

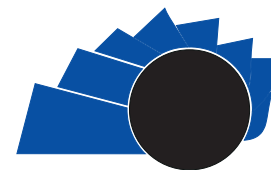


UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

## Visión Electrónica

### Más que un estado sólido

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele>



Visión Electrónica

VISIÓN INVESTIGADORA

# Metodología y evaluación de recursos energéticos renovables: implementación de microrredes aisladas.

*Methodology and evaluation of renewable energy resources: implementation of isolated microgrids.*

Yuri Ulianov López Castrillon<sup>1</sup>, Fabian Andrés Gaviria Cataño<sup>2</sup>

#### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

##### Historia del artículo:

Enviado: 27/07/2018

Recibido: 23/08/2018

Aceptado: 04/09/2018

##### Palabras clave:

Generación distribuida

Microrredes

Recursos energéticos

Sistema de generación inteligente

zonas no interconectadas

#### Open access



##### Keywords:

Distributed generation

Microgrids

Energy resources

Intelligent generation system

Non-interconnected zones

#### RESUMEN

En América Latina más de 100 millones de personas no tienen acceso a una energía limpia, asequible y constante. En Colombia, esto sucede en las denominadas Zonas No- Interconectadas-ZNI con una población de más de 2 millones de personas, que viven en regiones con abundantes y diversos recursos energéticos renovables. En este artículo se presenta una metodología para el diseño de microrredes en zonas aisladas, partiendo de la evaluación de recursos energéticos renovables locales. Una microrred es un sistema que usa varias fuentes y utiliza tecnologías de conversión de energías renovables en electricidad para proveer de electricidad zonas aisladas. Estas “microrredes” inteligentes consisten en un sistema energético que integra la generación, transmisión, distribución y uso final de la energía, de manera eficiente y amigable con el medio ambiente, y con un mínimo impacto socio-cultural, permitiendo el intercambio de información entre todos los componentes del sistema para un óptimo control. Por ello, es de suma importancia desarrollar un acertado análisis y evaluación de recursos energéticos, con el objetivo de optimizar al máximo el diseño de microrredes.

#### ABSTRACT

In Latin America, more than 100 million people do not have access to clean, affordable and constant energy. In Colombia, this happens in the so-called Non-Interconnected Zones-ZNI with a population of more than 2 million people, who live in regions with abundant and diverse renewable energy resources. This paper presents a methodology for the design of microgrids in isolated areas, based on the evaluation of local renewable energy resources. A microgrid is a system that uses several sources and uses renewable energy conversion technologies in electricity to provide electricity to isolated areas. These intelligent “microgrids” consist of an energy system that integrates the generation, transmission, distribution and final use of energy, in an efficient and friendly way with the environment, and with a minimum socio-cultural impact, allowing the exchange of information between All system components for optimal control. Therefore, it is very important to develop an accurate analysis and evaluation of energy resources, with the aim of maximizing the design of microgrids.

<sup>1</sup> Ingeniero Electricista, Universidad Autónoma de Occidente, Colombia. Doctorado en Energías Renovables y Eficiencia Energética, Universidad de Zaragoza, España. Docente tiempo completo: Universidad Autónoma de Occidente, Colombia. Correo electrónico: [ylopez@uao.edu.co](mailto:ylopez@uao.edu.co). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5411-2786>

<sup>2</sup> Investigador Grupo de Investigación Energías GIEN: Universidad Autónoma de Occidente, Colombia. Correo electrónico: [fabinhogaviria@gmail.com](mailto:fabinhogaviria@gmail.com), [fabian\\_and.gaviria@uao.edu.co](mailto:fabian_and.gaviria@uao.edu.co). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1551-1167>

## 1. Introducción

A nivel mundial se definen tres factores que impulsan la utilización de las energías renovables para mejorar la calidad de vida en zonas rurales, estas son: el permanente crecimiento del consumo energético mundial, el alto impacto de las fuentes de generación de energía que utilizan combustibles fósiles (más del 80% de la generación de electricidad actual) [1], y el fin de la era del petróleo para combustible estimado entre 2020 y 2050 [2]. Las energías renovables (energía solar, eólica, biomasa, hidroeléctrica, entre otras) son tipos de energía implementadas a partir de tecnologías donde dichas fuentes no se queman, destruyen o eliminan, sino que se renuevan; son conocidas también como energías verdes debido a su bajo o nulo impacto ambiental cuando generan electricidad, o energías alternativas por ser las no convencionales. Estas tecnologías, generalmente, se han usado como fuentes complementarias independientes unas de otras; sin embargo, con el avance tecnológico y el creciente auge de las energías renovables, se han empezado a implementar sistemas que permiten integrar estos recursos energéticos distribuidos (DER) en sistemas inteligentes [3].

