOMBIANO

YEFER ARLEY GAMBOA PALACIOS

Trabajo de grado para optar al título de Magister en Ingeniería

Asesor

ALAN F. HILL BETANCOURT

Magister en Gestión Tecnológica

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

MAESTRÍA EN INGENIERÍA

MEDELLÍN

2016

(15 de noviembre de 2016)

(Yefer Arley Gamboa Palacios)

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada.

Firma



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Yefer Arley Gamboa Palacios', with a horizontal line drawn through the bottom of the signature.

A la memoria de mi padre Alejandrino Gamboa.

AGRADECIMIENTOS

El autor quiere agradecer a todos aquellos que de una u otra forma aportaron para que este trabajo se llevara a feliz término, especialmente a:

Dios por darme la sabiduría y fuerza para terminar los estudios de maestría.

La Universidad Pontificia Bolivariana por ser una universidad que ofrece excelencia académica y permitirme cursar la maestría.

Los profesores por sus enseñanzas, especialmente a mi director de proyectos Allan Hill Betancourt por su constante ayuda para poder terminar mis estudios de maestría y este trabajo de grado.

A mis compañeros de clase por su apoyo a lo largo de este proceso académico.

Al Departamento del Chocó por darme la oportunidad de ser beneficiario de la convocatoria para la formación de capital humano de alto nivel para el departamento de Chocó 2014 (Maestría Nacional).

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	1
RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPITULO 1. ESTUDIO DE CASOS.....	15
El caso de Isla Fuerte, Colombia [18]	26
El caso Titumate – Chocó [18].....	27
CAPITULO 2. UNIVERSO OBJETO DE ESTUDIO (MUNICIPIO DE NUQUI) Y DIAGNÓSTICO.....	28
CAPITULO 3. IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES ENERGÉTICAS Y DETERMINACIÓN LAS DEMANDAS.....	43
CAPITULO 4. ESPECIFICACIÓN Y ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.	48
4.1 ELEMENTOS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	48

4.2 SISTEMA ESPECIFICADO PARA EL PRIMER ESCENARIO	57
4.3 SISTEMA ESPECIFICADO PARA EL SEGUNDO ESCENARIO	68
4.4 ANÁLISIS ENERGÉTICO Y ECONÓMICO DE SUSTITUCIÓN	72
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXOS.....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama típico de distribución de la energía eléctrica en Nuquí. [Fuente UPME]	33
Figura 2. Distribución de la energía solar incidente en la tierra. Fuente [17]	34
Figura 3. Mapa de irradiación global horizontal medio diario anual en Colombia. Fuente [7].....	36
Figura 4. Irradiación promedio anual en el Municipio de Nuquí. Fuente [7]	38
Figura 5. Mapa de brillo solar en Colombia. Fuente [7]	41
Figura 6. Hora solar pico. Fuente [16].....	42
Figura 7. Sistema fotovoltaico autónomo. Fuente [16].....	49
Figura 8. Panel Solar Fotovoltaico. Fuente [16].....	51
Figura 9. Curva característica de un Panel Solar Fotovoltaico. Fuente [17]	52
Figura 10. Banco de baterías. Fuente [26].....	56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de los sistemas de generación de energía eléctrica en el municipio de Nuquí. [Elaboración propia del autor: vista a las comunidades, a las fuentes de generación y a ELECTRONUQUI]	32
Tabla 2. Irradiación en el Municipio de Nuquí. Fuente [7]	37
Tabla 3. Irradiación global del municipio de Nuquí según la NASA. Fuente [23] ...	39
Tabla 4. Horas de brillo solar en el Municipio de Nuquí. Fuente [7]	40
Tabla 5. Potencia nominal de aparatos más utilizados. Fuente [16]	43
Tabla 6. Horas de operación diario de los elementos de uso frecuente en las instalaciones solares fotovoltaicas. Fuente [16]	44
Tabla 7. Usuarios de corregimiento y localidades menores en el Municipio de Nuquí. Fuente [ELECTRONUQUÍ]	45
Tabla 8. Consumos proyectados primer escenario. [Elaboración propia]	46
Tabla 9. Consumos proyectados segundo escenario. [Elaboración propia]	47
Tabla 10. Tipos de células solares de silicio. Fuente [16]	51

Tabla 11. Reducción de la vida útil de la batería con la temperatura. Fuente [16]	55
Tabla 12. Datos generales de radiación solar en el municipio de Nuquí. Fuente [7]	58
Tabla 13. Características del panel utilizado para el dimensionamiento del escenario 1.	58
Tabla 14. Costos del sistema primer escenario. [Elaboración propia]	67
Tabla 15. Costos del sistema segundo escenario. [Elaboración propia].....	71
Tabla 16. Costos del sistema a base de ACPM. [Elaboración propia]	74

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 1Ω (ohmio) y que esté sometido a una diferencia de potencial de 1 V (voltio).

Autodescarga: 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.

Batería de plomo-ácido: denominación general que incluye las baterías construidas con placas de plomo puro, plomo-antimonio o plomo calcio y un electrolito ácido.

Batería abierta: aquella en la que el contenedor, o bien provee una tapa superior removible, o bien tiene orificios de acceso a su interior con tapones removibles, para verificar el nivel y la densidad del electrolito y/o para suministrar agua en caso de disminución del nivel del electrolito líquido.

Batería sellada: batería cuyo electrolito queda confinado en un espacio con cierre hermético provisto de una tapa de ventilación recerrable, denominada también “batería hermética con regulación de válvula”. Carece de orificios de acceso a su interior. En las baterías selladas el electrolito puede ser líquido, absorbido o gelificado.

Batería sellada líquida: cumple la condición de batería sellada pero su electrolito es líquido, como en las baterías abiertas.

Batería absorbida: el electrolito se halla confinado e inmobilizado en la estructura microporosa de separadores sólidos que además, son altamente absorbentes.

Batería gelificada: se le inmobiliza el electrolito por adición de sustancias que le dan apariencia gelatinosa.

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 cm² a la temperatura del punto de solidificación del platino (2042 K).

Capacidad de batería: cantidad total de amperios-hora que se puede extraer de una batería con carga completa.

Capacidad nominal de batería: cantidad máxima de energía que se puede extraer de una batería con una rapidez determinada. Se le denomina también como “capacidad de régimen de la batería”.

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.

Corriente de cortocircuito I_{sc} : Es la máxima intensidad de corriente que proporciona el panel, y corresponde a la corriente que entrega cuando se conectan directamente los dos bornes. I_{sc} suele rondar los 3 A.

Eficiencia o rendimiento: Es el cociente entre la máxima potencia eléctrica que el panel puede entregar a la carga y la potencia de la radiación solar P_L incidente sobre el panel, habitualmente en torno al 10%.

Teniendo en cuenta las definiciones de factor de forma y del punto de máxima potencia, se llega a la siguiente igualdad:

$$\eta = \frac{P_M}{P_L} = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{P_L}$$

Factor de forma FF : El factor de forma es la relación entre la potencia máxima que el panel puede entregar y el producto $I_{sc} \cdot V_{oc}$. 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.

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 I_{sc} y V_{oc} .

Tensión de circuito abierto V_{oc} : Es el máximo voltaje que proporciona el panel, correspondiente al caso en que los bornes están “al aire”. V_{oc} 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 sustancia 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^2 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.

Régimen de carga: rapidez con que se recarga una batería. Se expresa como la razón entre la capacidad de la batería y el flujo de corriente que ingresa a ella.

Régimen de descarga: rapidez de extracción de corriente de una batería. Se expresa como una relación entre la capacidad de la batería y el flujo de corriente que sale de la batería.

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.

Voltaje de corte: nivel de potencial (o voltaje) al cual un controlador desconecta de la batería al campo fotovoltaico o a la carga.

RESUMEN

En este trabajo se estudia la gestión de sistemas fotovoltaicos autónomos (no conectados a la red nacional) como posible solución a la problemática de energización de las zonas geográficamente aisladas, especialmente el Pacífico colombiano; las cuales a lo largo de la historia del país han padecido las consecuencias de no contar con un eficiente y continuo servicio de energía eléctrica.

Lo anterior mediante un diagnóstico energético de las poblaciones, el estudio de casos de sistemas energéticos de lugares con condiciones similares a las del Pacífico colombiano y un análisis de la energía solar como fuente renovable y limpia para la generación de energía eléctrica. Finalmente se propone una combinación de elementos que componen un sistema energético autónomo el cual, posiblemente, satisfaga las demandas energéticas de ésta población del País. Adicionalmente, se incluye un estudio económico, donde se establecen los costos de implementación y operación de un sistema fotovoltaico para las comunidades objeto de estudio.

INTRODUCCIÓN

Gran parte del parte del Pacífico colombiano hace parte de las zonas no interconectadas eléctricamente de Colombia (zonas aisladas geográficamente), razón por la cual la generación de energía eléctrica se hace generalmente con plantas que utilizan diésel como combustible, la cual posiblemente no es la solución más adecuada debido a que este tipo de plantas genera altos niveles de ruido (contaminación auditiva), contaminación por gases emitidos (CO₂) los cuales inciden directamente en el cambio climático. Esto sumado a que no existe conexión vial con el interior del País y a los altos precios de los combustibles como lo es el diésel, da lugar a altos costos en la generación de la energía eléctrica. La poca cobertura del servicio de energía eléctrica influye negativamente en la calidad de vida de los habitantes de la zona.

En estas áreas la cobertura del servicio de energía eléctrica es del 34%. El 96% de la generación proviene de plantas eléctricas que utilizan como combustible ACPM [\[6\]](#).

Debido a lo anterior, la población se ve en la necesidad de utilizar biomasa (árboles) como material combustible en la preparación diaria de los alimentos y esto afecta de una manera drástica la vegetación en la zona especialmente los manglares que son desforestados. No obstante lo anterior en el presente trabajo no se aborda la problemática de la cocción y por lo tanto, en cierta medida, la problemática de la cocción a no ser que se realice de forma comunitaria continuara dependiendo de la biomasa.

La falta de energía eléctrica también causa problemas para el desarrollo de actividades nocturnas en los hogares por falta de iluminación, para la conservación de alimentos (en especial el pescado) y en la seguridad de las comunidades por la oscuridad en las calles sin alumbrado público.

El estado propende y debe propender de forma más proactiva por implementar programas tendientes a mejorar las condiciones energéticas del Pacífico colombiano con el objeto de incrementar la calidad de vida de su población.

El Plan Energético Nacional (PEN) 2006-2025 de Colombia, reconoce que en el País, al igual que en muchos de Latinoamérica, el acceso a la electricidad y a los modernos combustibles es limitado y escaso en las áreas marginadas y zonas rurales. Lo anterior debido a la ausencia de la infraestructura para llevar los servicios energéticos, a las condiciones económicas precarias de los pobladores para pagar los costos de los servicios y a que las soluciones emprendidas no son sostenibles en el largo plazo.

De igual manera, el PEN expresa que maximizar la contribución del sector energético a la equidad y desarrollo social de los ciudadanos más vulnerables no es otra cosa que mejorar el nivel de vida de las comunidades localizadas en zonas conectadas y no interconectadas, en las zonas rurales y en los estratos bajos de la población. Lo anterior mediante programas para el acceso a la energía comercial que impulsen y que se integren eficazmente con los programas de desarrollo productivo de las regiones.

Desde hace muchos años el Estado colombiano viene realizando inversiones en infraestructura energética, aprovechando las fuentes energéticas locales para lograr aportar al desarrollo de estas regiones. En sistemas solares, pequeñas

centrales hidráulicas y plantas diésel. De acuerdo con el Plan Energético Nacional 2006-2025, Se han realizado inversiones de decenas de miles de millones de pesos, de las cuales un alto porcentaje no se encuentra en operación [6]. Se han presentado problemas de sobrecostos por deficiencias en la fase de diseño o en la baja vida útil de los equipos. Como consecuencia se ha generado un perjuicio para la gestión de los recursos del Estado [6]. Es prioritario procurar por financiar proyectos de energía integrados a proyectos productivos de las zonas no interconectadas con lo cual no se limitaría la permanencia del sistema energético por la carencia de recursos para mantenerlos en operación. [6]

A pesar de los progresos logrados, aún la cobertura es baja. El servicio es insuficiente y limitado y no se han aprovechado los potenciales energéticos de cada región. Por lo anterior se ha limitado el desarrollo de actividades productivas que permitan generar recursos tendientes a lograr bienestar socioeconómico en las zonas no interconectadas (ZNI). [6]

Con este trabajo se pretende estudiar la gestión de un sistema autónomo de generación de energía que utilice los recursos naturales que tiene la región, que pueda ser implementado y de esta forma contribuir a la solución de la problemática de la energía eléctrica que presentan estas comunidades. Lo anterior teniéndose en cuenta como referencia que las fuentes renovables de energía son catalogadas como ilimitadas, inagotables, medioambientalmente amigables y sostenibles en el tiempo.

La implementación de un sistema de red comunitario con energía fotovoltaica permitiría, posiblemente, solucionar problemas como lo son: Altos costos de mantenimiento para los generadores diésel, altos costos del combustible durante las épocas de lluvias y mareas en el caso de zonas costeras y sin conexión

terrestre, las pérdidas no técnicas y la dependencia del petróleo y otros combustibles fósiles.

Schramm (1993) enumera varias razones con el objeto de llevar a cabo este tipo de proyectos de electrificación. Entre otras el autor cita las siguientes: Promover el desarrollo agrícola, industrial y comercial de las zonas rurales, como lo es la electricidad para bombeo y irrigación; sustituir otras fuentes más costosas de energía, como el kerosene para iluminación, y el diesel; mejorar la calidad de la vida a través, por ejemplo, de una iluminación de mayor calidad y de la utilización de aparatos electrodomésticos, con el beneficio de ahorrar tiempo, en particular en los trabajos domésticos; mejorar el nivel de vida de la población rural pobre; frenar la emigración de las zonas rurales a las urbanas; mejorar la seguridad, la estabilidad política y corregir desequilibrios regionales y corregir el sesgo urbano o rural y reducir la deforestación al reemplazar la leña y el carbón.

El gobierno nacional de Colombia mediante la leyes 1715 de 2014 y 697 de 2001 promueve, fomenta y estimula el uso de energías alternativas, a través del Ministerio de Minas y Energía. Esta entidad es responsable de promover, organizar, asegurar el desarrollo y el seguimiento de los programas de uso racional y eficiente de la energía de acuerdo a lo dispuesto en estas leyes.

Los principales objetivos de las leyes son el promover y asesorar los proyectos uso racional y eficiente de la energía (URE), presentados por personas naturales o jurídicas de derecho público o privado, de acuerdo con los lineamientos del programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de energía no convencionales (PROURE), estudiando la viabilidad económica, financiera, tecnológica y ambiental y el promover el uso de energías no convencionales dentro del programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de

Energía no Convencionales (PROURE), estudiando la viabilidad tecnológica, ambiental y económica.

Para la promoción del uso de fuentes no convencionales de energía, al Ministerio de Minas y Energía se le encarga la labor de formular los lineamientos de las políticas, estrategias e instrumentos para el fomento y la promoción de las fuentes no convencionales con prelación en las zonas no interconectadas.

Adicionalmente el Gobierno Nacional, a través de los programas que se diseñen, incentivará y promoverá a las empresas que importen o produzcan piezas, calentadores, paneles solares, generadores de biogás, motores eólicos, y/o cualquier otra tecnología o producto que use como fuente total o parcial las energías no convencionales. Ya sea con destino a la venta directa al público o a la producción de otros implementos, orientados en forma específica a proyectos en el campo de acuerdo a las normas legales vigentes.

En este estudio, en el capítulo 1 se presentan una serie de casos que se han desarrollado en algunos países del mundo y en Colombia en particular. En el capítulo 2 se define el universo objeto del trabajo las cuales son comunidades poblacionales pertenecientes, geográficamente, al municipio de Nuquí en el departamento del Choco situado en el litoral pacífico colombiano. Se efectúa la valoración de las circunstancias actuales y del potencial fotovoltaico de la región. Posteriormente en el capítulo 3 se realizan dos escenarios de un estimativo de las demandas y de los consumos de energía eléctrica con el objeto de establecerse un valor con el cual, las comunidades poblacionales, satisfagan unas necesidades básicas mínimas tendientes a elevar su calidad de vida.

En el capítulo 4 se presentan unas bases teóricas concernientes al dimensionamiento y especificación general de los sistemas fotovoltaicos, se aplican a los dos escenarios y se efectúa una breve evaluación económica teniéndose como referencia un sistema semejante, el cual satisfaga el consumo de energía, con base en un combustible fósil como lo es el ACPM.

