



NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

13 - 16
DE SEPTIEMBRE

2022

CARTAGENA DE INDIAS,
COLOMBIA



Solución energética viable para zona no interconectada del departamento del Cauca

Mariana Rendón Leal, Eyvar Alexis Pitto Córdoba, Francisco Franco Obando Díaz

**Universidad del Cauca
Popayán, Colombia**

Resumen

La falta de cobertura eléctrica en algunas zonas de Colombia, ha generado la necesidad de diseñar e implementar sistemas alternativos de generación mediante el uso de fuentes no convencionales de energía renovable, para dicho fin, es indispensable realizar estudios que permitan garantizar la eficiencia y sostenibilidad del mismo. En este trabajo se definió una solución tecnológica de generación y suministro, con el propósito de implementar un sistema de abastecimiento eléctrico, para una zona rural no interconectada del departamento del Cauca. La metodología utilizada se fundamentó en desarrollar etapas que consistieron en caracterizar la zona, estimar perfiles de carga, evaluar la disponibilidad de fuentes de energía renovables y simular topologías de red para las tecnologías más viables. Finalmente, la alternativa seleccionada fue elegida a través de la evaluación de criterios, para esta propuesta se definieron planes de manejo que abordan la dimensión social, ambiental, tecnológica y económica, asegurando que el sistema de generación sea auto-sostenible por la propia comunidad. Del trabajo, se concluyó que el sistema hidroeléctrico con microturbina, respaldado con planta Diesel, es la tecnología de generación idónea para suplir la demanda eléctrica de la zona.

Palabras clave: fuentes renovables; generación eléctrica; zonas no interconectadas

Abstract

The lack of electricity coverage in some areas of Colombia has generated the need to design and implement alternative generation systems through the use of unconventional sources of renewable energy. For this purpose it is essential to carry out studies to ensure its efficiency and sustainability. In this work a technological solution of generation and supply was defined with the objective

of implementing an electricity supply system for a rural area not interconnected in the department of Cauca. The methodology used was based on developing stages that consisted of characterizing the area, estimating load profiles, evaluating the availability of renewable energy sources and simulating network topologies for the most viable technologies. Finally the selected alternative was chosen through the evaluation of approaches. For this proposal management plans were defined that address the social, environmental, technological and economic dimension, ensuring that the generation system is self-sustaining by the community itself. From the work it was concluded that the hydroelectric system with a microturbine backed by a diesel plant is the ideal generation technology to meet the electrical demand of the area.

Keywords: *renewable sources; electricity generation; non-interconnected zones*

1. Introducción

Colombia es uno de los países más diversos del mundo, la amplitud del territorio, la variedad de climas y altitudes, dificulta el acceso a muchas regiones (Bustos, et al., 2014). Las Zonas no Interconectadas ZNI, corresponden el 52 % del territorio nacional, donde el 79 % de la población es rural (Super Servicios, 2019). De acuerdo con los datos publicados por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas, para las Zonas no Interconectadas IPSE, para el año 2019 se cuantificaron a 1.710 localidades rurales en Colombia en donde se calcula que 128.587 personas solo acceden al servicio entre cuatro y doce horas al día, las zonas con menos acceso coinciden con aquellas regiones en donde se presentan los mayores índices de pobreza y de desigualdad (Ministerio Minas, 2018).

Una de estas zonas es el municipio de Guapi, su difícil accesibilidad ha generado un déficit en el desarrollo socioeconómico y por ende un impacto en el bienestar social de estas comunidades, ocasionando problemáticas sociales, ambientales, culturales y económicas. Los resultados de desempeño fiscal publicados por el Departamento de Planeación Nacional DPN, muestra que para el año 2017, de los 1101 municipios evaluados, Guapi ocupó el puesto 908 a nivel nacional, siendo clasificado en el rango de los municipios más vulnerables del País (Alcaldía Guapi, 2020). Debido a esta problemática surge la necesidad de estructurar planes, programas y proyectos mediante la implementación de fuentes no convencionales de energía renovable FNCER, para dar solución al problema de interconectividad y en consecuencia aportar al cumplimiento de los objetivos del Plan Energético Nacional, los cuales están encaminados a satisfacer la demanda energética del país.

En esta investigación, se llevó a cabo la caracterización de una ZNI de Colombia, específicamente, la comunidad Nueva Bella Vista, ubicada en el municipio de Guapi, departamento del Cauca. Para definir las alternativas, se realizó el análisis de las fuentes de energía primaria presentes en la zona, sus potenciales y tecnologías asociadas, posteriormente, se cotizaron los componentes para el diseño del sistema, los cuales fueron sometidos a prueba mediante simulación en el software ETAP. Se definieron 8 criterios de evaluación que facilitaron la elección de la solución más viable, con ayuda del método analítico jerárquico.