Dicho tipo de red permite monitorear y controlar la generación y la demanda en tiempos muy cortos, lo cual optimiza el sistema. Lo anterior puede hacerse en pequeña escala, como se propone en esta investigación, implementando Generación Distribuida (GD), Embebida o Descentralizada. En resumen, este tipo de sistema, o microrred, se puede ver como una red a pequeña escala que puede integrar recursos renovables con fuentes de energía tradicionales, sistemas de almacenamiento distribuidos y sistemas gestión de la energía, y que además puede funcionar interconectada a la red macro, pero también puede hacerlo de forma aislada o independientemente, característica conocida como funcionamiento en isla.

Existen muchas ventajas al integrar DER a una microrred; además de aumentar la oferta energética, permite llegar a lugares aislados que no están conectados a la red principal, mejorar la fiabilidad del servicio y la calidad de la energía, así como disminuir los costos de producción energética; y al no depender de la red principal se reduce el riesgo de pérdida de alimentación eléctrica. Por ello, líderes

globales, científicos y comunidad en general ya claman por un escenario de generación de energía basado en renovables. Este escenario de nuevas tecnologías o uso de tecnologías con recursos renovables, incentiva la investigación en el diseño, implementación y optimización de generación con fuentes renovables de energía, redes eléctricas inteligentes, y generación distribuida.

Desde la anterior perspectiva, en Colombia la Comisión Regulatoria de Energía y Gas (CREG) [4], y el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE) [5] para las Zonas No Interconectadas (ZNI), han desarrollado los lineamientos y la regulación de la generación, distribución y comercialización de energía eléctrica en las ZNI, que favorece las investigaciones en el área [6][7].

Es por todo lo expuesto que el grupo de investigación GIEN<sup>3</sup> [8] en conjunto con el grupo GITCOD<sup>4</sup> [9], han buscado desarrollar a través del presente proyecto un estudio alrededor de las microrredes, con el objetivo de conectar diferentes fuentes de generación, de naturaleza intermitente, y suministrar energía cumpliendo criterios de calidad, seguridad y confiabilidad.

## 2. Metodología

Para entender la metodología de investigación que se aplicó, se considera como antecedente que en Colombia existen casi dos millones de personas que no están conectadas a la red eléctrica nacional, en lo que se denomina ZNI. De esta población un alto porcentaje está ubicado en el departamento de La Guajira, los llanos orientales y el Pacífico colombiano, lugares donde habitan comunidades indígenas, afrodescendientes y poblaciones campesinas con recursos energéticos renovables suficientes para mejorar sus condiciones de vida. Sin embargo, barreras de índole social, económica, técnica y ambiental –cuatro retos y a la vez cuatro criterios de la metodología-, además de las incapacidades y ausencia de políticas gubernamentales, han impedido un rápido desarrollo de tales proyectos en Colombia. A pesar de ello, entidades como USAID<sup>5</sup>, IPSE<sup>6</sup> y unas pocas comunidades o asociaciones públicas privadas han realizado proyectos exitosos que hoy se cuentan como pioneros en desarrollo de microrredes en Colombia [10].

<sup>3</sup> GIEN: Grupo de Investigación en Energías. Cat.:A1 Colciencias.

<sup>4</sup> GITCOD: Grupo de Investigación en Sistemas de Telemando y Control Distribuido. Cat.: B Colciencias

<sup>5</sup> USAID: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

<sup>6</sup> IPSE: Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas.

En consecuencia, la metodología tiene un enfoque multidisciplinario que considera los aspectos sociales, técnicos, económicos y ambientales, que se advierten como ventaja o desventaja en el diseño e implementación de microrredes en las ZNI [11]. Los cuatro criterios definidos para esta investigación, entonces, son: Económico-Administrativo, Técnico, Ambiental y Social [12].

Para abordar el problema se considera un grupo interdisciplinario e interinstitucional que implementa la metodología en las siguientes etapas: primero la realización de un diagnóstico del comportamiento socioeconómico de la población a cargo del grupo de comunicación. Hay que considerar que el proceso de intervención social es parte fundamental de estos proyectos, para que el modelo sea aceptado apropiadamente en la comunidad, es ahí donde el grupo de comunicación diseña el instructivo o guía de capacitación con el que los pobladores conocerán y utilizarán este sistema, haciendo un correcto y adecuado uso de él. Y en segundo lugar se realiza una evaluación de radiación solar y se comparan los recursos energéticos naturales disponibles, así como las actividades que demandarían esa energía a cargo del equipo técnico.

Durante el Diagnóstico se evalúan los aspectos socioculturales, ambientales, técnicos (recurso energético), económicos y productivos posibles en la zona. Para esto se debe recopilar, analizar y clasificar la información de cada comunidad en las cuatro ZNI (Bahía Málaga en el pacífico, Jardines de Sucumbíos en Nariño, Nazareth en la Guajira y Puerto Toledo en Meta). Este es un primer acercamiento desde la investigación teórica [13].

Con base en la información obtenida y clasificada, se realiza el diseño y aplicación de una encuesta que permite caracterizar el uso de los recursos energéticos para cada comunidad. Esto redundará en la diferenciación del instrumento de investigación para las cuatro comunidades analizadas [14].