Finalmente, en el capítulo 5 se presentan las conclusiones del estudio y se esbozan algunas recomendaciones.

CAPITULO 1. ESTUDIO DE CASOS

A lo largo de la historia reciente del mundo se han realizado un sinnúmero de investigaciones sobre sistemas fotovoltaicos aplicables a zonas rurales, de las cuales se puede obtener información la cual se relaciona de forma directa con esta investigación. Algunas investigaciones realizadas se describen a continuación. Sin embargo, en ellas no se detalla una evaluación económica de las mismas.

Guerrero et al. [1] Presentaron una descripción de oferta y demanda de la energía solar fotovoltaica actual en la costa Caribe colombiana, esto debido a las óptimas condiciones que presenta esta zona del país para la implementación de sistemas fotovoltaicos autónomos. Éste artículo muestra los rendimientos eléctricos de los módulos fotovoltaicos comerciales en la zona utilizando modelos matemáticos y describe cada uno de los componentes del sistema fotovoltaico autónomo.

El análisis se centra en sistemas fotovoltaicos autónomos sin conexión a la red nacional los cuales son muy usados en electrificación rural, agrícola, ganadera, forestal, en aplicaciones militares y en la energización de equipos alejados de la red como comunicaciones, señalización y control.

También se resalta el crecimiento de la industria solar fotovoltaica en Colombia y en el mundo en los últimos años, con aportes de países como España y Alemania los cuales tienen claramente definida su política de energías renovables (Ley de energías renovables). Reconocen al estado Colombiano como el primer comprador de la energía solar fotovoltaica en el país.

Los autores también describen y resaltan la importancia de los equipos que conforman un sistema solar fotovoltaico como lo son el generador, la batería y el regulador solar.

El generador solar para aplicación en soluciones de electrificación no interconectados presentan potencias con Wp (Watt pico) superiores a 80Wp.

La batería solar, también llamado acumulador es un elemento importante de los sistemas fotovoltaicos en zonas no interconectadas. Este elemento se emplea como respaldo en los momentos en los cuales los módulos solares fotovoltaicos no puedan generar como lo son la noche y los periodos de alta nubosidad. Los autores recomiendan como tipo de batería ideal para utilizarse la batería estacionaria y de electrolito alcalino por su confiabilidad y resistencia aunque las de electrolito ácido sean más económicas.

El regulador Solar, también conocido como controlador es el elemento encargado de proteger las baterías y evitar sobre cargas en las mismas y así prolongar la vida útil de la batería.

Benítez et al [2]. En Cuba, presentaron un estudio realizado en una zona rural (Las Peladas ubicado en el municipio Bartolomé Masó Márquez, de la provincia Granma); el cual tiene 56 habitantes, 14 viviendas y 3 km² de superficie, de condiciones similares a la población objetivo del presente trabajo.

En el estudio se define, dentro de varias opciones y mediante un modelo matemático multi-objetivo (SURE), una herramienta computacional para la planificación energética. Se identificó el estado actual de los Activos o Capitales

de la comunidad con la ayuda de una serie de reglas lógicas (mediante un sistema experto), con la información proveniente de una encuesta que se le practicó a la comunidad, con la observación de las condiciones físicas y naturales de la comunidad y con los datos de instituciones oficiales ambientalistas de la región se constituyeron las variables de decisión del modelo.

Con el empleo del modelo multi-objetivo (SURE) y sus variables de decisión. Se caracterizó Inicialmente la sostenibilidad de la comunidad y su posterior esquema de cobertura energética con fuentes renovables o no renovables de energía. Se presentaron los resultados como lo son la demanda energética, los servicios e infraestructura disponible, el porcentaje de la población vinculada a actividades económicas, los recursos naturales disponibles, el nivel educativo y las actividades sociales y culturales de la comunidad.

En la aplicación del modelo matemático se tuvo en cuenta para las características de la comunidad un modelo de generación de energía integral, en el cual se evaluaron cinco alternativas: energía eólica, biomasa, solar, hidráulica y la conexión a la red nacional. Finalmente, con base en los resultados del modelo se eligió la energía solar fotovoltaica como la solución a la problemática de energía de las Peladas-Cuba.

Este estudio revela la importancia de ahondar en el tema de generación de energía eléctrica a partir de fuentes limpias renovables, en especial la energía solar. También revela la importancia de las herramientas matemáticas como instrumento valioso mediante las cuales es posible tomar decisiones más apropiadas en lo que a alternativas energéticas se refiere [\[2\]](#).

Murcia [3] en su artículo (Development of Solar Energy in Colombia and its Prospects), presenta el desarrollo que ha tenido la energía solar en Colombia, sus aplicaciones y las actividades de Investigación y Desarrollo (I & D). Destaca el uso de la energía solar en calentadores solares desde sus inicios a mediados del siglo pasado y su evolución a través del tiempo. También la generación de electricidad con energía solar empleando sistemas fotovoltaicos y su relación con el sector rural. La importancia y las proyecciones en el futuro. De igual forma hace un análisis de los altos costos de generación y mantenimiento de los sistemas de generación a base de combustibles fósiles en zonas remotas, y manifiesta que los sistemas fotovoltaicos presentan resultados más económicos y confiables a largo plazo.

En el trabajo de Murcia se especifican los inicios de las actividades que surgieron con el programa de Telecomunicaciones Rurales de Telecom (Empresa de Teléfonos de Colombia) a comienzos de los años 80, donde se instalaron pequeños generadores fotovoltaicos de 60Wp (Wp: vatio pico) para radioteléfonos rurales. El programa continuó instalando estos sistemas y pronto se escaló a sistemas de 3 a 4 kWp para las antenas satelitales terrenas. Debido al éxito del programa muchas empresas comenzaron a instalar sistemas para sus servicios de telecomunicaciones y actualmente se emplean sistemas solares en repetidoras de microondas, boyas, estaciones remotas, bases militares, entre otras aplicaciones.

Estos sistemas son hoy esenciales para las telecomunicaciones rurales del país.

De igual forma dice, el estudio de Murcia, que durante los últimos años se han instalado muchos más sistemas en los programas de electrificación rural con fuerte financiación del Estado haciendo uso actualmente de recursos como el FAZNI (Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No

Interconectadas). El IPSE (Instituto para la Promoción de Soluciones Energéticas) es en la actualidad la institución que lidera las acciones del Estado en la energización del campo colombiano. Según esta institución hay, en la actualidad, más de 15 000 sistemas instalados para estas aplicaciones. Adicionalmente, el IPSE tiene en desarrollo soluciones innovadoras como sistemas híbridos en donde se combinan; por ejemplo, la energía solar fotovoltaica y las plantas Diésel, para reducir los costos de generación y emplear el generador Diésel como respaldo.

En el estudio también se presentan las principales dificultades y debilidades de este tipo de sistemas y se describe la electrificación rural convencional para hogares aislados incluyéndose sus costos, sus componentes y su utilización en Colombia. [\[3\]](#).

Pinto [4] en su estudio “Energías renovables y desarrollo sostenible en zonas rurales de Colombia. El caso de la vereda Carrizal en Sutamarchán”, presenta los resultados de una investigación que tuvo por objeto la exploración del potencial de energías renovables de una zona rural deprimida. La vereda Carrizal del municipio de Sutamarchán - Boyacá, ubicado en una estribación del Valle de Moniquirá la cual la conforman 35 familias dedicadas a la agricultura en 1.248,7 hectáreas. El trabajo se centró en la evaluación de la oferta y la demanda de energía y en su posible suministro.

El estudio se realizó con base en la información socioeconómica la cual se obtuvo de documentos públicos del municipio y de un censo llevado a cabo por el autor; en la información fisiográfica la cual se obtuvo de Instituto de Hidrología, Meteorología y de Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) y de literatura disponible en internet. El potencial de biogás se obtuvo de un muestreo de la producción semanal de desechos del municipio, realizado por el autor, así como

de otro estudio realizado por la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACÁ) en la misma zona. Los datos demográficos del Departamento Nacional de Estadística (DANE - 1996) de municipios aledaños también le permitieron al autor la extrapolación de los resultados a la producción de basuras de otros municipios.

En el artículo se identifica la solución energética que se debe implementar, se hace un diagnóstico de la realidad energética actual de la población, se evalúan las demandas actuales y potenciales derivadas de proyectos de desarrollo y se evalúa el potencial de energías renovables (Potencial de energía solar y de biogás) para el aprovechamiento de los recursos derivados del mecanismo de desarrollo limpio (MDL) con el objeto de cubrir los costos de inversión inicial. Lo anterior con el objetivo de gestionar sistemas que disminuyan los gases de efecto invernadero.

El estudio concluye que el uso de servicios de energía en comunidades rurales depende principalmente del nivel de ingreso y que por tanto la expansión de la cobertura de servicios de energía a zonas no interconectadas debe priorizar el fomento de la actividad económica local. También concluye que, aún en zonas interconectadas, se requiere de un aumento del ingreso para hacer efectivo el consumo de servicios de energía. En el estudio también se manifiesta que en las zonas rurales, las externalidades producidas por una sobreexplotación agrícola en el pasado, se traducen en impactos sobre la producción actual y da origen a una imperfección en el mercado de la energía.

También concluye, el estudio de Pinto, que una política orientada a la expansión de la energía en medios rurales debe observar la adopción de soluciones con base en energías renovables suponiéndose consideraciones rigurosas sobre

Desarrollo Sostenible (DS) por encima de los beneficios globales generados por la mitigación de emisiones de GEI (Gases de efecto invernadero) y de los atractivos económicos dado a la naturaleza biunívoca de las energías renovables y el DS. El estudio también manifiesta que sólo una interpretación estricta del Desarrollo sostenible (DS), basada en la inclusión de los intereses de futuras generaciones, trae a las comunidades rurales oportunidades ciertas de incentivos provenientes de las políticas globales para la mitigación y la adaptabilidad al cambio climático a través del mecanismo de desarrollo limpio y de proyectos sobre uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y forestación (LULUCF: land use, land-use change and forestry) y que la exploración de estas posibilidades es deber de las autoridades.

También manifiesta Pinto, que las deficiencias en la interpretación del DS se originan en la fragmentación institucional del tema de la energía. Actualmente, el diseño de políticas orientadas al mejor uso de las energías renovables en zonas rurales, involucra a las autoridades ambientales, agrícolas y de la energía. Más que una colaboración conjunta, parece requerirse además de una política integrada, un rediseño institucional. Los retos comprenden la sostenibilidad agrícola del sector campesino, la promoción de iniciativas potenciales beneficiarias de las políticas globales de cambio climático, el desarrollo de la capacidad en transferencia tecnológica y en los procesos de certificación de reducción de emisiones. [4].

Nandwani [5] presenta los usos de la energía solar en Costa Rica, país que promueve el uso de fuentes renovables como la hidráulica, la mini hidráulica, la eólica, la geotérmica y la Solar. Principalmente para la generación de electricidad. Casi el 90 % de la electricidad se produce a partir de estas fuentes renovables. Lo anterior debido a través de diferentes políticas y algunos incentivos. La generación privada también se estimula y existen algunos sistemas descentralizados como lo

son los calentadores de agua solares. La calefacción para piscinas, cocinas, secadoras y alambiques. También se incentivan los paneles fotovoltaicos. Estos últimos son, en su mayoría, para la población donde no hay red eléctrica. Dependiendo de la provincia, 91 a 99,5 % de la población está electrificada. El Gobierno costarricense también fomenta el uso de dispositivos de ahorro de energía, especialmente en el sector doméstico e industrial.

Nandwani resalta la importancia de estudiar sistemas de generación que utilicen fuentes de energía renovables, para la solución de problemas de electrificación causados por la lejanía a las zonas de interconexión [\[5\]](#).

[22] La ONG AWA (Energía para el desarrollo humano) en el documento “Energías Renovables en Senegal - Mapa de actores e iniciativas” efectúa un análisis de la implementación de los sistemas energéticos en los cuales se utilizan fuentes de energía renovables y se destaca que, en la actualidad, el suministro total de energía primaria en Senegal depende en un 54 por ciento de la biomasa y en un 40 por ciento del petróleo y sus derivados con pequeños porcentajes en otras fuentes como el carbón, la energía hidráulica y la solar. Todos los combustibles fósiles son importados, lo cual genera una gran dependencia energética del exterior y alta vulnerabilidad ante el incremento de los precios del petróleo. La biomasa, principal fuente de energía del país, se utiliza como fuente de calor, en la mayoría de los casos de forma tradicional.

En el año 2009, el acceso a la electricidad era de un 42 por ciento. La tasa de electrificación rural paso del 8 al 20 por ciento entre los años 2000 y 2010. Sin embargo, el suministro eléctrico actual, realizado por la Sociedad Nacional de Electricidad de Senegal (SENELEC) sufre continuas interrupciones del sistema debido a la incapacidad de cubrir la demanda eléctrica y a la deficiente red de

distribución. Por lo anterior, el gobierno senegalés ha propuesto el plan de urgencia Takkal con el objeto de asegurar el aprovisionamiento en hidrocarburos, el aumento de la producción y la rehabilitación de la red de mantenimiento y de las centrales existentes, así como la construcción de nuevas centrales.

En el campo de la electrificación rural, donde las tasas apenas llegan al 20 por ciento, se espera un gran aumento en los próximos años una vez entren en plena operación los planes a largo plazo desarrollados por la Agencia Senegalesa de Electrificación Rural (ASER). Según el “Document de Politique Economique et Sociale 2011-2015”, se esperaba alcanzar una cobertura del 32 por ciento en el año 2012.

La penetración de energías renovables en el sistema energético senegalés era bastante reducida. Según datos de 2009, apenas superaba el uno por ciento, el cual correspondía principalmente a energía hidráulica. El gobierno se fijó como objetivo lograr un 15 por ciento de penetración de energías renovables para el año 2015 producto de la construcción de grandes plantas conectadas a la red de distribución de SENELEC y de la electrificación rural mediante sistemas individuales o pequeñas plantas conectadas a mini-redes.

A partir del año 1998 se han producido en el país de Senegal una serie de modificaciones normativas y administrativas para el desarrollo del sector energético. En estas modificaciones han participado actores estatales, privados, organismos internacionales y organizaciones de desarrollo. Se han logrado la implementación de programas y proyectos relevantes; entre los que se destacan los Programas Prioritarios de Electrificación Rural (PPER) cuyo objetivo radicaba en la conexión de 163.571 nuevos hogares en 2017 y hacer de la electrificación rural un negocio comercialmente viable, los programas energéticos

multisectoriales (PREM) cuyo objetivo es maximizar los efectos de la electrificación rural sobre la reducción de la pobreza, los programas de electrificación rural de Iniciativa Local (ERIL) cuyo objetivo es complementar el PPER y dar una vía rápida de acceso a la electrificación rural y hacer de la electrificación rural un negocio comercialmente viable, Plantas solares de 13MW (Mega vatios) cuyo objetivo es la Conexión a la red de SENELEC para venta de energía, los programas de electrificación rural fotovoltaica de 400 poblados cuyos objetivos son la instalación de 662 sistemas fotovoltaicos de 340 WC para los centros comunitarios (Dispensarios, maternidades, escuelas, centros para jóvenes, mezquitas, iglesias, edificios administrativos, etc.) y de 2.648 farolas solares de alumbrado público, repartidas por todo el territorio senegalés, la electrificación de las Islas del Delta del Río Saloum cuyo objetivo es la instalación de 10.000 sistemas fotovoltaicos familiares de 50 WC. [22]

El gobierno Colombiano a través del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE) llevó a cabo la construcción del primer Parque de Poli generación del país con fuentes eólica, solar y térmica. Con una inversión total de 8 mil millones de pesos.

El proyecto está diseñado para brindar el servicio de energía las 24 horas del día, de manera continua, a los corregimientos de Nazareth y Puerto Estrella, del municipio de Uribia, en el departamento de La Guajira. Estas comunidades podrán recibir energía eléctrica a través de diferentes fuentes, como son: La fotovoltaica, con seguidores solares; la eólica, por medio de aerogeneradores mono pala (prototipo) y plantas eléctricas a base de ACPM. En el proyecto se incluyeron las subestaciones eléctricas, las líneas de interconexión y las redes de distribución de media y baja tensión.

Se tiene previsto que con este parque, de 650 kilovatios de potencia instalada se beneficiarán 490 usuarios, y se planea llegar a beneficiar a 1.432 habitantes en Puerto Estrella y 5.235 en Nazareth (contando con residentes no conectados).

Para la administración del parque; inicialmente, se contó con la asistencia de la empresa fabricante de los aerogeneradores y del el sistema de integración de las fuentes de generación como parte de lo establecido en el contrato de construcción. Posteriormente, la asistencia, está a cargo de una empresa operadora seleccionada por el IPSE.