2. Ubicación de la zona

Guapi es un municipio ubicado al sur occidente del departamento del Cauca, en el litoral pacífico colombiano, su cabecera municipal se ubica a los 2° 34' latitud norte y a los 75° 54' de longitud occidental. A este municipio se encuentra adscrita la comunidad Nueva Bellavista del pueblo indígena Eperara Siapidara, constituido mediante el acuerdo 374 de 2015 (Alcaldía Guapi, 2016).

3. Análisis y evaluación del potencial de fuentes renovables

Con el fin de establecer la disponibilidad de fuentes de energía renovable en la zona, se realizó el análisis de la información suministrada por instituciones como el Servicio Geológico Colombiano SGC y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Los resultados más relevantes, indican que las fuentes con mayor potencial en la zona y por tanto las seleccionadas para el desarrollo de esta investigación, son la energía solar, la cual presenta una irradiancia que oscila entre los 3 y 4,5 kW h/m², y la energía hidráulica con un potencial altamente cuantificado, dado que el resguardo se ubicada en la ribera del río Guapi, afluente que entrega un caudal medio anual de 106,01 m³/s (Ideam, 2020).

4. Estimación del perfil de carga

A través de los resultados recopilados en una encuesta realizada en la comunidad Nueva Bellavista, se identificaron las potenciales cargas del sistema de generación, se clasificaron los siguientes grupos teniendo en cuenta los requerimientos de carga particulares, con los cuales fue calculado el consumo de potencia.

- Grupo 1- Vivienda: Conformado por las 17 viviendas y 2 casas comunitarias, consumo total de 131100 Wh/día.
- Grupo 2- Escuela: Conformado por 7 salones de clase, 2 baños, 1 restaurante, 1 rectoría y 1 sala de profesores, consumo total de 8680 Wh/día.
- Grupo 3- Cabaña: Conformado por 3 cabañas, consumo total de 8200 Wh/día.

Según las potencias calculadas para cada grupo, se tiene que el 89 % de la generación eléctrica será destinada para el abastecimiento de la demanda de las viviendas y las casas comunitarias, el 6 % para la escuela y el 5 % restante para las cabañas, el consumo anual total de la comunidad es de 45.643,8 KWh.

5. Diseño de la topología de red y simulación de los modelos

De acuerdo a los componentes y las especificaciones técnicas de proveedores con experiencia en soluciones energéticas comerciales, se diseñaron los sistemas de generación propuestos, los cuales fueron modelados bajo una topología de red radial en baja tensión compuesta por tres grupos de



carga. Una vez definidos, los modelos se simularon mediante el software ETAP versión 16.0 a fin de contrastarlos mediante análisis eléctrico.

6. Resultados y análisis

Con base en el perfil de carga estimado, se realizó el diseño y la simulación de las alternativas propuestas. Para el sistema de generación de tipo solar, se recibieron los diseños suministrados por el proveedor, donde se especificó para cada grupo de carga, la configuración de una red con paneles solares, la cual fue ingresada en el software, junto a los valores de irradiancia presentados en el transcurso de un día, los cuales se obtuvieron directamente del simulador, ingresando las coordenadas de la zona. Se adquirieron los datos de la variable para el mes de noviembre del año 2020, posteriormente fueron promediados para un día en la franja horaria de 7:00 am a 5:00 pm. En la figura 1, se ilustran los valores de potencia activa y reactiva obtenidos en simulación, generando 2,48 kW de potencia útil cuando se presenta la mayor irradiancia promedio en el día.

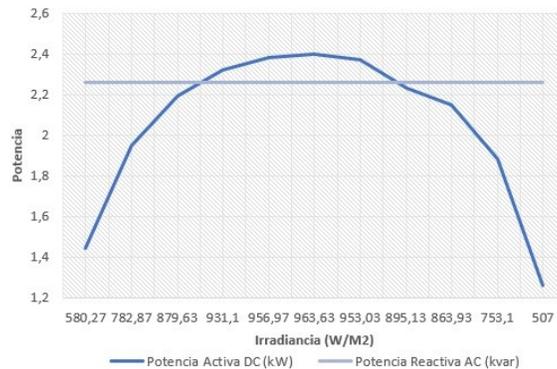


Figura 1. Comportamiento del sistema fotovoltaico Grupo 1 elaboración propia

El siguiente sistema de generación corresponde al grupo de carga 2. En la Figura 2, se muestran los valores de potencia activa y reactiva obtenidos en simulación, se generan 4 kW de potencia útil cuando se presenta la mayor irradiancia promedio en el día.



Figura 2. Comportamiento del sistema fotovoltaico Grupo 2, elaboración propia



Finalmente, en la Figura 3, se exponen los valores de potencia activa y reactiva obtenidos en simulación, se generan 3,2 kW de potencia útil cuando se presenta la mayor irradiancia promedio en el día.