Durante el Análisis de información se caracteriza el consumo de energía por fuente y el uso que se le da en las distintas comunidades por cada ZNI [15]. Esto se hizo primero teóricamente y luego se valida en sitio en una de las comunidades [16][17].

Para el diseño de la solución técnica, a partir de los resultados de la información obtenida y el cruce con el análisis de los criterios ambiental,

socio-cultural, económico y técnico, que incluye los recursos energéticos, se diseña el sistema energético asequible y sostenible de manera que colme las necesidades que la comunidad ha planteado, y minimice cualquier impacto negativo sea social, cultural o ambiental.

La metodología desarrollada busca como resultados esperados:

- Identificar las principales barreras en el desarrollo de proyectos energéticos sostenibles.
- Caracterizar las ventajas y desventajas existentes para el desarrollo de microrredes en las ZNI.
- Valorar los cuatro criterios en el diseño e implementación de microrredes en ZNI entre: Económico-Administrativo, Técnico, Ambiental y Social.
- Simular el modelo energético definido utilizándose herramientas computacionales como HOMER<sup>7</sup>, para analizar el desempeño y la producción energética del sistema.
- Diseñar una microred genérica para sistemas aislados en ZNI.
- Generar una guía que explique las acciones sociales que se deben tener en cuenta en el momento de ejecutar proyectos similares. Además, que pueda ser aplicado en otras comunidades.

Para cumplir con estos resultados, se describe la metodología a través de los siguientes puntos:

1. Identificar la necesidad de la población, censando condiciones de vida, requerimientos y prioridades potenciales como proyectos productivos.
2. Realizar un Dialogo de saberes con la comunidad.
3. Diseñar técnicamente. Calcular la potencia y energía requerida.
4. Identificar los recursos naturales energéticos y su disponibilidad. Cantidad de horas día del recurso y su intensidad.
5. Seleccionar el espacio adecuado para la implementación del sistema, sin alterar el entorno ambiental o social (espacio para actividades tradicionales, ancestrales o

<sup>7</sup> HOMER: software para el diseño y optimización de sistemas de energía de generación distribuida y microrred de licencia pagada.

culturales), determinar el espacio óptimo para la instalación.

6. Presupuestar los recursos económicos asignados al proyecto. Inversión inicial (diseño, equipos, transporte, instalación, mano de obra), mantenimiento, permisos, impuestos, otros. Considerar intereses del préstamo o financiación. Búsqueda de agencias de cooperación o licitación.
7. Diseñar una propuesta técnica sustentable y sostenible de acuerdo a los anteriores ítems, considerando los requerimientos y normativas ambientales. Para ello, es necesario incluir en los costos, un mantenimiento preventivo y correctivo, conservación de equipos, revisión de componentes del sistema, prevención de fallas. Capacitación y formación (concientización): educación a la comunidad en uso y Mantenimiento del sistema. Todo ello genera el cobro de cuota mensual.
8. Análisis de beneficios. Ambiental (reducción de emisiones comparado con otra fuente), Social (mejor calidad de vida: refrigeración, alimentación, salud), proyectos sociales productivos. Tecnológicos (comunicaciones, internet, alumbrado).
9. Seleccionar la alternativa más adecuada. “desition making criteria”
10. Realizar un Dialogo de saberes entre expertos para ajustar el proyecto a las necesidades de la comunidad.
11. Socializar el diseño de la alternativa pertinente con la comunidad y los grupos de trabajo. Al presentar a la comunidad, explicar los beneficios, teniendo en cuenta comentarios y sugerencias de ellos. Retroalimentación. Este es el segundo dialogo de saberes entre expertos para definir el proyecto.
12. Construir el proyecto.
13. Iniciar el acompañamiento y la capacitación técnica a la comunidad (apropiación constante –multiplicadores).

La metodología se está validando, por ahora, con una comunidad del Pacífico colombiano ubicada a unas 2 horas en lancha desde Buenaventura: La Plata, en Bahía Málaga.

Luego del diagnóstico, se realizó trabajo de campo validando la encuesta y realizando medición de recurso, así como los diálogos de saberes que permiten contextualizar la documentación que se ha compilado y además entrega al proyecto la mirada real de la situación en la comunidad aislada.

### 3. Resultados

A continuación se presenta el análisis de cada uno de los recursos energéticos distribuidos en las ZNI escogidas como objeto estudio, cuyos resultados permitieron determinar los diferentes potenciales energéticos, de manera que se garantice para esta comunidad electricidad con un sistema aislado, inteligente y eficiente; teniendo en cuenta además diferentes parámetros característicos y propios de cada comunidad, como su ubicación geográfica, tipo de población, actividad económica, consumo energético actual y su potencial energético para la posible generación de energía eléctrica con fuentes alternativas de energía.

#### 3.1. Localidad pacífica: bahía Málaga, Buenaventura–Valle del Cauca.

Departamento: Valle del Cauca, Municipio: Buenaventura, Región: Bahía Málaga, Altitud: 7 msnm, Acceso: Marítimo, Población.