El propósito del anterior Proyecto Piloto de Ciencia y Tecnología, como Centro Tecnológico, perteneciente al área de investigación aplicada es evaluar el resultado para replicarlos en las Zonas No Interconectadas en las cuales se cuente con condiciones de viento y radiación solar propios para este tipo de proyectos.

El perímetro del parque es de 1.200 metros lineales y tiene un área de 9.000 metros cuadrados. En esta infraestructura se encuentran instaladas fuentes de generación eólica, solar y térmica, por lo cual, su denominación de ser un centro de poli generación de energía, que emplea diferentes alternativas para su operación.

Para su operación se dispone de dos aerogeneradores tipo mono pala, con una capacidad de 100 kilovatios; ocho seguidores solares de 12,5 kilovatios y dos grupos electrógenos de combustible ACPM de 225 y 125 kilovatios. Además tiene un Sistema de Telemetría en tiempo real, el cual está conectado con el Centro Nacional de Monitoreo, con el objeto de tener un control minucioso del proyecto [18].

El caso de Isla Fuerte, Colombia [18]

Isla Fuerte es un corregimiento de Cartagena de Indias que hace parte del Área Marina Protegida de Nuestra Señora del Rosario y San Bernardo, habitada por 2 mil habitantes, en su mayoría por comunidades tradicionales. El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas no Interconectadas – IPSE (entidad adscrita al Ministerio de Minas), fue el encargado de lograr en 8 meses la instalación de un Centro de innovación tecnológica con énfasis en combustibles gaseosos y energía solar. Este es un proyecto piloto que ha permitido el mejoramiento de la calidad de vida de todos sus pobladores y continúa desarrollando acciones positivas gracias a los líderes comunitarios y a la misma forma de organización comunitaria.

El sistema de generación de energía consiste en dos plantas diésel de 270kW y dos plantas solares de 25kW cada uno, que son las encargadas de brindar energía durante el día a la escuela, al puesto de salud, al centro de acopio, a dos casas bioclimáticas y, en la noche, a toda la Isla. Este proyecto se va a ampliar para que toda la comunidad disponga de energía en el día.

El centro de acopio cuenta con 15 refrigeradores en donde los pescadores pueden guardar lo producido en el día y venderlo a un mejor precio a turistas y comerciantes. Dicho centro es administrado por la cooperativa de pescadores que es la encargada del mantenimiento del mismo. Para ello, los pescadores deben pagar \$200 pesos por cada kilo- día [18].

El caso Titumate – Chocó [18]

El 25 de septiembre de 2013, se inauguró la ampliación del sistema de generación de energía eléctrica híbrido solar-diésel y gracias al cual ahora el corregimiento cuenta con este servicio de manera continua las 24 horas del día. Anteriormente solo se prestaba el servicio durante 4 horas diarias y había una capacidad instalada de 25 kW la cual se amplió a 135 kW.

Este proyecto, que fue implementado por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas – IPSE y entregado por su director al alcalde del municipio de Unguía, produce electricidad para la localidad con un 70% de energía proveniente del sol y un 30% con el combustible fósil diésel, lo que hace que haya una alta reducción de emisiones de CO₂ para el ambiente. El sistema tuvo un costo total de \$2.400 millones y provee a 106 usuarios entre los que se cuentan aproximadamente 600 personas. Este proyecto redundo en grandes beneficios para la comunidad en lo que a su calidad de vida se refiere. El instalar tecnología de punta, que está probada, funciona hoy en día en cualquier parte del mundo. El caso de Titumate, se convierte en un ejemplo para replicar no solo en el resto del Chocó, sino también en las demás zonas no Interconectadas del país que cuenten con el recurso solar.

Es importante anotar que se capacitaron 25 jóvenes como centinelas de la energía encargados de promulgar y cuidar el que se efectúe un uso racional y eficiente de este recurso en la localidad. [18].

CAPITULO 2. UNIVERSO OBJETO DE ESTUDIO (MUNICIPIO DE NUQUI) Y DIAGNÓSTICO

Como universo del presente trabajo se tomaron las comunidades rurales del Municipio de Nuquí, el cual se encuentra localizado en el Departamento del Chocó al occidente de la república de Colombia. La altura promedio sobre el nivel del mar de la cabecera municipal es de 5 msnm con una temperatura promedio de 28°C. Tiene asociados ocho corregimientos los cuales son Jurubirá, Tribugá, Panguí, Coquí, Joví, Termales, Partadó y Arusí. La cabecera municipal se encuentra localizado en las coordenadas 5°42'25": 5.706944444444444 Latitud Norte Y 77°16'13": -77.27027777777778 Latitud Oeste. Tiene una extensión de 956 km², de los cuales 70 y 886 corresponden al área urbana y rural respectivamente.

La población del municipio (según datos del censo 2005) era de 7625 habitantes de los cuales 3157 y 4468 corresponden a población urbana y rural respectivamente. La proyección del DANE a 2016 espera una población de 8668 (3809 habitantes en la cabecera municipal y 4859 a la población rural). [Fuente DANE]. La población indígena es la segunda etnia predominante después de la afrodescendiente. La población indígena de acuerdo con proyecciones del DANE está representada por las comunidades de Panguí, del río Nuquí, de Jurubirá, de Chorí, de Puerto Indio, de la Loma y de la Jagua y las cuales corresponden al 19.67% de la población total (1705 Indígenas proyectados a 2016).

El municipio de Nuquí limita por el norte con el municipio de Bahía Solano, por el sur con el municipio de Bajo Baudó, por el Oriente el municipio de Alto Baudó y por el Occidente con el Océano Pacífico. No cuenta con vías de acceso terrestres que lo conecten con el interior del País. Se conecta, con el resto del país, por vía aérea desde las ciudades de Quibdó o Medellín ó, por vía marítima, desde las ciudades de Buenaventura o Bahía Solano.

La prestación del servicio de energía eléctrica está a cargo de la Empresa de economía mixta ELECTRONUQUÍ, de la cual hace parte la Alcaldía municipal con el 51% de las acciones y el 49% restante pertenece a privados. La empresa de energía del Municipio de Nuquí; por ser esta zona no interconectada tiene la administración de los recursos del subsidio de energía para aéreas no interconectadas, y con ello la labor de compra y suministro de combustible para todas las plantas del territorio municipal, las cuales funcionan bajo la dirección de juntas corregimentales encargadas de operarlas y del cobro del servicio a los usuarios.

El gobierno nacional a través del IPSE, viene adelantando con recursos del FAZNI un proyecto que se encuentra en fase de diseño, a través del cual se espera incluir a Nuquí al Sistema Nacional de Interconexión eléctrica, con el cual se daría solución definitiva a la problemática de la prestación del servicio en una amplia área del municipio [18].

Las mayores dificultades en la prestación del servicio de energía eléctrica se deben a razones como lo son el desabastecimiento de combustible por limitaciones económicas producto del débil recaudo y los retrasos en giros de los recursos (Subsidio) por parte del IPSE (Sucre. E. 2012) y por la inestabilidad en la prestación de servicios de transporte al ser el combustible trasladado desde el puerto de Buenaventura vía marítima. También se presentan fallas debido a frecuentes daños en las plantas por una falta de mantenimiento preventivo o deterioro dado el cumplimiento del ciclo de vida de estas o de algunas partes o componentes de las mismas (Sucre. E. 2012). Los costos de operación de los sistemas de generación en los corregimientos se incrementan de forma notable debido al transporte desde la cabecera del municipio hasta el sitio de consumo el

cual varía dependiendo de la distancia. El caso es más crítico para las comunidades indígenas, las cuales para disponer del combustible, además de los costos de transporte antes mencionados, se les deben sumar los costos desde los corregimientos hasta las comunidades. El transporte desde los corregimientos se realiza por ríos y la mayoría se hace una parte en lanchas de motor y otra parte en canoas (con remos). El transporte depende de las condiciones de la marea, generalmente se debe esperar que se presente el fenómeno de pleamar (mareas altas) puesto que estas comunidades están ubicadas en las cabeceras de los ríos. En ocasiones se hace necesario también, transportar el combustible, cargado por los habitantes de la comunidad puesto que no se acostumbra la utilización de animales como caballos o burros. Lo anterior puede llegar a triplicar el costo del combustible.

Las consecuencias de un servicio intermitente de energía eléctrica. O en ocasiones nulo, genera que la percepción de inseguridad aumenta en la población. En los hogares y negocios los alimentos que necesitan de refrigeración se descomponen y las actividades propias de un hogar se alteran. La calidad de vida de la población se reduce. El desarrollo y la economía no progresan. [35] Rivera

“La luz en Nuquí es escasa y costosa. Costosísima. El municipio tiene una sola planta diésel, que funciona con el combustible que la empresa de energía eléctrica (Electronuquí) transporta en barco desde Buenaventura. Al mes la planta utiliza 4.500 galones de acpm que cuestan cerca de \$43 millones (eso sin contar el transporte y el mantenimiento). El compromiso del Gobierno es subsidiar el 86% de ese servicio para las personas estrato 1 y 2 (que son el 90% de los Nuquiseños), pero a veces, como en la pasada Semana Santa, los giros se retrasan y Nuquí queda en la oscuridad.

Como el problema son los costos altísimos, se han buscado alternativas. El IPSE (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas) hizo un estudio en 2008 en el que recomendó: primero, seguir un “plan de eficiencia energética” para reducir las pérdidas de energía y bajar el consumo.

Segundo, se pensó en la posibilidad de crear un sistema híbrido que combinara la energía tradicional con la solar, pero los estudios dictaminaron que la radiación solar en este lugar era muy baja y los costos de esta opción no serían tan bajos como se esperaba. Tercero, y la única opción que quizá se hará realidad, es una interconexión eléctrica (entre Nuquí, Pizarro, Cértegui y Alto Baudó), lo que representa la construcción de un corredor en la selva". [34] Carolina Gutiérrez, diario El Espectador, Mayo 2012.

Los esfuerzos del gobierno a través del IPSE en apariencia han sido insuficientes para dar solución a la problemática de la electrificación de zonas no interconectadas. Se requiere de proyectos que ayuden a dinamizar la producción y a mejorar la calidad de vida de la población con los cuales las comunidades no se sientan abandonadas y se preste un servicio las 24 horas del día y mantener por lo menos dichas plantas en estado productivo.

En la actualidad, en el Municipio de Nuquí, el 93% de la energía eléctrica se genera en plantas que utilizan como combustible DIESEL y el 7% restante se genera mediante una Micro central hidroeléctrica de 20 KW la cual está localizada en la comunidad indígena de Panguí. La cobertura en la prestación de este servicio alcanza, según estadísticas del DANE, al 65,5% de la población. El 95% de las comunidades cuentan con plantas DIESEL con una utilización promedio de 6 horas diarias en las zonas rurales. En la cabecera municipal el servicio se presta actualmente durante las 24 horas del día.

En la tabla 1 se presenta un resumen de los sistemas de generación de energía eléctrica que actualmente operan en el municipio de Nuquí y en la figura 1 se presenta el diagrama de distribución del servicio.

LOCALIDAD	CATEGORÍA	N° DE USUARIOS	COBERTURA	HORAS DE SERVICIO/DÍA	MARCA Y POTENCIA DE LA PLANTA		ANTIGÜEDAD	kW/Usuario
ARUSÍ	Corregimiento	112	100%	6 horas	Perkin	110 kW	20 años	0,98
TERMALES	Corregimiento	87	100%	6 horas	Cummis	60 kW	8 años	0,69
PARTADÓ	Loc. menor	52	100%	6 horas	Cummis	60 kW	8 años	1,15
JOVÍ	Corregimiento	93	100%	6 horas	Perkin	65 kW	20 años	0,70
COQUÍ	Corregimiento	78	100%	6 horas	Perkin	50 kW	20 años	0,64
PANGUÍ	Corregimiento	85	100%	6 horas	Perkin	45 kW	20 años	0,53
TRIBUGÁ	Corregimiento	54	100%	6 horas	Caterpillar	50 kW	20 años	0,93
JURUBIRÁ	Corregimiento	113	100%	8 horas	Cummis	100 kW	6 meses	0,88
PUERTO JAGUA	Loc. menor	98	100%	6 horas	Cummis	50 kW	7 años	0,51
COM. INDIGENA LA LOMA	Loc. menor	73	100%	6 horas	Cummis	45 kW	7 años	0,62
COM. INDIGENA PANGUÍ	Loc. menor	88	100%	24 horas	MCH	20 kW	N/A	0,23
COM. INDIGENA TANDÓ	Loc. menor	32	97%	6 horas	Lister	5 kW	12 años	0,16
COM. INDIGENA JURUBIRÁ (Villa nueva)	Loc. menor	65	100%	6 horas	Cummis	50 kW	4 meses	0,77
COM. INDIGENA RÍO NUQUÍ	Loc. menor	142	100%	6 horas	Cummis	50 kW	8 años	0,35
COM. INDIGENA PUERTO INDIO	Loc. menor	93	100%	6 horas	Cummis	50 kW	7 años	0,54

Tabla 1. Resumen de los sistemas de generación de energía eléctrica en el municipio de Nuquí. [Elaboración propia del autor: vista a las comunidades, a las fuentes de generación y a ELECTRONUQUI]

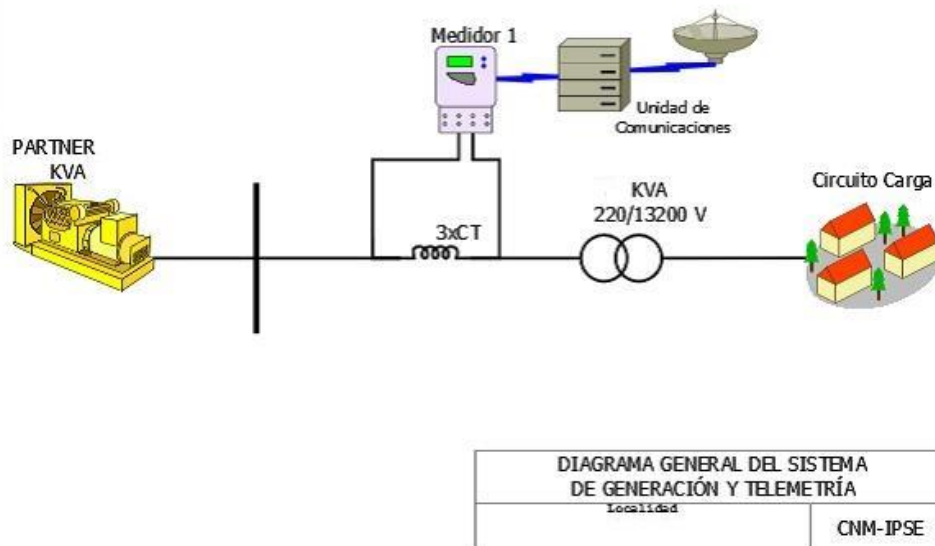


Figura 1. Diagrama típico de distribución de la energía eléctrica en Nuquí. [Fuente UPME]

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.

Sobre la Tierra incide una energía solar de 1.559.280 TWh en un año. Aproximadamente 15.000 veces más que la consumida (en la actualidad) en todo el planeta en ese mismo período de tiempo.