Algunas áreas en Bahía Málaga están interconectadas al SIN<sup>8</sup> (La Colonia, El Crucero, La Brea, Juanchaco y Ladrilleros). Los demás asentamientos, incluyendo los resguardos indígenas, se proveen de energía mediante plantas eléctricas Diésel. A continuación, se describen algunas características de 4 de las veredas más representativas de la región de Bahía Málaga: La Plata, La Sierpe, Mangaña y Miramar (Tabla 1).

La población es en su totalidad afrodescendiente y es casi igualitaria en el porcentaje de población femenina y masculina, con un 52% de hombres y un 48% de mujeres.

Las diferentes actividades económicas y de consumo energético – de una población que básicamente está constituida por veredas – dependen de las riquezas naturales de cada zona. En la siguiente tabla se evidencia que las actividades mantienen un patrón; sin embargo, la prioridad varía dependiendo de las oportunidades que tengan en cada isla. La Tabla 2 muestra las principales actividades económicas de cada vereda según su orden de importancia:

<sup>8</sup> SIN: Sistema Interconectado Nacional.

**Tabla 1.** Características población en Bahía Málaga

	La Plata	La Sierpe	Mangaña	Miramar
Número de viviendas	70	30	22	31
Número de habitantes promedio por vivienda	5	5	6	5
Etnia	Afro	Afro	Afro	Afro

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 2.** Actividades económicas en Bahía Málaga

La Plata	La Sierpe	Mangaña	Miramar
Extracción de Piangua	Extracción de Piangua	Extracción de Piangua	Extracción de Piangua
Pesca	Pesca	Concheros	Pesca
Corte de madera	Corte de madera	Pesca	Madera
Ecoturismo			Sastrería
Casería			Comercio
Agricultura			

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 3.** Consumos en Bahía Málaga

	La Plata	La Sierpe	Mangaña	Miramar
Consumo mensual por vivienda (kWh/mes)	65,40	30,73	37,82	81,40
Consumo mensual por poblado (kWh/mes)	4578,00	921,75	832,09	2523,49

Fuente: elaboración propia.

Dentro de los consumos comunes para las veredas se encuentran la iluminación y la televisión (Tabla 3).

### 3.1.1. Diagnostico energético

#### 3.1.1.1. Energía solar en Bahía Málaga

De acuerdo con el Atlas de Radiación Solar elaborado por UPME<sup>9</sup> e IDEAM<sup>10</sup>, la zona de Bahía Málaga tiene una radiación solar global promedio de entre 3.0 y 4.0 kWh/m<sup>2</sup>/día. Este rango de valores es el común denominador para casi todo el litoral Pacífico Colombiano; sin embargo, la estación meteorológica de Juanchaco (administrada por el IDEAM y ubicada geográficamente dentro de la zona de estudio a una latitud y longitud de 3° 55' 31" N y 77° 20' 57" W) indica que la radiación global diaria mensual en esta zona varía entre 2,80 y 3,70 kWh/m<sup>2</sup>/día, con un error no mayor a +/- 10% y un valor promedio de 3,23 kWh/m<sup>2</sup>/día [18][19][20].

Los datos suministrados por esta estación confirman entonces la buena disponibilidad del recurso para desarrollar proyectos basados en energía solar, a pesar de las condiciones climáticas adversas de la zona y la alta nubosidad presente en los meses de lluvia. No obstante, estos datos son poco o nada útiles para dimensionar un sistema fotovoltaico que considere (dentro del proceso de diseño) la optimización de este sistema en términos de generación de energía y costo, e incluya de manera cuantitativa la confiabilidad la cual es una de las características más importantes en la electrificación rural mediante sistemas fotovoltaicos y que, para este caso en particular, ha sido también incluida como parte de los objetivos de investigación trazados. Por lo anterior, la caracterización de la energía solar disponible en Bahía Málaga se realiza a partir de los datos de irradiancia horaria que, de igual forma, fueron suministrados por IDEAM y muestran, en un rango de tiempo de 365 días, la variabilidad del recurso a partir de la hora 00:00 de enero 1 hasta la

<sup>9</sup> UPME: Unidad de Planeación Minero-Energética.

<sup>10</sup> IDEAM: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales.



hora 23:00 de diciembre 31. Estos datos, ilustrados en la figura 27, corresponden a 8760 valores que conservan el mismo perfil de radiación solar promedio diaria y reflejan (con mayor detalle) los máximos y mínimos de irradiancia que pueden presentarse en la zona; además, son utilizados para dimensionar el sistema fotovoltaico teniendo en cuenta la demanda energética y las características de desempeño, costo y confiabilidad deseadas [21][22].

### 3.1.1.2. Energía eólica en Bahía Málaga.

La velocidad promedio anual de energía eólica en Bahía Málaga, oscila entre 1,5 y 2 m/s, medida a una altura de 10 m; velocidad baja, en comparación con las zonas y/o departamentos de Colombia con mayor densidad del viento, como La Guajira y la zona costera del Atlántico, donde las velocidades oscilan entre 5 y 8 m/s. De acuerdo a las recomendaciones del Atlas, vientos con intensidades iguales o superiores a 5 m/s, brindan una buena alternativa para la implementación de este tipo de energía [23][24].