En la figura 2 Se presenta la distribución de la energía solar en la tierra. De la energía incidente el 30% se refleja al espacio y no llega a la superficie terrestre (467.784 TWh); el 50% se absorbe, calentando la superficie terrestre, siendo irradiada de nuevo al espacio (799.640 TWh). El 20% restante (311.856 TWh)

alimenta el ciclo hidrológico, evaporando el agua (19,76%, equivalente a 308.114 TWh), origina los vientos (0,18%, equivalente a 2.800 TWh), una parte de este viento se transfiere a la superficie de las aguas formando las olas, y el resto, (0,06% equivalente a 935,5 TWh) alimenta los mecanismos de fotosíntesis del cual dependen todos los combustibles fósiles, los cuales constituyen una pequeñísima porción de este 0,06% y es la única energía solar incidente que permanece retenida en la tierra temporalmente.[17]

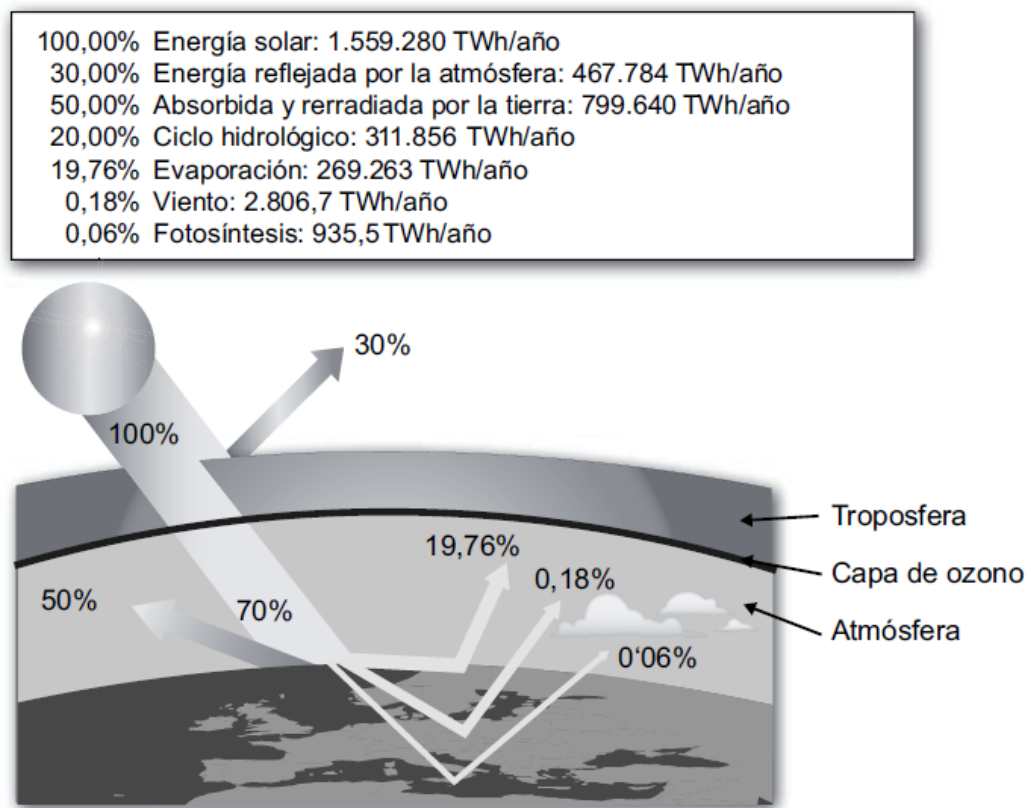


Figura 2. Distribución de la energía solar incidente en la tierra. Fuente [17]

Colombia tiene el privilegio de estar ubicada en la zona ecuatorial, lo cual le permite contar con radiación solar constante en determinadas zonas de su

territorio. Este efecto puede durar las 12 horas al día registrándose incluso los índices más altos a nivel mundial al igual a aquellos que se presentan en el continente Africano.

En teoría, la radiación media incidente por m^2 en Colombia de $4.5 \text{ kWh}/m^2\text{-día}$. En la práctica y en una zona como Nuquí, la radiación media por m^2 se encuentra en el rango entre 3.50 y $4.0 \text{ kWh}/m^2\text{-día}$ [7]. La zona geográfica con el mayor recurso solar es la Península de la Guajira ($6 \text{ kWh}/m^2\text{-día}$) [7]. En la figura 3 se presenta el mapa de irradiación global horizontal medio diario anual en Colombia.

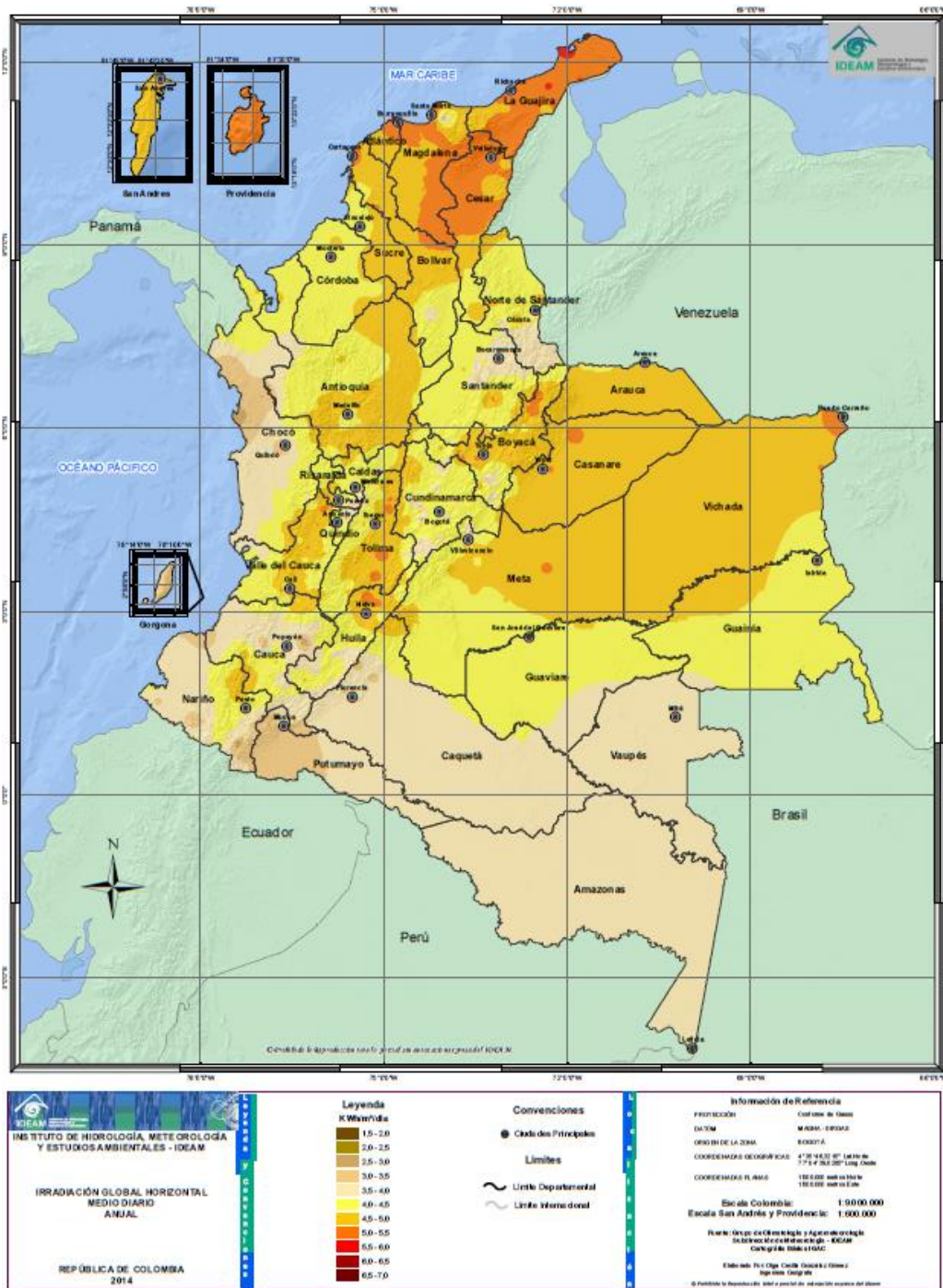


Figura 3. Mapa de irradiación global horizontal medio diario anual en Colombia. Fuente [7]

En Colombia existen 6 MW de energía solar instalados en aproximadamente 78.000 paneles. De los cuales el 57 y 43 % se emplean en aplicaciones rurales y en torres de comunicación y señalizaciones de tránsito respectivamente. [37]

En la tabla 2 y en la figura 4 se presentan una aproximación, mes a mes, de los promedios anuales diarios de la cantidad de energía de la radiación solar que incide por metro cuadrado de superficie horizontal sobre el municipio de Nuquí. En la tabla 3 se presentan los valores reportados por la NASA en las coordenadas correspondientes a la ubicación del municipio en la cual el promedio anual es de $3.95 \text{ kWh/m}^2\text{-día}$.

MES	RADIACIÓN (kWh/m²-día)
Enero	3.50 – 4.00
Febrero	4.00 – 4.50
Marzo	4.00 – 4.50
Abril	3.00 – 3.50
Mayo	3.50 – 4.00
Junio	3.50 – 4.00
Julio	4.00 – 4.50
Agosto	3.50 – 4.00
Septiembre	3.50 – 4.00
Octubre	3.50 – 4.00
Noviembre	3.00 – 3.50
Diciembre	3.00 – 3.50
Promedio	3.50 – 4.00

Tabla 2. Irradiación en el Municipio de Nuquí. Fuente [7]

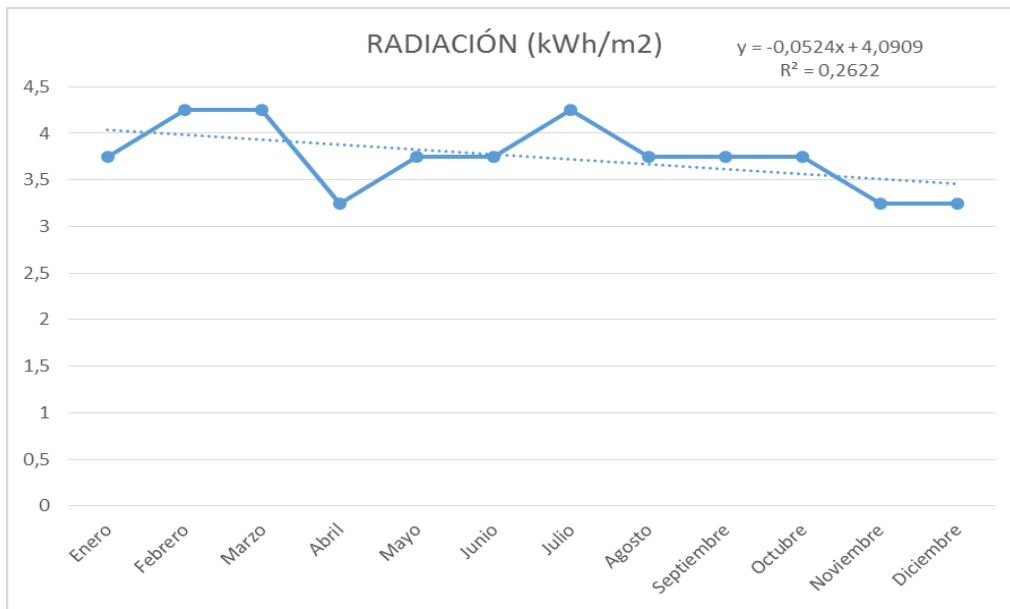


Figura 4. Irradiación promedio anual en el Municipio de Nuquí. Fuente [7]

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	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C
January	24.6	85.8%	4.06	98.6	1.8	25.0
February	25.0	84.7%	4.67	98.6	1.4	25.4
March	25.0	85.1%	5.02	98.6	1.3	25.6
April	24.9	87.3%	4.21	98.6	1.3	25.4
May	25.0	86.2%	4.01	98.7	1.6	25.4
June	24.9	84.8%	3.58	98.7	1.7	25.3
July	24.8	82.8%	4.04	98.7	1.8	25.1
August	24.7	83.9%	3.86	98.8	2.0	25.2
September	24.2	86.4%	3.49	98.8	2.2	24.7
October	24.0	87.7%	3.55	98.7	2.2	24.4
November	23.9	88.8%	3.46	98.7	2.2	24.2
December	24.3	87.8%	3.51	98.6	2.0	24.6
Annual	24.6	85.9%	3.95	98.7	1.8	25.0
Measured at (m)					10.0	0.0

Tabla 3. Irradiación global del municipio de Nuquí según la NASA. Fuente [23]

En La figura 5 se presenta el mapa de los promedios anuales diarios del número de horas de brillo en Colombia. El departamento del Chocó tiene aproximadamente un promedio anual de brillo solar de 4.00 horas por día.

En la tabla 4 se presenta un promedio mes a mes del brillo solar en la zona geográfica donde está ubicado el municipio de Nuquí.

MES	Horas
Enero	3.00 – 4.00
Febrero	3.00 – 4.00
Marzo	3.00 – 4.00
Abril	2.00 – 3.00
Mayo	3.00 – 4.00
Junio	3.00 – 4.00
Julio	4.00 – 4.50
Agosto	3.50 – 4.00
Septiembre	3.50 – 4.00
Octubre	3.50 – 4.00
Noviembre	3.00 – 3.50
Diciembre	3.00 – 3.50
Promedio	3.50 – 4.00

Tabla 4. Horas de brillo solar en el Municipio de Nuquí. Fuente [7]

Las horas solares pico corresponden al número de horas en las cuales la radiación supera los 1.000 W/m² (ver figura 6).

La hora solar pico (HSP) tomando el promedio de la tabla 2 se calcula así:

$$HSP \left(\frac{h}{\text{día}} \right) = \frac{3.75 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}}{1 \text{ kW/m}^2}$$

$$HSP = 3.75 \text{ h/día}$$

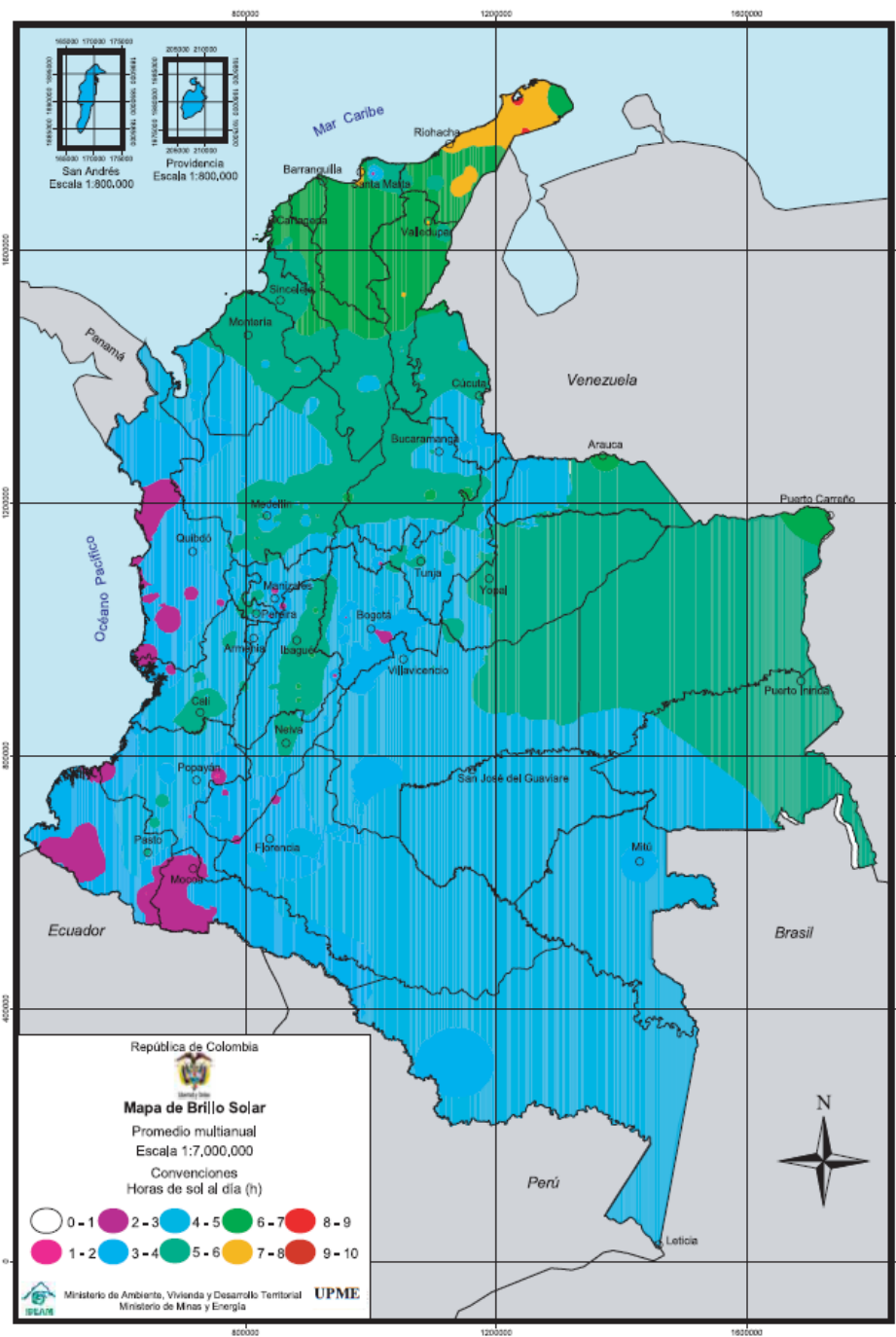


Figura 5. Mapa de brillo solar en Colombia. Fuente [7]