### 3.1.1.3. Energía de biomasa en Bahía Málaga.

De acuerdo al atlas de biomasa en Colombia, los cultivos agrícolas asociados a Buenaventura, como posibles fuentes de biomasa agrícola son: banano, arroz, maíz, caña de panela y plátano. La generación de biomasa pecuaria y de residuos sólidos urbanos en esta misma región, son mínimos o nulos. En cuanto a cultivos agrícolas, los cultivos asociados directamente a la Región de Bahía Málaga son: caña, arroz, papachina, yuca, plátano, maíz, cacao, chontaduro, coco y borojó; pero su producción está limitada al uso de subsistencia, por lo cual y en caso de encontrarse viable la generación de energía a partir de biomasa, podría optarse no en un abastecimiento local sino municipal de la biomasa requerida [25].

## 3.2. Localidad sur: jardines del sucumbíos, Ipiales – Nariño.

Localización geográfica: Departamento: Nariño, municipio: Ipiales, corregimiento: Jardines de Sucumbíos, vereda: Brisas del Rumiyo, número de viviendas: 51, etnia: mestizos altitud: 650 msnm, ubicación: latitud N 00 24'46'', acceso: terrestre – fluvial.

### 3.2.1. Consumos energéticos

De acuerdo a los estudios del PERS Nariño, el consumo para las localidades de la subregión

Exprovincia de Obando, donde en general se encontraron equipos eléctricos de iluminación y televisión, es de 37,69 kWh/mes, que para las 51 viviendas registradas en Brisas del Rumiyo, arroja un consumo total de 1922,29 kWh/mes para toda la localidad.

Sin embargo, para la energización de las veredas del corregimiento Jardines de Sucumbíos se proyecta un consumo de 1 kVA por casa (consumo proyectado para 1 tv, 1 equipo de sonido, 1 nevera, 5 bombillos).

## 3.2.2. Diagnóstico energético

### 3.2.2.1. Energía solar en jardines del sucumbíos.

Jardines de Sucumbíos se encuentra en zona aledañas al Río Churuyaco, su clima es de selva tropical, húmedo y caliente, presentándose promedios de radiación solar de 3–3.5 KWh/m<sup>2</sup>/día.

### 3.2.2.2. Energía eólica en jardines del sucumbíos.

La velocidad promedio anual de energía eólica en Jardines de Sucumbíos, oscila entre 1 y 1,5 m/s, medida a una altura de 10 m. De acuerdo a las recomendaciones del Atlas del Viento en Colombia, aquellos vientos con intensidades iguales o superiores a 5 m/s, brindan una buena alternativa para la implementación de este tipo de energía.

### 3.2.2.3. Energía de biomasa en jardines de sucumbíos.

Para esta región se tienen promedios de producción en biomasa de 0 a 10 toneladas al año, en donde se podemos encontrar, biomasa residual agrícola.

## 3.3. Localidad norte: Nazareth, Uribí–La guajira.

Localización geográfica: departamento: Guajira, municipio: Uribí, corregimiento: Nazareth, altitud: 10 msnm, acceso: Terrestre.

### 3.3.1. Consumos energéticos

En La Guajira la principal fuente de energía es la leña, que representa más del 80% del consumo de la región, donde su principal uso es la cocción de alimentos. Seguido por el Gas Licuado de Petróleo o GLP (mezcla de butano y propano) con un porcentaje mucho menor, como muestra la siguiente gráfica. Dentro de los usos dados a la Energía Eléctrica

(EE) en La Guajira, el mayor uso está dado en la refrigeración, con 45,1%. Siendo la iluminación, el segundo mayor factor de consumo energético, el cual se da principalmente a través del uso de bombillos incandescentes. Según la Resolución CREG 355 de 2004MME, a La Guajira le corresponde un consumo de subsistencia de 177 kWh/mes debido a que su altitud es menor de 1000 msnm. Sin, embargo, ninguna de las 3 regiones nombradas supera este consumo, siendo la alta Guajira la de menor consumo. El municipio de Uribía, según el DANE<sup>11</sup> muestra una proyección de población de 13389 personas al año 2017. La localidad en estudio dentro de Uribía es Nazareth, la cual cuenta con 143 viviendas (ver Sección 4.3.1), donde el consumo promedio por vivienda registrado es de 27,2 kWh/mes, equivalentes a 3889,6 kWh/mes en toda la localidad.

### 3.3.2. Diagnóstico energético

#### 3.3.2.1. Energía solar en Nazareth.

Energía solar en Nazareth La Guajira tiene como clima predominante el desértico, es una de las zonas con mayor radiación solar en Colombia, el promedio anual del municipio de Uribía oscila entre 5 y 5,5 KWh/m<sup>2</sup>/día. Dicho rango suministrado por el Atlas de Radiación Solar en Colombia, nos indica que la localidad de Uribía es viable para ser energizada mediante el uso de paneles solares.

#### 3.3.2.2. Energía eólica en Nazareth.

La energía eólica es otro de los grandes potenciales de La Guajira, alcanzando vientos de hasta 7 y 8 m/s en sus latitudes más altas. En el municipio de Uribía, se alcanzan velocidades promedio entre 5 y 6 m/s, medida a una altura de 10 m. De acuerdo a las recomendaciones del Atlas del Viento en Colombia, aquellos vientos con intensidades iguales o superiores a 5 m/s, brindan una buena alternativa para la implementación de este tipo de energía, por tanto en la localidad de Nazareth, al alcanzar este límite, pueden implementarse sistemas eólicos, y teniendo en cuenta que el recurso solar analizado en el punto anterior también es bueno, puede pensarse incluso en un sistema híbrido eólico-solar.

#### 3.3.2.3. Energía de biomasa en Nazareth

Los cultivos predominantes en la región son yuca y banano, pero debido a la aridez y erosión del terreno la producción de biomasa residual agrícola

es mínima. En cuanto a la ganadería se destaca el pastoreo de ganado caprino, destinado al consumo local y de zonas aledañas. El Atlas de Biomasa en Colombia, no posee información en cuanto a la cantidad de toneladas anuales de biomasa generada para la localidad de Nazareth.

### 3.4. Localidad oriente: Puerto Toledo, Puerto Rico – Meta.

Localización geográfica, departamento: Meta, municipio: Puerto Rico, localidad: Puerto Toledo, altitud: 210 msnm, acceso: terrestre.

De acuerdo al Sistema de Información Ambiental Territorial de la Amazonía Colombiana (SIAT – AC), el consumo de energía eléctrica para el municipio de Puerto Rico, y clasificado como muy bajo, es de 5,03 kWh por vivienda.

#### 3.4.1. Diagnóstico energético

##### 3.4.1.1. Energía solar en Puerto Toledo.

El departamento del Meta está ubicado en una zona tropical, donde predomina el clima cálido, tiene una temperatura promedio de 29 °C y una humedad relativa del 85%. La radiación solar en el municipio de Puerto Rico, de acuerdo al Atlas de Radiación Solar en Colombia oscila entre 4 y 4,5 KWh/m<sup>2</sup>/día.

##### 3.4.1.2. Energía eólica en Puerto Toledo

La energía eólica en el departamento del Meta alcanza velocidades de hasta 4 y 5 m/s en zonas cercanas a la cordillera oriental, a la altura del parque nacional natural Cordillera de los Pichachos, sin embargo, el municipio de Puerto Rico, se encuentra ubicado en zona de llanura, donde el viento alcanza velocidades entre 2,5 y 3 m/s. De acuerdo a las recomendaciones del Atlas del Viento en Colombia, aquellos vientos con intensidades iguales o superiores a 5 m/s, brindan una buena alternativa para la implementación de este tipo de energía.

##### 3.4.1.3. Energía de biomasa en Puerto Toledo

Esta zona se caracteriza por el desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias. Los cultivos predominantes en el municipio de Puerto Rico son la palma de aceite, plátano, piña, cacao y yuca. En cuanto a la ganadería, como es común en muchos municipios del Meta, gran parte de los suelos

<sup>11</sup> DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

se destinan para la cría y la ceba de ganado, así como es frecuente la cría de ganado multipropósito (aprovechamiento de carne y leche), en especial de pequeños productores. La cantidad municipal anual de los residuos agrícolas para biomasa Residual agrícola en Puerto Toledo es de 10 a 40 toneladas.

**4. Simulación.**

Una vez finalizada la fase de identificación de potenciales eléctricos en las diferentes localidades seleccionadas, se procede con el diseño de microrred idóneo para esta comunidad, por medio de la caracterización de las cargas generadoras de los consumos en la ZNI.

Una forma de validar el diseño de la micro red, es por medio de la aplicación de las herramientas computacionales de tipo software, en los cuales se emulan los procesos y las condiciones de operación de la micro red, en este caso haremos uso de la herramienta HOMER PRO, la cual permitirá definir tanto técnica como económicamente la viabilidad de

este tipo de sistemas de generación distribuida en la zona no interconectada seleccionada.

*4.1. Simulación microrred comunidad: La Plata – Bahía Málaga – Colombia.*

Para el diseño de la microrred se considera el escenario de demanda máxima y consumos propios de energía para regiones ZNI, como se muestra en la Tabla 4.

En la Figura 1, se observa el comportamiento de los electrodomésticos en un día típico de consumo, caracterizado en sus diferentes horas, este análisis nos permitió conocer los escenarios críticos de operación de demanda y el comportamiento de operación de la microrred.