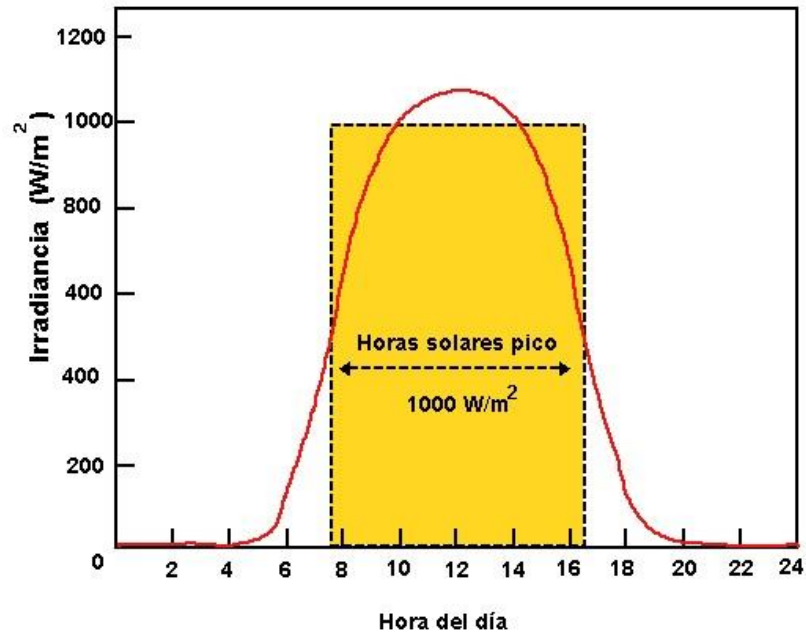


Figura 6. Hora solar pico. Fuente [16]

La radiación se divide en tres componentes las cuales son la directa, la difusa y el albedo que al sumarse dan como resultado la irradiación total. La directa es la radiación que se recibe directamente desde el sol en línea recta, sin que se desvíe en su paso por la atmosfera, es la que se recibe en mayor cantidad y la más importante para aprovechamientos fotovoltaicos. La difusa es la que se recibe del sol a través de las nubes después de ser desviada por dispersión atmosférica. El albedo es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión desde el suelo u otras superficies próximas. [16]

CAPITULO 3. IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES ENERGÉTICAS Y DETERMINACIÓN LAS DEMANDAS

Las necesidades energéticas corresponden a los elementos de consumo o cargas que el sistema debe satisfacer (bombillos, televisores, computadores, refrigeradores, etc.), estos pueden ser de corriente continua o alterna. En la tabla 5 se presentan los elementos comúnmente utilizados y la potencia nominal requerida por ellos. En la tabla 6 se presentan las horas típicas de utilización de la referencia [16]. No obstante lo anterior en este capítulo se presenta dos escenarios en los cuales se estiman equipos y horas de utilización. El consumo de energía eléctrica es el producto de la multiplicación de la potencia por las horas de utilización.

Elemento	Potencia Nominal (W)
Lámpara bajo consumo	9 – 15
Tubo fluorescente	50 - 99
Televisor color	50 - 100
Televisor B/N	20 - 30
Radio-cassette	0.5 - 15
Video	50
Plancha eléctrica	600 - 1200
Ordenador	200
Frigorífico 120 Litros	100 - 200
Congelador	90 - 150
Extractor	50 - 70
Pequeños electrodomésticos	50 - 200
Máquinas herramientas	200 - 500

Tabla 5. Potencia nominal de aparatos más utilizados. Fuente [16]

Elemento	Operación (Horas/día)
Iluminación	1
Iluminación intensa	3
Televisor color	3
Televisor B/N	3
Radio-cassette	1
Video	1
Lavadora	0,50
Plancha eléctrica	0,25
Ordenador	0,50
Frigorífico	6 – 12
Congelador	5
Pequeños electrodomésticos	0,25
Máquinas herramientas	0,25

Tabla 6. Horas de operación diario de los elementos de uso frecuente en las instalaciones solares fotovoltaicas. Fuente [16]

Con el propósito de estimar el posible consumo de una comunidad típica en el municipio de Nuquí, se establecen los equipos que normalmente se utilizan, la potencia de cada uno de ellos y las horas diarias de uso. Lo anterior tomando como base el promedio de los usuarios de los corregimientos y las localidades menores del municipio (85 Usuarios), como se muestra en la tabla 7.

LOCALIDAD	CATEGORÍA	N° DE USUARIOS
Arusí	Corregimiento	112
Termales	Corregimiento	87
Partadó	Loc. menor	52
Joví	Corregimiento	93
Coquí	Corregimiento	78
Panguí	Corregimiento	85
Tribugá	Corregimiento	54
Jurubirá	Corregimiento	113
Puerto jagua	Localidad menor	98
Comunidad indígena la loma	Localidad menor	73
Comunidad indígena Panguí	Localidad menor	88
Comunidad indígena Tandó	Localidad menor	32
Comunidad indígena Jurubirá (villa nueva)	Localidad menor	65
Comunidad indígena río Nuquí	Localidad menor	142
Comunidad indígena puerto indio	Localidad menor	93
Promedio		84,33

Tabla 7. Usuarios de corregimiento y localidades menores en el Municipio de Nuquí. Fuente [ELECTRONUQUÍ]

En el primer escenario, para la determinación de las necesidades de consumos de este tipo de comunidades, se estableció un promedio de 3 bombillas por usuario, 3 televisores en cada comunidad con su respectivo DirecTV, 3 computadores comunitarios, 2 equipos de sonido por comunidad, 1 radio cassette por usuario, 3 refrigeradores y 500W de potencia para consumos varios.

Se definió la necesidad de los 3 refrigeradores, debido a que por la falta de sistemas de conservación de los alimentos perecederos, estas comunidades se ven en la necesidad de utilizar prácticas ancestrales para la conservación de los alimentos como son, ahumarlos, conservarlos con grandes cantidades de sal y deshidratarlos al sol. Estas prácticas antiguas no garantizan la conservación de los alimentos y medicamente pues pueden causar problemas de salud a las personas.

Aunque es común encontrar solo un televisor comunitario en este tipo de comunidades, se procedió a tomar 3 televisores como medida de proyección de la comunidad, lo mismo que los equipos de sonido. En la tabla 8 se presentan los consumos proyectados en el primer escenario con base en 85 usuarios.

Equipo eléctrico	Potencia [W]	Número de equipos	Potencia Instalada [W]	Tiempo de operación (h/día)	Energía necesaria [W-h]
Bombilla (LED)	15	255	3825	3	11475
TV color	100	3	300	3	900
DirecTV	35	3	105	3	315
Computador	200	3	600	4	2400
Equipo música	150	2	300	1	300
Radio cassette	15	85	1275	1	1275
Congelador	150	3	450	12	5400
Varios	500	1	500	1	500
Total	1165	--	7355	--	22565

Tabla 8. Consumos proyectados primer escenario. [Elaboración propia]

En el segundo escenario el cálculo se realizó para 100 usuarios, con las potencias y horas de utilización que se presentan en la tabla 9. Se establece una bombilla por usuario y tres neveras (o congeladores), dos computadores, tres televisores conectados por direct tv y otras cargas (las cuales pueden ser alumbrado público) al servicio de toda la comunidad. Nótese que en ninguno de los dos escenarios se incluyen elementos de cocción como lo son parrillas o estufas. Estos elementos requieren de altas potencias (del orden de 1.2 kW por parilla y usuario). Si se tuviera un elemento de este tipo por usuario se requeriría por lo menos instalar aproximadamente 120 kW adicionales a los que se presentan en las tablas con una hora de utilización el consumo se elevaría en 120 kWh.

Elemento	Potencia [W]	Horas/día	Cantidad	Potencia Instalada [W]	Energía [W.h/día]
Bobillas	15	4	100	1500	6000
Neveras	250	14	3	750	10500
Computadores	250	8	2	500	4000
Televisor	250	8	3	750	6000
Direc TV	20	8	3	60	480
Otros cargas	755	4	1	755	3020
Total				4315	30000

Tabla 9. Consumos proyectados segundo escenario. [Elaboración propia]

CAPITULO 4. ESPECIFICACIÓN Y ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

4.1 ELEMENTOS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

El sistema a especificar es un Sistema Fotovoltaico autónomo, el cual se caracteriza porque todas las necesidades las cubre el propio sistema. La energía requerida por sus componentes eléctricos y electrónicos y la requerida por los usuarios se satisfacen de forma endógena sin recurrir a otro tipo de fuente. En la figura 7 se presenta un esquema de un sistema fotovoltaico autónomo.

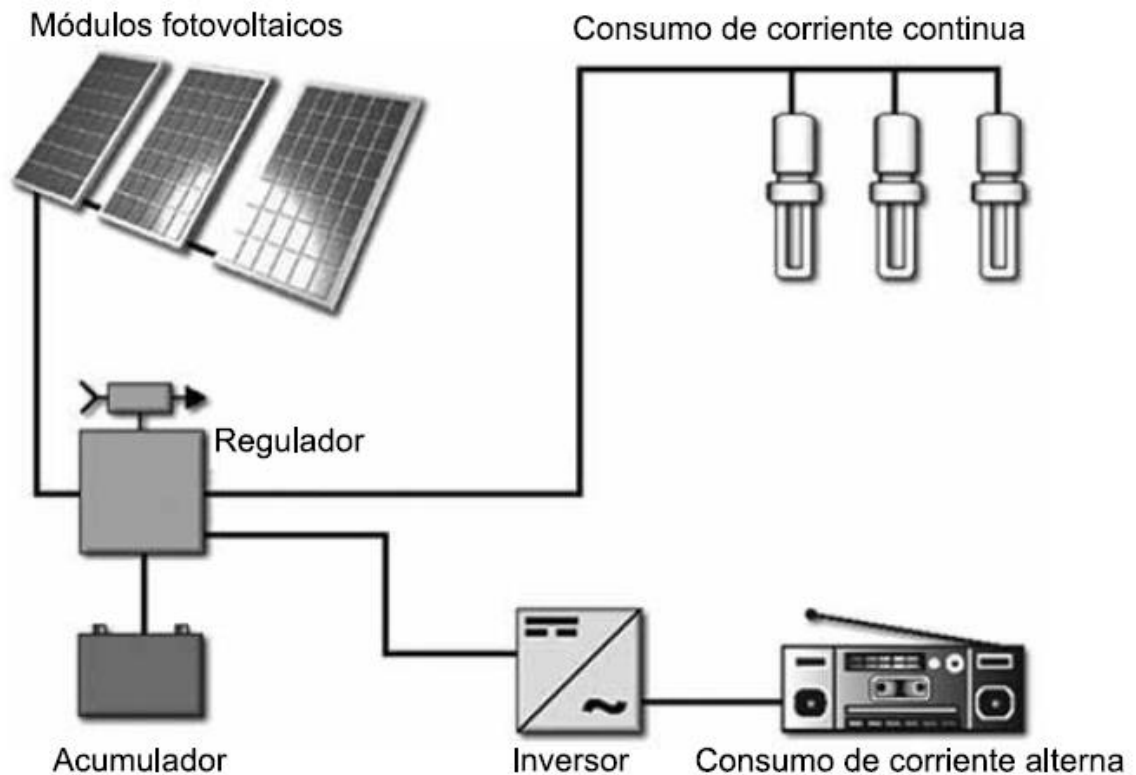


Figura 7. Sistema fotovoltaico autónomo. Fuente [16]

Los componentes de un sistema solar fotovoltaico son el conjunto de elementos interconectados entre sí con el fin de proporcionar energía eléctrica a una determinada carga, entendiéndose como carga todos los elementos de consumo como lo son la iluminación, los electrodomésticos, los equipos de comunicación, frigoríficos, etc. Esta constituido básicamente por los paneles solares, por el regulador y controlador de carga, por las baterías y por el inversor.

Los paneles son los elementos en los en los cuales se transforma la energía del espectro proveniente del sol en energía potencial eléctrica. Un módulo fotovoltaico está constituido por un conjunto de celdas interconectadas eléctricamente entre sí, en serie y/o en paralelo, de forma que la tensión y corriente suministrada por el

panel se incrementa hasta ajustarse al valor deseado. Además el panel cuenta con otros elementos que hacen posible la adecuada protección del conjunto frente a los agentes externos, asegurado una suficiente rigidez, posibilitando la sujeción a las estructuras que lo soportan y permitiendo la conexión eléctrica.

Los paneles solares tienen la función de generar energía eléctrica en corriente directa transformando la energía electromagnética del sol (convertir la radiación solar que incide sobre él en electricidad), sin elementos de concentración. Su geometría es plana y debería estar debidamente protegido contra la acción del ambiente en el cual trabaja, así mismo debe estar provisto de terminales de conexión por los cuales entrega su energía. La estructura del panel proporciona resistencia mecánica, facilita la evacuación del calor de las mismas incrementando así su rendimiento y favorece la optimización de la captación de la radiación solar.

Un conjunto de módulos interconectados dentro de un sistema, constituye el campo fotovoltaico del sistema.

Cada día en el mercado mundial se encuentran celdas fotovoltaicas más eficientes, lo cual evidencia el avance y mejoramiento de esta tecnología, lo cual nos permite utilizar menos espacio y menor número de paneles con el objeto de generar una misma cantidad de energía. En la tabla 10 se presenta la especificación técnica de algunos tipos de celdas que conforman los paneles y en la figura 8 se presenta un detalle de las conexiones y de la estructura que conforman un panel.

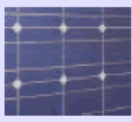

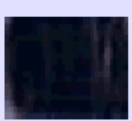
CÉLULAS		RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO	CARACTERÍSTICAS	FABRICACIÓN
	MONOCRISTALINO	24 %	15 - 18 %	Es típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralsky).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	POLICRISTALINO	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	AMORFO	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Tabla 10. Tipos de células solares de silicio. Fuente [16]

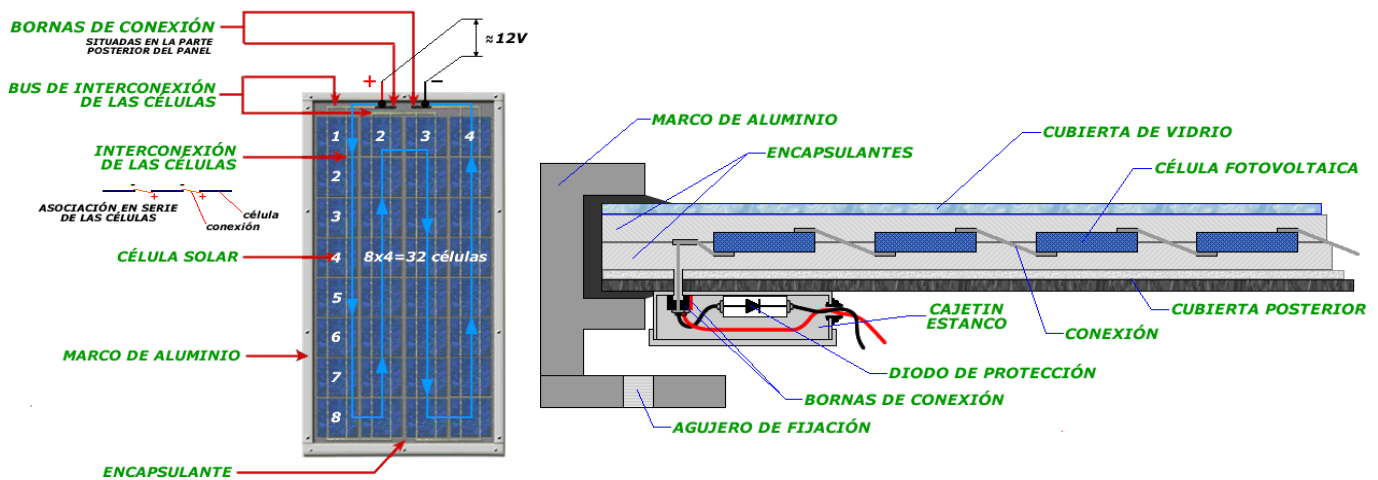


Figura 8. Panel Solar Fotovoltaico. Fuente [16]

La curva característica de un panel solar fotovoltaico (I vs V) se presenta en la figura 9.

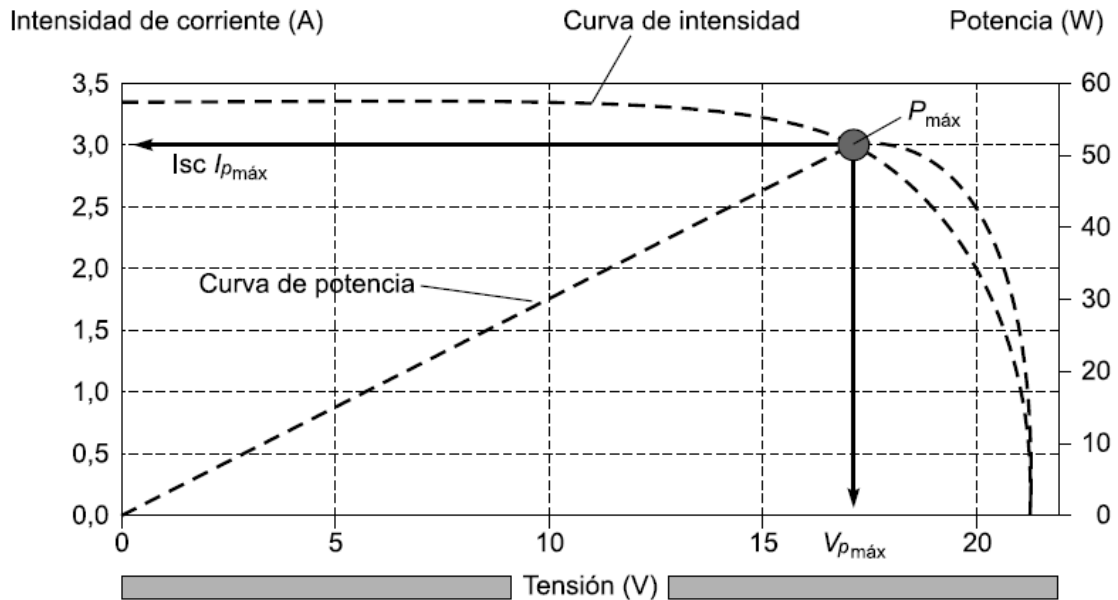


Figura 9. Curva característica de un Panel Solar Fotovoltaico. Fuente [17]

En el mercado se ofrecen diferentes tipos de paneles. Los más comunes están constituidos por entre 32 y 36 células solares de silicio cristalino, todas de igual tamaño, asociadas en serie y encapsuladas, habitualmente, entre vidrio y un material plástico, con una resina polimérica (EVA) como relleno. En función del tamaño de las células el área del módulo varía entre 0,1 y 0,5 m. Presenta dos bornes de salida, positivo y negativo, y, a veces, alguno intermedio para permitir la instalación de diodos de paso. El objeto de los diodos es proteger al panel del fenómeno del “punto caliente”. En el anexo 1 se presenta una tabla de los diferentes paneles solares comerciales disponibles actualmente en el mercado.

El sistema fotovoltaico puede operar a tres posibles tensiones nominales, 12V, 24V y 48V. Normalmente en sistemas fotovoltaicos se utiliza tensiones de 12 V

para potencias menores de 1,5 kW, 24 o 48 V para potencias entre 1,5 y 5 kW, y 48 V para potencias mayores de 5 kW.

El regulador y controlador de carga se requiere puesto con el objeto de evitar sobretensiones a las nominales con las cuales operan las baterías. También contrarrestan la disminución que se puede producir debido al aumento de temperatura y su evitan que las baterías (o trenes de baterías) se descarguen por debajo del 50 % de su capacidad de acumulación puesto que su vida útil se disminuye notablemente.

Por lo anterior el controlador de carga es el dispositivo electrónico diseñado con el objeto de proteger la batería contra posibles sobrecargas causadas por excedentes provenientes del módulo y/o campo fotovoltaico, evitar la sobre descarga de las baterías por exceso de consumo, eliminar las corrientes que puedan fluir desde la batería hacia el módulo fotovoltaico cuando éste no recibe energía solar, centralizar el cableado del sistema por lo cual debe proveer los terminales apropiados (de éste sale el cableado para la red del consumo) y proporcionar los elementos de monitoreo de las funciones del sistema.

Las baterías (acumulador) son los elementos que se encargan de almacenar en forma electroquímica la energía eléctrica fluctuante (no constante) que recibe del módulo o campo fotovoltaico y proporcionarla (de manera casi constante y/o sostenida) la energía a los elementos de consumo como lámparas o televisor.

En las instalaciones fotovoltaicas lo más habitual es utilizar un conjunto de baterías asociadas en serie o en paralelo para almacenar la energía eléctrica generada durante las horas de radiación para su utilización posterior en los momentos de baja o nula insolación.

Una batería está formada por la asociación en serie de varios elementos, vasos, o celdas, cada una de las cuales consta de dos electrodos de distinto material (materia activa) inmersos en una disolución electrolítica. Entre los electrodos se establece una diferencia de potencial. Las baterías más utilizadas en aplicaciones fotovoltaicas son de 12 o 24 voltios de tensión nominal.

Como acumulador de la energía eléctrica generada en los módulos fotovoltaicos, la batería cumple las funciones de amortiguar las fluctuaciones de corta duración en la energía que recibe del generador fotovoltaico, prolonga el lapso de tiempo de suministro de energía eléctrica por encima de los periodos de generación, proporciona autonomía al SFV (Sistema Fotovoltaico) en los eventuales intervalos en los que no se presente generación y regula la tensión del sistema.

Puesto que existen varios tipos de baterías, es conveniente utilizar baterías especialmente diseñadas para trabajar en los regímenes que imponen las intermitencias del recurso solar. Aunque las baterías de tipo automotriz tienen un desempeño aceptable (pero de muy corta vida), no son recomendadas para ser usadas en SFV.

La temperatura afecta de forma importante a las características de la batería. La capacidad nominal de un acumulador (que el fabricante suele dar para 25°C) aumenta con la temperatura a razón de un 1%/°C, aproximadamente. Pero en el caso de que la temperatura sea demasiado alta, la reacción química que tiene lugar en la batería se acelera, lo cual puede provocar la oxidación provocando la reducción de su vida útil. Para baterías de coche, este problema se compensa en parte poniendo densidades de disolución bajas (de 1.25 para baterías totalmente cargadas).

Si la temperatura es baja, la vida útil aumenta, pero se corre el riesgo de congelación. La temperatura de congelación depende de la densidad de la disolución, a su vez ésta directamente relacionada con el estado de carga de la batería: cuanto mayor es la densidad, menor es la temperatura de congelación. Por lo anterior para prevenir la congelación es mejor tener las baterías cargadas que descargadas.[24]. En la tabla 11 se presenta la reducción de la vida útil de las baterías con la temperatura. Debe procurarse por evitar la exposición a altas temperaturas del sistema de baterías. En la figura 14 se ilustra un arreglo de baterías consistente en dos bancos de nueve baterías en serie conectados en paralelo.

Temperatura del electrolito [°C]	Reducción de la vida útil [%]
25	0
30	30
35	50
40	65
45	77
50	87
55	95

Tabla 11. Reducción de la vida útil de la batería con la temperatura. Fuente [16]



Figura 10. Banco de baterías. Fuente [26]

El inversor es el dispositivo electrónico que convierte la corriente directa proveniente de la batería en alterna. También, este dispositivo se encarga de transformar el voltaje a los niveles de utilización de las diferentes cargas (por ejemplo, 12 V D.C en 120 V a.c.).

4.2 SISTEMA ESPECIFICADO PARA EL PRIMER ESCENARIO

Con el dimensionamiento del sistema de generación de energía eléctrica a partir de la energía solar fotovoltaica, se trata de calcular los elementos que conformarán la instalación y sus respectivos parámetros. Inicialmente el número y tipo de paneles requeridos para generar la energía necesaria con el objeto de satisfacer la demanda. En segunda instancia la capacidad de las baterías o sistema acumulador para almacenar y posteriormente disponer de la energía en días de poca o nula generación y finalmente elegir las características del resto de elementos que hacen parte del sistema como el regulador, convertidor, cables, etc.

Antes de explicar y aplicar el método en sí, se enumeran los datos, tanto técnicos como geográficos, necesarios para realizar los cálculos. En la tabla 12 se presentan los datos generales para el municipio de Nuqui.

El modelo de cálculo se basa en lo estipulado en el libro “Fundamentos de energía solar fotovoltaica para los grados de titulaciones científico-técnicas” [16].

Latitud del lugar (°)	5°42'25" Norte, 77°16'13" Oeste
------------------------------	---------------------------------

DATOS DE RADIACIÓN (G_{dm} (0), en kWh/m² - día)

Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost	Sep	Oct	Nov	Dic
--------------	------------	--------------	--------------	-------------	--------------	--------------	--------------	------------	------------	------------	------------

3.75	4.25	4.25	3.25	3.75	3.75	4.25	3.75	3.75	3.75	3.25	3.25
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Tabla 12. Datos generales de radiación solar en el municipio de Nuquí. Fuente [7]

Para el caso de estudio se utiliza como tensión nominal del sistema a dimensionar 48 V, puesto que la potencia del sistema en ambos escenarios es mayor o cercana a los 5 KW.

En el caso del primer escenario se utiliza un panel de marca AMPA SOLAR con las características que se presentan en la tabla 13 (Ver anexo 1). Las baterías o acumuladores de una capacidad nominal de 1150 amperios-hora (C_{nbat}) a 2 Voltios (V_{nbat}) y a una profundidad máxima de descarga (P_{dmax}) ó capacidad útil (C_{ubat}) del 50%. El regulador de una tensión nominal (v_{nreg}) de 80 Voltios.

El convertidor de corriente directa alterna de tensión nominal (v_{nconv}) de 48 Voltios con capacidad de una potencia instantánea pico de 9.000 Watios y una eficiencia del 85%.

Se especifica el sistema con el objeto de satisfacer la demanda de tres días autonomía (n) con la tensión de especificación nominal (v_n) de 48 Voltios.

CARACTRISTICAS DEL PANEL	
Fabricante	AMPA SOLAR
Modelo	ASM250P24
Tipo de célula	Monocristalino
Potencia MPP [W]	250
Tensión MP [V]	29.41
Corriente MP [A]	8.16
Tensión de circuito abierto [V]	36.50
Corriente de corto circuito [I _{cc}]	8,50

Tabla 13. Características del panel utilizado para el dimensionamiento del escenario 1.

Las características del panel se tomaron de la tabla que se presenta en el anexo 1. De acuerdo con el modelo de cálculo que se presenta en la referencia [16] se tiene:

Número de elementos

Consumos

$$CT = \frac{100 + MS}{Rdto} T$$

Donde

CT: Consumo total

MS: Margen de seguridad (Para el presente caso se utiliza 15%)

T: Total Wh/día = 22565Wh

Rdto: Rendimiento del inversor = 85%

$$CT = \frac{100 + 0.15}{0.85} * \frac{22565Wh}{día}$$

El consumo de 22565 Wh/día se especifica en la tabla 8.

$$CT = 30529.12Wh/día$$

$$CT = 31kWh/día$$

Energía total

$$E = \frac{CT}{Vt}$$

Donde

E: Energía total en Ah/día al voltaje de la instalación (V_i). El modelo calcula los diferentes elementos con la energía total en la cual está implícito un voltaje de 48V.

CT: Consumo total

V_t : Voltaje de la Instalación = 48V

$$E = \frac{30529.12Wh/día}{48V}$$

$$E = 636.02 Ah/día$$

El número de paneles en paralelo se calcula así:

$$N_{pp} = \frac{E}{HSP * I_p}$$

Donde

N_{pp} : Paneles en paralelo

E: Energía total en Ah/día

HSP: Hora solar pico

I_p : Intensidad pico

$$N_{pp} = \frac{636.02 \text{ Ah/día}}{3.75 \text{ h/día} * 8.16 \text{ A}}$$

Las horas solar pico (3.75) se calcularon de acuerdo con el promedio que se presenta en la tabla 4 los amperios (A) de la tabla 13.

$$N_{pp} = 20.78 \approx 21$$

El número de paneles en serie se calcula como:

$$N_{ps} = \frac{V_t}{V_p}$$

Donde

N_{ps} : Números de paneles en serie

V_t : Voltaje de la instalación

V_p : Voltaje del panel (tabla 13)

$$N_{ps} = \frac{48V}{29.41V}$$

$$N_{ps} = 1.63 \approx 2.0$$

El número total de paneles (N_{tp}) es:

$$N_{tp} = N_{pp} * N_{ps}$$

Donde

N_{tp} : Número total de paneles

N_{pp} : Número de paneles en paralelo

N_{ps} : Número de paneles en serie

$$N_{tp} = 21 * 2$$

$$N_{tp} = 42 \text{ Paneles}$$

Sistema de acumulación

$$C = \frac{100 * E * D}{PD}$$

Donde

C: Capacidad del banco de baterías

D: Días de autonomía

PD: Profundidad de descarga. No se recomienda descargar el tren de baterías por debajo del 50%.

$$C = \frac{100 * 636.02 \text{ Ah/día} * 3 \text{ días}}{0.50}$$

$$C = 381612 \text{ Ah}$$

Baterías en serie

$$B_s = \frac{V_t}{V_b}$$

Donde

B_s : Número de baterías en serie

V_t : Voltaje nominal del sistema

V_b : Voltaje nominal de la batería

$$B_s = \frac{48V}{2V}$$

Ver anexo 2 Batería Fullriver, DC1150, Plomo acido.

$$B_s = 24$$

Baterías en paralelo

$$B_p = \frac{C}{C_b}$$

B_p : Número de baterías en paralelo.

C : Capacidad que debe tener el banco de baterías

C_b = Capacidad de la batería.

$$B_p = \frac{3816.12 \text{ Ah}}{1150 \text{ Ah}}$$

$$B_p = 3.32 \approx 4$$

Baterías totales

$$B_t = B_s * B_p$$

Bt: Baterías totales

$$B_t = 24 * 4$$

$$B_t = 96 \text{ Baterías}$$

Regulador y Número de reguladores

$$I_{\text{regulador}} = I_{\text{maxima}} + 20\% I_{\text{maxima}} = N_{pp}(I_p + 20\% I_p)$$

$$I_{\text{regulador}} = 21 * (8.16 \text{ A} + (20\% * 8.16 \text{ A}))$$

$$I_{\text{regulador}} = 205.63 \text{ A}$$

Se utiliza un regulador de 80 A, 48 V.

$$N^{\circ} \text{ de reguladores} = 205.63A/80A$$

$$N^{\circ} \text{ de reguladores} = 6 \text{ Reguladores de } 80A \text{ cada uno}$$

Convertidor

$$W_c = \frac{W_{\text{consumida}}}{R_{\text{dto}}}$$

Donde

W_c : Potencia del convertidor

$W_{\text{consumida}}$: Potencia consumida (Corriente alterna)

R_{dto} : Rendimiento del de convertidor

$$W_c = \frac{7355 \text{ W}}{0.85}$$

$$W_c = 8652.94 \text{ W}$$

En la tabla 14 se presenta un detalle de los costos estimados para el primer escenario. En estos se incluye básicamente los costos de inversión y la reposición de las baterías estimándose que estas tienen una vida útil de cinco años.

PRESUPUESTO SISTEMA (PRIMER ESCENARIO)						
Ítem	Descripción	Características	Und	Cantidad	Valor Unitario [\$]	Valor Total [\$]
1	Panel solar		Und	42	\$ 1.136.800	\$ 47.745.600
2	Batería	1150 Ah, 2 V	Und	298	\$ 1.348.472	\$ 401.844.704
3	Inversor		Und	1	\$ 26.724.983	\$ 26.724.983
4	Controlador Regulador	80 A, 48 V	Und	6	\$ 2.931.469	\$ 17.588.814
5	Soporte tipo poste		Gbl	1	\$ 8.862.400	\$ 8.862.400
6	Puesta a tierra		Gbl	1	\$ 1.160.000	\$ 1.160.000
7	Acometida DC		Gbl	1	\$ 2.088.000	\$ 2.088.000
8	Acometida AC		Gbl	1	\$ 2.088.000	\$ 2.088.000
9	Gabinete		Und	1	\$ 928.000	\$ 928.000
10	Instalación y pruebas		Gbl	1	\$ 15.428.987	\$ 15.428.987
Total						\$ 524.459.488

Tabla 14. Costos del sistema primer escenario. [Elaboración propia]

Para efectos de reposición de baterías estas tienen una vida útil de 5 años o menos, por lo tanto se considera 3 reposiciones del banco de baterías durante los 20 años de vida útil y un 10% adicional en caso de existir reposiciones extras dando lugar a 298 baterías. Es importante anotar que los costos de los componentes de este escenario fueron suministrados por un proveedor diferente a los costos que se presentan para el segundo escenario. No obstante lo anterior no difiere de forma significativa.