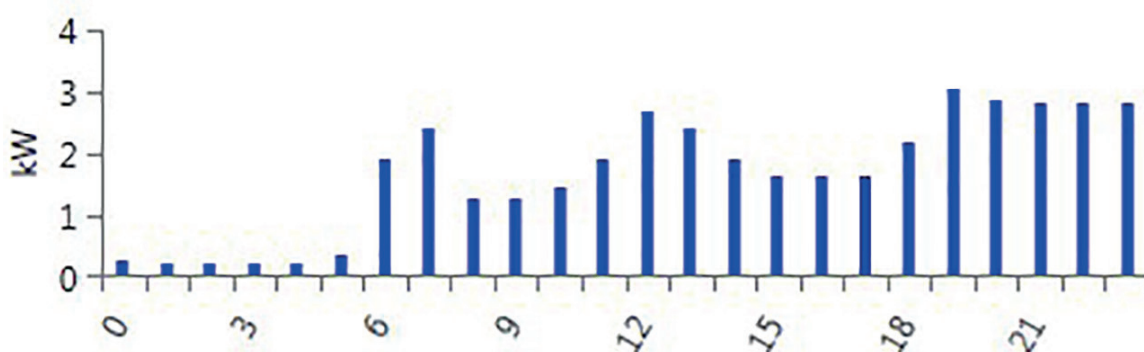
Los diferentes componentes observados en el diagrama esquemático presentado en la Figura 2, establece el esquema de conexión de la microrred, el resumen de producción de esta se presenta en la siguiente Tabla 5.

**Tabla 4.** Perfil de demanda.

Altitud	Escenario con electrodomésticos			
	Usados actualmente en ZNI			
m.s.n.m.	Consumo (kWh/día)	Consumo (kWh/mes)	Viviendas Cubiertas con Microrred	Región
0-500	40,22	188,5	6,4	Bahía Málaga

Fuente: elaboración propia.

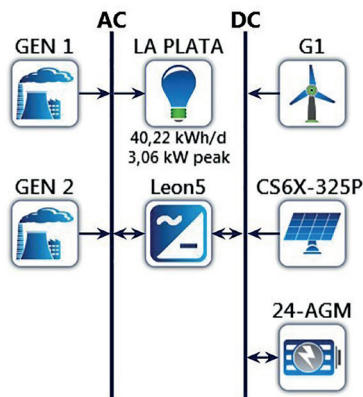
**Figura 1.** Perfil de demanda diario de 6.4 viviendas para Bahía Malaga (kW vs Horas/día)



Fuente: elaboración propia, mediante el software HOMER PRO.



Figura 2. Diagrama esquemático de microrred



Fuente: elaboración propia, mediante el software HOMER PRO.

Tabla 5. Resumen de producción

Component	Production (kWh/yr)	Percent
CanadianSolar MaxPower CS6X-325P	2.483	16,3
Oorja 1.5kW Model T-1	8.944	58,9
Oorja 1.5kW Model T-1 (1)	3.762	24,8
Total	15.190	100

Fuente: elaboración propia.

La herramienta computación HOMER PRO, ordena el resumen de utilización y generación de energía renovable en toda la microrred en base a la carga configurada, en este caso se está hablando de las 6.4 viviendas ubicadas en la localidad de La Plata en Bahía Málaga, Buenaventura, este resultado de energía renovable se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Resumen de energía renovable

Capacity-based metrics	Value	Unit
Nominal renewable capacity divided by total nominal capacity	39,4	%
Usable renewable capacity divided by total capacity	36,4	%
Energy-based metrics	Value	Unit
Total renewable production divided by load	16,9	%
Total renewable production divided by generation	16,3	%
One minus total nonrenewable production divided by load	100	%
Peak values	Value	Unit
Renewable output divided by load (HOMER standard)	115	%
Renewable output divided by total generation	100	%
One minus nonrenewable output divided by total load	100	%

Fuente: elaboración propia.

## 5. Conclusiones

El diseño de una microrred eléctrica con recursos energéticos renovables locales, varía según los pisos térmicos o alturas donde se ubica la población, la actividad productiva que se desarrolla a esa altura, el tipo de población y sus consideraciones socio-culturales para ofrecer una solución sostenible en un tiempo prolongado y que financieramente puedan sostener.

Con un recurso de 4578kWh/ mes promedio en la comunidad de La Plata, un valor promedio de radiación solar de 3.23 kWh/m<sup>2</sup>/día y como necesidad productiva prioritaria la conservación de la pesca y piangüa, se propone una solución de un sistema energético con tecnología solar fotovoltaica y de biomasa por ser los recursos renovables predominantes.

A pesar de la aparente necesidad de un servicio eléctrico permanente, confiable, y estable en las distintas comunidades, en la zona de validación, La Plata, se vislumbró que la confianza con los interlocutores es el punto de partida para lograr un diseño óptimo que considera las necesidades reales de la población.

El método permite establecer que la microrred óptima para la población piloto (La Plata), requiere un sistema que aún considera energía de recurso fósil, y que la población posee radiación solar suficiente, los costos y la complementariedad de las otras fuentes sugiere como resultado que se diseñe con solar y Diesel [26][27].

## Reconocimientos

El presente artículo se realizó bajo el programa de investigación Generación Y Suministro De Energía Eléctrica Sostenible Para Zonas No Interconectadas En Colombia. Resolución de Rectoría 7173 del 30 de septiembre de 2016 y los recursos propios de la Dirección de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico DIDT. Universidad Autónoma de Occidente.