4.3 SISTEMA ESPECIFICADO PARA EL SEGUNDO ESCENARIO

Sistema de generación

Se utiliza paneles policristalinos de 255W y 1.60m² de área, probados en el laboratorio a 1000 W/m² y a 20°C.

$$\text{Potencia incidente sobre el panel en laboratorio} = 1.60\text{m}^2 * \frac{1000\text{W}}{\text{m}^2} = 1600\text{W}$$

$$\text{Eficiencia del panel} = \frac{225\text{W}}{1600\text{W}} = 15.90\%$$

Se adopta una eficiencia del 10 % debido a las condiciones de humedad y temperatura, una radiación media de 3.5 kWh/m²-día

$$\text{Incidencia} = \frac{3.5\text{Wh}}{\text{m}^2. \text{día}} * 10\% = 0.35\text{kW.h/m}^2. \text{día}$$

$$\text{Área de paneles} = \frac{\frac{30\text{kW.h}}{\text{día}}}{\frac{0.35\text{kW.h}}{\text{m}^2. \text{día}}} = 85.71\text{m}^2$$

$$\text{Número de paneles} = \frac{85.71\text{m}^2}{1.60\text{m}^2} = 53.57 \text{ paneles} \approx 54 \text{ paneles}$$

$$\text{Kwp instalados} = 54 * 255\text{Wp} = 13770\text{kWp}$$

Se utilizan 02 días de autonomía del sistema y factor de carga de 0.50 en las baterías.

Sistema de acumulación

$$\text{Capacidad del banco de baterías "C"} = 30000\text{Wh/día} \frac{2\text{días}}{0.50}$$

$$C = 120000\text{Wh}$$

Se utiliza un controlador a 48V

$$\text{Capacidad del banco de baterías "C"} = \frac{120000\text{Wh}}{48\text{V}}$$

$$C = 2500\text{Ah}$$

Si se utilizan baterías de plomo ácido, con capacidad 1350Ah y Tensión 2V.

Número de baterías en serie

$$\text{Número de baterías en serie "Bs"} = \frac{48\text{V}}{2\text{V}}$$

$B_s = 24$ baterías

Número de baterías en paralelo

$$\text{Número de baterías en paralelo "Bp"} = \frac{2500\text{Ah}}{1350\text{Ah}}$$

$B_p = 1.85$ baterías ≈ 2 baterías

Número total de baterías

$\text{Número total de baterías "Bt"} = 24 * 2 = 48$ baterías

$\text{Energía instalada} = 48\text{V} * 2700\text{Ah} = 129600\text{Wh}$

$$\text{Consumo máximo diario} = 129600\text{Wh} * \frac{0.50}{2\text{días}} = 32400 \text{ Wh/día}$$

Sistema de regulación

Se utiliza un regulador de 80 A, 48 V.

Número de reguladores

$W_{\text{pico}} \text{ instalados} = 13770\text{Wp}$ a 35V de salida del panel

$$13770\text{Wp}/35\text{V} = 393.42\text{A}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de reguladores} = 393.42\text{A}/80\text{A}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de reguladores} = 5 \text{ Reguladores de } 80\text{A} \text{ cada uno}$$

En la tabla 15 se presenta un detalle de los costos estimados para el segundo escenario. En estos se incluye básicamente los costos de inversión y la reposición de las baterías estimándose que estas tienen una vida útil de cinco años. Por lo tanto se considera 3 reposiciones del banco de baterías durante los 20 años de vida útil y un 10% adicional en caso de existir reposiciones extras.

PRESUPUESTO SISTEMA SEGUNDO ESCENARIO						
Ítem	Descripción	Características	Unidad	Cantidad	Valor Unitario [\$]	Valor Total [\$]
1	Panel solar	255 W	Und	54	\$ 830.000	\$ 44.820.000
2	Batería	1350 Ah, 2V	Und	149	\$ 1.594.716	\$ 237.612.654
3	Convertidor		Und	1	\$14.848.000	\$ 14.848.000
4	Controlador-Regulador	80 A	Und	5	\$ 2.931.470	\$ 14.657.348
5	Soportes		Gbl	1	\$ 8.862.400	\$ 8.862.400
6	Puesta a tierra		Gbl	1	\$11.600.000	\$ 11.600.000
7	Acometida DC		Gbl	1	\$ 2.088.000	\$ 2.088.000
8	Acometida AC		Gbl	1	\$ 2.088.000	\$ 2.088.000
9	Gabinete		Gbl	1	\$ 928.000	\$ 928.000
10	Instalación		Gbl	1	\$15.463.787	\$ 15.463.787
Total						\$ 352.968.221

Tabla 15. Costos del sistema segundo escenario. [Elaboración propia]

Por lo tanto se considera 3 reposiciones del banco de baterías durante los 20 años de vida útil y un 10% adicional en caso de existir reposiciones extras.

4.4 ANÁLISIS ENERGÉTICO Y ECONÓMICO DE SUSTITUCIÓN

En este numeral se presenta un análisis económico en valor presente neto de la utilización de los sistemas fotovoltaicos con respecto a las plantas de generación del tipo ACPM. (Ver tablas 8 y 9)

Poder calorífico del ACPM: 44000 kJ/kg

Densidad del ACPM: 0.82 kg/L

1 Galón: 3.785 Litros

Pérdidas por operación en vacío: 8%

Eficiencia de planta diésel: 17% por ser plantas de baja capacidad del orden de 7 kW

Energía Necesaria $E=30$ kWh/día = 108.000 kJ/día

ACPM necesario para generar la energía necesaria

Cantidad de ACPM= $108.000/44.000 = 2.45$ kg/día

En galones: $2.45 / 0.82 = 2.99$ L/día = 0.79 gal/día

Se afecta por el rendimiento de la planta

$$\text{Gal/día} = 0.79/0.17 = 4.65$$

Se asume el precio del ACPM a \$20.000 por galón, debido a las condiciones particulares de transporte a la zona.

$$\text{Valor del ACPM} = 92.941 \text{ \$/día Equivalente a } 33.923.529 \text{ \$/año}$$

En 20 años el costo del combustible es de 678. 470. 000 \$.

Si se tiene en cuenta que una planta de ACPM del orden de 12 KVA tiene un costo de 30 millones, que el combustible en los veinte años cuesta 678.5 millones y que los costos de instalación y mantenimiento pueden sumar los 70 millones se tendría que a valor presente neto el proyecto tendría un valor total de 778 millones.

Nótese que los valores totales que se establecen en las tablas 14 y 15 son inferiores a los derivados por la utilización del sistema de generación vía ACPM.

En el primer y segundo escenario, de acuerdo con los factores establecidos en los numerales 4.2 y 4.3, se puede observar que para un consumo diario del orden de 30 kWh la inversión (sin incluir los gastos de operación) son del orden de los 524.5 y los 347.7 millones de pesos respectivamente. Lo anterior indica que frente a los 778 millones del sistema de ACPM este tipo de sustitución es rentable en las áreas no interconectadas y en las cuales el combustible es costoso.

En áreas no interconectadas y con niveles de radiación solar semejantes pero con fácil acceso al combustible (donde su costo se aproxime a los 12 mil pesos por

galón) no es aún atractivo bajo el punto de vista económico realizar la sustitución. En zonas interconectadas es aun inviable.

PRESUPUESTO SISTEMA A BASE DE ACPM					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario [\$]	Valor Total [\$]
1	Planta eléctrica 12 kVA	Und	1	\$ 30.000.000	\$ 30.000.000
2	ACPM	Año	20	33.923.529	\$ 678.470.580
3	Instalación	Global	1	\$ 70.000.000	\$ 70.000.000
Total					\$ 778.470.580

Tabla 16. Costos del sistema a base de ACPM. [Elaboración propia]

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con la breve evaluación económica se concluye que los sistemas fotovoltaicos son atractivos de implementar en zonas no interconectadas al sistema eléctrico nacional y que actualmente generan la electricidad con plantas diésel. Se tiene adicionalmente que se sustituye un combustible fósil y se elimina la contaminación por ruido y las emisiones locales de gases tóxicos y de efecto invernadero.

No obstante lo anterior, los sistemas que utilizan plantas diésel, y en las cuales el combustible no presenta problemas de abastecimiento, permiten una mayor confiabilidad en la operación. Lo anterior debido al alto costo de inversión con el objeto de almacenar la energía eléctrica generada únicamente en horas diurnas y en las cuales existe radiación. En los escenarios que se plantearon la capacidad de almacenamiento eran para satisfacer la demanda de dos y tres días. Sin embargo, existen eventos probables en los cuales no exista la capacidad de cargar las baterías dada la falta de radiación solar.

En las comunidades del pacifico colombiano y más concretamente en los corregimientos y comunidades indígenas del municipio de Nuqui se presta el servicio de forma interrumpida (de 4 a 6 horas al día) con las plantas Diesel. Con base en lo anterior se establecieron unos consumos y unas necesidades básicas que dieron origen a los dos escenarios (un consumo aproximadamente de 30 kWh-día). Este consumo básico no permite disponer de elementos de cocción y por lo tanto no se elimina el problema de la deforestación que actualmente se presenta. Se requeriría de una mayor inversión con el objeto de incrementar la

potencia instalada y así satisfacer una mayor demanda. Sin embargo, puede afirmarse que el incremento en el tamaño del sistema de generación fotovoltaica continuaría siendo económicamente atractivo frente al Diesel.

Dada la restricción derivada en la demanda se requiere sectorizar las cargas puesto que; el consumo en los elementos destinados a la refrigeración, deben de tener un suministro las 24 horas del día mientras que los demás elementos solamente operan en horas nocturnas y establecidas.

Con base en lo anterior se concluye que es fundamental capacitar a la comunidad beneficiaria de éste tipo de proyectos en programas tendientes al uso racional de la energía y a la utilización del sistema y cuidado del mismo. Adicionalmente, se debe capacitar a algunos miembros de la comunidad con el objeto de realizar el mantenimiento de acuerdo con las instrucciones de los proveedores de los elementos del sistema.

Se puede también concluir que, en Colombia en zonas rurales no interconectadas, es muy viable el uso de sistemas fotovoltaicos debido a su ubicación geográfica en el planeta lo cual lo convierte en unos de los países con mejores condiciones para implementar este tipo de sistemas de generación.

Se recomienda efectuar un análisis, inclusive de la generación en línea de este tipo de sistemas, en regiones interconectadas pero cuya dependencia de generación de energía eléctrica sea proveniente de combustibles fósiles como lo son el gas natural, etc. Puesto que la disminución de los costos de los elementos, que componen un sistema solar fotovoltaico, posiblemente tienen una viabilidad económica en el país. Existen muchos casos exitosos de sistemas fotovoltaicos en Colombia los cuales demuestran la viabilidad de los mismos.

Este tipo de proyectos (energías renovables) se hacen cada día más atractivos, debido a los beneficios que ofrece el gobierno nacional, los cuales están plasmados en la ley 1715 de 2014. Sobre todo en el sector privado.

Como conclusión general puede escribirse que este trabajo; posiblemente es útil, como guía, para sistemas fotovoltaicos en zonas no interconectadas. Sin embargo, es necesario realizar un diagnóstico (condiciones de irradiación, necesidades reales, elementos de consumo, censos con el objeto de determinar potencias y consumos, etc.) y dimensionamiento para cada sistema fotovoltaico en particular.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Guerrero, E. F. C., & Escorcía, J. M. D. (2012). El sector solar fotovoltaico en el caribe colombiano: análisis técnico y de mercado. *Scientia Et Technica*, 2(51), 87-91.

[2] Benítez Leyva, L. V., Jerez Pereira, R., Pompa Chávez, Y., Tamayo Saborit, M., & de la Rosa Andino, A. (2014). Aplicación de una herramienta de ayuda a la planificación energética en comunidades rurales aisladas. Caso de aplicación Las Peladas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(2), 70-75.

[3] Murcia, H. R. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de ingeniería*, 28, 83-89.

[4] Pinto, F. (2004). Energías renovables y desarrollo sostenible en zonas rurales de Colombia. El caso de la vereda Carrizal en Sutamarchán. *Cuadernos de desarrollo rural*, 53, 103-132.

[5] Nandwani, S. S. (2006). Uses of solar energy in Costa Rica. *Renewable Energy*, 31(5), 689-701.

[6] Ministerio de Minas y Energía Unidad de Planeación Minero Energética. PEN: Plan Energético Nacional. Tercer Mundo, 2007.

[7] UPME, I. (2005). Atlas de Radiación solar de Colombia. Santafé de Bogotá DC: Unidad de Planeación Minero Energética, Ministerio de Minas y Energía.

[8] Reinoso, C. S., Milone, D. H., & Buitrago, R. H. (2009). Desarrollo de un modelo para estudio de centrales fotovoltaicas bajo diferentes configuraciones. In Eighth Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission (pp. 1-8).

[9] Garwood, A. (2005). The rising solar solution in rural Latin America. *Refocus*, 6, 32-34.

[10] Schramm, G. (1993). Rural electrification in LDCs as a tool for economic development: facts and fiction. *Opec Review*, 17(4), 501-517.

[11] Segura, R., & Paulina, M. (2013). Diseño de sistemas fotovoltaicos asistido por computador.

[12] Pertz, A. (2012): *Energía Solar: Una Solución Renovable*. (Spanish). Contenido, 78–84.

[13] Álvarez Torres, E., & Ponce Ceballos, F. (2010). Fotocal, sistema automatizado para la determinación del área y el costo de un módulo fotovoltaico. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(2), 71-74.

[14] Seguel, J. L., Junior, S. I. S., Donoso-García, P. F., Morais, L. M. F., Cortizo, P. C., & Mendes, M. A. (2013). Methodology for the design of a stand-alone

photovoltaic power supply. Ingeniare: Revista Chilena de Ingenieria, 21(3), 380-393.

[15] Murillo, D. G. (2006). Modelado y análisis de sistemas fotovoltaicos. Universitat Politècnica de Catalunya.

[16] Requena, J. F. S., Gracia, L. M. N., de las Moras, M. C. R., & Guimaraes, A. C. (2009). Fundamentos de energía solar fotovoltaica para los grados de titulaciones científico-técnicas.

[17] González, C., Pérez, J. A. C., Santos, R. C., Gil, A. C., González, M. A. A. C., Hoyle, F. H., & Herranz, A. (2009). Centrales de energías renovables: generación eléctrica con energías renovables (No. 620.92). Universidad Nacional de Córdoba.

BIBLIOGRAFÍAS WEB

[18] www.ipse.gov.co

[19] www.nuqui-choco.gov.co

[20] www.minminas.gov.co

[21] www.sfe-solar.com

[22] www.ongawa.org

[23] <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>

[24] <http://www.eurosur.org/>

[25] <http://www.hybrytec.com/>

[26] <http://antusol.webcindario.com/sistemafotovoltaico.html>

[27] <http://www.yinglisolar.com/al/>

[28] <http://www.atersa.com/>

[29] <http://www.exiomsolution.com/>

[30] <http://zytech.es/modulos-fotovoltaicos/>

[31] <http://www.ampasolar.com/>

[32] <http://www.solarplusonline.com/>

[33] <http://www.mtec-ec.com/>

[34] <http://www.elspectador.com/noticias/actualidad/vivir/seis-horas-de-luz-nuqui-articulo-345033>

[35] http://www.elcolombiano.com/BancoConocimiento/C/choco_a_media_luz/choco_a_media_luz.asp (Rivera)

[36] Sucre. E. (Abril, 2012). Plan de desarrollo con equidad social. Alcaldía Municipal de Nuquí.

[37] <http://celdafoto.blogspot.com.co/2014/03/estadisticas-del-uso-de-energia-solar.html>

ANEXOS

ANEXO 1. LISTA DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS COMERCIALES [27], [28], [29], [30] y [31]

Fabricante	Modelo	Tipo de Célula	Potencia MPP [W]	Tensión MP [V]	Corriente MP [A]	Vca [V]	Icc [A]	Eficiencia[%]	Longitud[mm]	Ancho [mm]	Peso [Kg]
GAIN SOLAR	J60	Policristalino	60	17,2	3,48	21,30	3,85	11,80	770	660	6,20
GAIN SOLAR	J65	Policristalino	65	17,5	3,71	21,70	4,00	12,80	770	660	6,20
GAIN SOLAR	J70	Policristalino	70	18	3,89	22,30	4,15	13,80	770	660	6,20
GAIN SOLAR	J100	Policristalino	100	17,1	5,86	21,50	6,17	12,90	1180	660	8,68
GAIN SOLAR	J110	Policristalino	110	17,8	6,17	22,10	6,55	14,20	1180	660	8,68
GAIN SOLAR	J120	Policristalino	120	18,5	6,50	22,90	6,89	15,50	1180	660	8,68
Yingli Green Energy	YL260C-30b		260	29,7	8,74	38,10	9,35	16,00	1640	990	18,50
Yingli Green Energy	YL265C-30b		265	30,1	8,79	38,30	9,37	16,30	1640	990	18,50
Yingli Green Energy	YL270C-30b		270	30,5	8,85	38,60	9,43	16,60	1640	990	18,50
Yingli Green Energy	YL275C-30b		275	30,9	8,91	38,80	9,47	16,90	1640	990	18,50
Yingli Green Energy	YL280C-30b		280	31,3	8,96	39,10	9,50	17,20	1640	990	18,50
GAIN SOLAR	YL125C-17b	Policristalino	125	17,3	7,21	21,50	7,74	12,50	1470	680	10,80
GAIN SOLAR	YL130C-17b	Policristalino	130	17,5	7,42	21,70	8,00	13,00	1470	680	10,80
GAIN SOLAR	YL135C-17b	Policristalino	135	17,8	7,60	22,00	8,12	13,50	1470	680	10,80
GAIN SOLAR	YL140C-17b	Policristalino	140	18	7,77	22,30	8,30	14,00	1470	680	10,80
GAIN SOLAR	YL145C-17b	Policristalino	145	18,2	7,99	22,50	8,47	14,50	1470	680	10,80
Yingli Green	YL250C-29b		250	29,8	8,39	37,60	8,92	15,40	1640	990	18,50

Fabricante	Modelo	Tipo de Célula	Potencia MPP [W]	Tensión MP [V]	Corriente MP [A]	Vca [V]	Icc [A]	Eficiencia[%]	Longitud[mm]	Ancho [mm]	Peso [Kg]
Energy											
Yingli Green Energy	YL255C-29b		255	30	8,49	37,70	9,01	15,70	1640	990	18,50
Yingli Green Energy	YL260C-29b		260	30,3	8,59	37,70	9,09	16,00	1640	990	18,50
Yingli Green Energy	YL265C-29b		265	30,5	8,70	37,80	9,18	16,30	1640	990	18,50
Yingli Green Energy	YL270C-29b		270	30,7	8,80	37,90	9,27	16,60	1640	990	18,50
Yingli Green Energy	YL300P-35b		300	35,8	8,37	45,20	8,86	15,50	1960	990	25,50
Yingli Green Energy	YL305P-35b		305	36,1	8,45	45,40	8,93	15,70	1960	990	25,50
Yingli Green Energy	YL310P-35b		310	36,3	8,53	45,60	8,99	16,00	1960	990	25,50
Yingli Green Energy	YL315P-35b		315	36,6	8,60	45,80	9,06	16,20	1960	990	25,50
Yingli Green Energy	YL320P-35b		320	36,9	8,68	46,00	9,12	16,50	1960	990	25,50
ATERSA	A-75M		75	18,21	4,13	22,57	4,39	14,63	778	659	6,20
ATERSA	A-80M		80	18,63	4,28	22,84	4,55	15,60	778	659	6,20
ATERSA	A-150M		150	18,21	8,25	22,57	8,79	15,42	1476	659	11,90
ATERSA	A-160M		160	18,63	8,56	22,84	9,11	16,45	1476	659	11,90

Fabricante	Modelo	Tipo de Célula	Potencia MPP [W]	Tensión MP [V]	Corriente MP [A]	Vca [V]	Icc [A]	Eficiencia[%]	Longitud[mm]	Ancho [mm]	Peso [Kg]
ATERSA	A-245M		245	30,13	8,14	37,48	8,69	15,04	1645	990	21,50
ATERSA	A-250M		250	30,35	8,24	37,62	8,79	15,35	1645	990	21,50
ATERSA	A-255M		255	30,57	8,34	37,76	8,89	15,66	1645	990	21,50
ATERSA	A-260M		260	30,79	8,44	37,90	8,99	15,97	1645	990	21,50
ATERSA	A-265M		265	31,03	8,54	38,40	9,04	16,27	1645	990	21,50
ATERSA	A-290M		290	36,11	8,04	44,11	8,60	14,90	1965	990	24,00
ATERSA	A-295M		295	36,31	8,13	44,37	8,68	15,16	1965	990	24,00
ATERSA	A-300M		300	36,51	8,22	44,63	8,76	15,42	1965	990	24,00
ATERSA	A-305M		305	36,71	8,31	44,89	8,84	15,68	1965	990	24,00
ATERSA	A-310M		310	36,91	8,40	45,15	8,92	15,94	1965	990	24,00
ATERSA	A-315M		315	37,30	8,45	45,72	8,94	16,19	1965	990	24,00
EXIOM	EX190M-72	Monocristalino	190	36,20	5,26	45,00	5,64	14,80	1580	808	15,50
EXIOM	EX195M-72	Monocristalino	195	36,70	5,32	45,30	5,70	15,30	1580	808	15,50
EXIOM	EX200M-72	Monocristalino	200	37,20	5,38	45,70	5,77	15,70	1580	808	15,50
EXIOM	EX205M-72	Monocristalino	205	37,40	5,48	45,90	5,83	16,10	1580	808	15,50
EXIOM	EX210M-72	Monocristalino	210	37,90	5,54	46,00	5,90	16,40	1580	808	15,50
EXIOM	EX245M6-60	Monocristalino	245	30,20	8,11	37,70	8,56	14,90	1655	992	20,00
EXIOM	EX250M6-61	Monocristalino	250	30,40	8,23	37,90	8,63	15,20	1655	992	20,00
EXIOM	EX255M6-62	Monocristalino	255	30,50	8,35	38,10	8,70	15,50	1655	992	20,00
EXIOM	EX260M6-63	Monocristalino	260	30,70	8,47	38,30	8,77	15,80	1655	992	20,00

Fabricante	Modelo	Tipo de Célula	Potencia MPP [W]	Tensión MP [V]	Corriente MP [A]	Vca [V]	Icc [A]	Eficiencia[%]	Longitud[mm]	Ancho [mm]	Peso [Kg]
EXIOM	EX265M6-64	Monocristalino	265	30,90	8,59	38,60	8,85	16,10	1655	992	20,00
ZYTECH	ZT140P	Policristalino	140	17,60	12,00	21,96	8,41	16,46	1482	680	18,00
ZYTECH	ZT145P	Policristalino	145	17,80	12,00	21,96	8,50	17,05	1482	680	18,00
ZYTECH	ZT150P	Policristalino	150	18,23	12,00	21,87	9,28	17,64	1482	680	18,00
ZYTECH	ZT240P	Policristalino	240	30,18	18,00	36,72	8,99	17,00	1640	992	18,00
ZYTECH	ZT245P	Policristalino	245	30,25	18,00	36,80	9,15	17,20	1640	992	18,00
ZYTECH	ZT250P	Policristalino	250	30,29	18,00	36,97	9,29	17,60	1640	992	18,00
ZYTECH	ZT255P	Policristalino	255	30,41	18,00	37,10	9,34	17,98	1640	992	18,00
ZYTECH	ZT260P	Policristalino	260	30,43	23,00	37,12	9,65	18,34	1640	992	18,00
ZYTECH	ZT290P	Policristalino	290	35,89	23,00	45,50	8,65	17,00	1956	992	18,00
ZYTECH	ZT295P	Policristalino	295	36,04	23,00	45,59	8,68	17,30	1956	992	18,00
ZYTECH	ZT300P	Policristalino	300	36,19	23,00	45,67	8,74	17,60	1956	992	18,00
ZYTECH	ZT305P	Policristalino	305	36,36	23,00	45,81	8,81	17,90	1956	992	18,00
ZYTECH	ZT310P	Policristalino	310	36,49	23,00	45,98	8,92	18,20	1956	992	18,00
ZYTECH	ZT90S	Monocristalino	90	17,50	5,14	21,60	5,81	15,40	975	670	18,00
ZYTECH	ZT100S	Monocristalino	100	17,50	5,72	21,60	6,46	15,40	1070	670	18,00
ZYTECH	ZT120S	Monocristalino	120	17,50	6,86	21,60	7,75	15,40	1280	670	18,00
ZYTECH	ZT140S	Monocristalino	140	18,00	8,00	22,00	9,00	17,00	1482	680	18,00
ZYTECH	ZT150S	Monocristalino	150	18,61	8,06	22,33	9,10	18,00	1482	680	18,00
ZYTECH	ZT160S	Monocristalino	160	18,89	8,47	22,67	9,57	19,16	1482	680	18,00

Fabricante	Modelo	Tipo de Célula	Potencia MPP [W]	Tensión MP [V]	Corriente MP [A]	Vca [V]	Icc [A]	Eficiencia[%]	Longitud[mm]	Ancho [mm]	Peso [Kg]
ZYTECH	ZT190S	Monocristalino	190	37,44	5,08	44,86	5,68	17,30	1580	808	18,00
ZYTECH	ZT195S	Monocristalino	195	37,62	5,18	45,07	5,80	17,80	1580	808	18,00
ZYTECH	ZT200S	Monocristalino	200	37,77	5,29	45,25	5,92	18,30	1580	808	18,00
ZYTECH	ZT205S	Monocristalino	205	37,80	5,42	45,36	6,12	18,75	1580	808	18,00
ZYTECH	ZT240S	Monocristalino	240	30,56	7,85	37,49	8,54	17,20	1640	992	18,00
ZYTECH	ZT245S	Monocristalino	245	30,76	7,96	37,74	8,58	17,60	1640	992	18,00
ZYTECH	ZT250S	Monocristalino	250	30,96	8,07	37,92	8,62	17,96	1640	992	18,00
ZYTECH	ZT255S	Monocristalino	255	31,10	8,20	38,10	8,76	18,32	1640	992	18,00
ZYTECH	ZT260S	Monocristalino	260	31,26	8,32	38,32	8,9	18,68	1640	992	18,00
ZYTECH	ZT265S	Monocristalino	265	31,37	8,45	38,46	9,13	19,04	1640	992	18,00
ZYTECH	ZT270S	Monocristalino	270	31,48	8,58	38,56	9,27	19,40	1640	992	18,00
ZYTECH	ZT290S	Monocristalino	290	36,77	7,90	45,74	8,59	17,20	1956	992	18,00
ZYTECH	ZT295S	Monocristalino	295	36,92	8,00	45,93	8,63	17,50	1956	992	18,00
ZYTECH	ZT300S	Monocristalino	300	37,13	8,08	46,11	8,64	17,78	1956	992	18,00
ZYTECH	ZT305S	Monocristalino	305	37,34	8,17	46,3	8,67	18,10	1956	992	18,00
ZYTECH	ZT310S	Monocristalino	310	37,52	8,27	46,46	8,70	18,40	1956	992	18,00
ZYTECH	ZT315S	Monocristalino	315	37,56	8,39	46,57	8,81	18,67	1956	992	18,00
ZYTECH	ZT320S	Monocristalino	320	37,6	8,51	46,62	8,94	18,97	1956	992	18,00
ZYTECH	ZT325S	Monocristalino	325	37,64	8,63	46,67	9,07	19,27	1956	992	18,00
TECHNO SUN	728-5-M	Monocristalino	5	18,57	0,27	22,64	0,29	9,16	260	210	0,70

Fabricante	Modelo	Tipo de Célula	Potencia MPP [W]	Tensión MP [V]	Corriente MP [A]	Vca [V]	Icc [A]	Eficiencia[%]	Longitud[mm]	Ancho [mm]	Peso [Kg]
TECHNO SUN	728-10-M	Monocristalino	10	18,57	0,54	22,64	0,58	10,83	260	355	1,20
TECHNO SUN	728-20-M	Monocristalino	20	17,82	1,12	22,54	1,20	11,45	485	360	2,30
TECHNO SUN	728-40-M	Monocristalino	40	17,69	2,26	22,54	2,42	12,74	470	668	3,80
TECHNO SUN	728-100-M	Monocristalino	100	18,78	5,32	22,64	5,70	14,90	1005	668	8,00
TECHNO SUN	728-150-M	Monocristalino	150	18,99	7,9	22,42	8,45	15,12	1485	668	11,60
PANASONIC	VBHN245SJ25	Monocristalino	245	44,30	5,54	53,00	5,86	19,40	1580	798	15,00
PANASONIC	VBHN240SJ25	Monocristalino	240	43,60	5,51	52,40	8,85	19,00	1580	798	15,00
AMPA SOLAR	ASM30P	Monocristalino	30	17,64	1,13	21,96	1,22				
AMPA SOLAR	ASM60P	Monocristalino	60	17,5	2,86	21,60	3,21				
AMPA SOLAR	ASM200P24	Monocristalino	200	30,00	6,33	37,20	7,36				
AMPA SOLAR	ASM250P24	Monocristalino	250	29,41	8,16	36,50	8,50				

Icc: Corriente de corto circuito

VCA: Tensión de circuito abierto

MPP: Máximo punto de potencia

Imp: Corriente de máxima potencia

VMP: Tensión de máxima potencia

ANEXO 2. LISTA DE BATERIAS COMERCIALES [32] y [33]

BATERÍAS COMERCIALES				
Fabricante	Modelo	Tipo	Capacidad C20 [Ah]	Tensión [V]
Rolls	s12-95agm	Plomo-acido	95	12
Rolls	s12-116agm	Plomo-acido	116	12
Rolls	s12-128agm	Plomo-acido	128	12
Rolls	s12-160agm	Plomo-acido	160	12
Rolls	s12-230agm	Plomo-acido	230	12
Rolls	s12-240agm	Plomo-acido	240	12
Rolls	s12-290agm	Plomo-acido	290	12
Fullriver	DC1150-2	Plomo-acido	1150	2
Fullriver	DC200-6	Plomo-acido	200	6
Fullriver	DC220-6	Plomo-acido	220	6
Fullriver	DC224-6A	Plomo-acido	224	6
Fullriver	DC224-6B	Plomo-acido	224	6
Fullriver	DC245-6	Plomo-acido	245	6
Fullriver	DC250-6	Plomo-acido	250	6
Fullriver	DC335-6	Plomo-acido	335	6
Fullriver	DC400-6	Plomo-acido	400	6
Fullriver	DC160-8A	Plomo-acido	160	8
Fullriver	DC160-8B	Plomo-acido	160	8
Fullriver	DC180-8A	Plomo-acido	180	8
Fullriver	DC180-8B	Plomo-acido	180	8
Fullriver	DC200-8	Plomo-acido	200	8
Fullriver	DC7-12	Plomo-acido	7	12
Fullriver	DC10-12	Plomo-acido	10	12
Fullriver	DC12-12	Plomo-acido	12	12
Fullriver	DC17-12	Plomo-acido	17	12
Fullriver	DC50-12A	Plomo-acido	50	12
Fullriver	DC60-12A	Plomo-acido	60	12
Fullriver	DC70-12	Plomo-acido	70	12
Fullriver	DC80-12	Plomo-acido	80	12
Fullriver	DC90-12	Plomo-acido	90	12
Fullriver	DC120-12A	Plomo-acido	120	12
Fullriver	DC140-12	Plomo-acido	140	12
Fullriver	DC150-12	Plomo-acido	150	12

BATERÍAS COMERCIALES				
Fabricante	Modelo	Tipo	Capacidad C20 [Ah]	Tensión [V]
Fullriver	DC160-12	Plomo-acido	160	12
Fullriver	DC180-12	Plomo-acido	180	12
Fullriver	DC210-12	Plomo-acido	210	12
Fullriver	DC220-12	Plomo-acido	220	12
Fullriver	DC240-12	Plomo-acido	240	12
Fullriver	DC260-12	Plomo-acido	260	12
M TEC	MT6225L	Plomo-acido	225	6
M TEC	MT1270	Plomo-acido	7	12
M TEC	MT12330HR	Plomo-acido	88	12
M TEC	MT12330	Plomo-acido	33	12
M TEC	MT12850HR	Plomo-acido	35	12
M TEC	LFP1240HR	Plomo-acido	40	12
M TEC	MT122550	Plomo-acido	45	12
M TEC	MT12550HR	Plomo-acido	55	12
M TEC	MT12400HR	Plomo-acido	255	12
M TEC	MT27500	Plomo-acido	500	2
M TEC	MT25000S	Plomo-acido	500	2
M TEC	MT28000G	Plomo-acido	800	2
M TEC	MT210000	Plomo-acido	1000	2
M TEC	MT121050	Plomo-acido	105	12
M TEC	MT27000	Plomo-acido	700	2
M TEC	MT26000	Plomo-acido	600	2
M TEC	MT12750HR	Plomo-acido	75	12
M TEC	MT6225L	Plomo-acido	225	6
M TEC	MT121000S	Plomo-acido	100	12
M TEC	MT121200	Plomo-acido	120	12
M TEC	MT121550	Plomo-acido	155	12
M TEC	MT23000	Plomo-acido	300	2
M TEC	MT122050	Plomo-acido	205	12
M TEC	MT123000	Plomo-acido	300	12