## Referencias

- [1] Banco mundial. “Consumo de energía procedente de combustibles fósiles”. [En línea] Disponible en: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.COMM.FO.ZS>
- [2] R. Fernández, “El inicio del fin de la era de los combustibles”. En *la espiral de la energía*. vol. 2. Madrid, 2014. p. 85- 91.
- [3] Department of energy U.S.A. “Microgrid workshop report”. [En línea] Disponible en: <https://energy.gov/sites/prod/files/Microgrid%20Workshop%20Report%20August%202011.pdf>
- [4] Comisión regulatoria de energía y gas. “Información institucional”. [En línea] Disponible en: <http://www.creg.gov.co/>
- [5] Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para las zonas no interconectadas. “Información institucional”. [En línea] Disponible en: <http://www.ipse.gov.co/informacion-institucional/ipse>
- [6] Florez. “¿Ha sido efectiva la promoción de soluciones energéticas en las ZNI en Colombia?” [En línea] Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cadm/v22n38/v22n38a11.pdf>
- [7] Dinero. “¿Qué tan competitiva es la energía colombiana?” [En línea] Disponible en: <http://www.dinero.com/economia/articulo/analisis-produccion-energetica-del-pais-su-competitividad/211733>
- [8] GIEN. “Información general” [En línea] Disponible en: <http://www.uao.edu.co/investigacion/grupos-de-investigacion/f-ingenieria/gien/inicio>
- [9] GITCOD, [En línea] Disponible en: <http://www.uao.edu.co/investigacion/grupos-de-investigacion/f-ingenieria/gitcod/inicio>
- [10] Ministerio de educación nacional. “Colombia una potencia en energías alternativas”. [En línea] Disponible en: <http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/article-117028.html>
- [11] J. M. Rey, “Generalities about design and operation of microgrids”. *DYNA*, vol. 82, n° 192, p. 109-119, 2015, <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n192.48586>
- [12] HATZIARGYROU. “Microgrids: architectures and control”. Noida, India: Wiley, 2014. p. 317.
- [13] J. Huang. “A review on distributed energy resources and microgrid”. [En línea] Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032107001025>
- [14] INNOVATELLI. “14 LI communities win microgrid funding” [En línea] Disponible en: <http://www.innovateli.com/14-li-communities-win-microgrid-funding/>
- [15] IEEE. Standard IEEE 1547.4, 2011. Disponible en [https://standards.ieee.org/standard/1547\\_4-2011.html#](https://standards.ieee.org/standard/1547_4-2011.html#) Revisado noviembre de 2017
- [16] R. Medina, “Microrredes basadas en electrónica de potencia. Ecuador, 2014. Universidad Politécnica Salesiana. En: *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*” [En línea] Disponible en: <http://ingenius.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/12.2014.02/23>
- [17] L. Martínez, “Termotecnia básica para ingenieros químicos”. 1ed. Ediciones de la Universidad Castilla–La Mancha, 2004. p. 59-60.
- [18] HIDROMET. “Duración media de brillo solar u horas de sol”. [En línea] Disponible en: [http://www.hidromet.com.pa/brillo\\_solar.php](http://www.hidromet.com.pa/brillo_solar.php)
- [19] IDEAM. “Distribución del brillo solar medio diario anual”. [En línea] Disponible en: [http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Brillo\\_Solar\\_13.pdf](http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Brillo_Solar_13.pdf)

- [20] IDEAM. “Irradiación global horizontal medio diario anual”. [En línea] Disponible en: <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/RadiacionSolar13.pdf>
- [21] OMM. “Organización Meteorológica Mundial” [En línea] Disponible en: [http://www.wmo.int/pages/index\\_es.html](http://www.wmo.int/pages/index_es.html)
- [22] UPME. “Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia”. [En línea] Disponible en: [http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion\\_Energias\\_Renovables/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf)
- [23] UPME. “Atlas de viento y energía eólica en Colombia”. [En línea] Disponible en: <http://www.upme.gov.co/Docs/MapaViento/CAPITULO5.pdf>
- [24] UPME. “Atlas de viento y energía eólica en Colombia”. [En línea] Disponible en: <http://www.upme.gov.co/Docs/MapaViento/CAPITULO1.pdf>
- [25] UPME. “Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia”. [En línea] Disponible en: [http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia\\_\\_.pdf](http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia__.pdf)
- [26] UPME. “Usos del Diesel en Colombia”. [En línea] Disponible en: [http://www.upme.gov.co/Docs/Energia/PROYECC\\_DEMANDA\\_ENERGIA\\_OCTUBRE\\_2010.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Energia/PROYECC_DEMANDA_ENERGIA_OCTUBRE_2010.pdf)
- [27] USAENE. “Parque de generación de plantas Diesel en las ZNI”. [En línea] Disponible en: [http://www.creg.gov.co/phocadownload/presentaciones/informe\\_usaene\\_zni.pdf](http://www.creg.gov.co/phocadownload/presentaciones/informe_usaene_zni.pdf)