Figura 3. Comportamiento del sistema fotovoltaico Grupo 3, elaboración propia

Para la generación hidroeléctrica, se propuso un diseño bajo un sistema con microturbina de río, el cual fue modelado y simulado. Es importante mencionar que el software ETAP en su versión 16.0 no cuenta con un componente que permita simular una turbina hidráulica, por lo tanto, se hizo uso de un generador síncrono el cual se encarga de cumplir dicha función y realizar la transferencia de energía.

Se determinó que la turbina a utilizar debería trabajar a un caudal de 150 l/s y a un salto de agua de 15 m, con esta información se identificaron las tecnologías presentes en el mercado, el resultado mostró que la microturbina marca Tecnoturbines modelo Hydroregen, con generador eléctrico trifásico, sistema de control de velocidad de la turbina MPPT, eficiencia de 70 a 78 %, rango de caudal de 105 a 510 l/s y salto de presión de 10 a 135m, se adapta a los requisitos técnicos establecidos. Para su simulación, se limitó el generador al máximo de potencia que entrega la turbina valor correspondiente a 15 KW, a su vez, este fue conectado a un punto de acople común (PAC), mediante el cual se efectuó la transferencia de potencia a los tres grupos de carga según su requerimiento. Los valores de potencia activa y reactiva que genera el sistema en presencia de diferentes caudales, dentro del rango de trabajo de la microturbina de 105 a 510 l/s y un salto de agua fijo de 15 metros, fueron calculados mediante (1).

$$PT = g \cdot Q \cdot H \cdot U \quad (1)$$

Donde:

PT es la potencia generada

g la gravedad (9,8 m/s²)

Q el caudal (m³/s)

H la caída de agua (15 m)

U la eficiencia de la turbina (70%)

Los valores de potencia obtenidos en simulación ante la variación del caudal, dan a conocer la capacidad que tiene el sistema propuesto para entregar potencia útil, aun estando en presencia del nivel más bajo de caudal dentro del rango de operación de la microturbina. El comportamiento del sistema se muestra en la Figura 4.

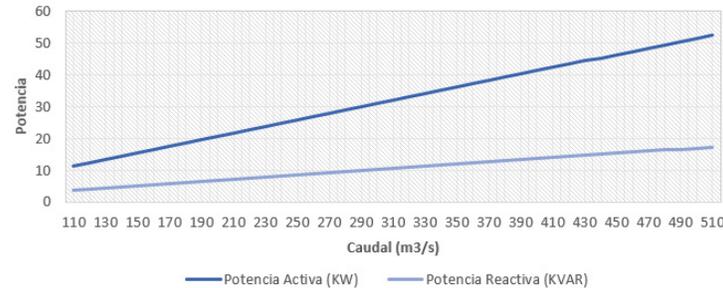


Figura 4. Comportamiento del sistema ante variación del caudal, elaboración propia

Teniendo en cuenta que las fuentes de energía renovable son intermitentes, es decir solo se genera energía eléctrica bajo condiciones favorables de trabajo, es necesario implementar un sistema de respaldo para garantizar la continuidad de la prestación del servicio. En conformidad con las condiciones y características de la carga en la zona, se realizó el estudio de dicha tecnología para abastecer la demanda de la comunidad la cual presenta una carga instalada de 13,12 kW. De acuerdo al análisis, se eligió un grupo electrógeno compuesto por una planta marca CATERPILAR modelo DE22E3 con potencia de generación de 20 kW, la cual fue configurada en el simulador para obtener una transferencia de potencia, a los grupos de carga según el requerimiento de 13,12 kW a 115 V.

7. Evaluación de alternativas

Para la elección del sistema de generación, se utilizó el método analítico jerárquico (AHP), metodología que propone tres principios básicos los cuales se desarrollaron de forma ordenada y consecutiva como se presenta en (Osorio, et al.,2018) (Robles, et al.,2018). Los subcriterios con los cuales se realizó la evaluación de las 2 alterativas tecnológicas solar fotovoltaica e hidroeléctrica, fueron los siguientes:

- Eficiencia energética: Eficiencia de conversión del sistema renovable.
- Disponibilidad del recurso: Periodos en los cuales se puede hacer uso del recurso energético.
- Impacto en el ecosistema: Impacto que tendría la instalación del sistema de generación sobre la fauna y flora presente en la zona.
- Generación de residuos.
- Aceptación de la comunidad: Percepción de los habitantes del resguardo Nueva Bellavista respecto a la implementación de cada una de las alternativas.
- Afinidad con política energética nacional.
- Costo KWh: Precio del KWh según el costo de mantenimiento del sistema.

- Costo asociado a la operación de la red de respaldo.

Conforme a la evaluación desarrollada, finalmente se determinó que el sistema de generación hidroeléctrico con microturbina de río tiene un 77% de favorabilidad con respecto al sistema solar fotovoltaico con un 23%, por tanto, se concluye que el sistema de generación hidroeléctrico con microturbina es la solución tecnológica más viable para el suministro energético en la comunidad objeto de estudio.

8. Autosostenibilidad del sistema de generación

Algunos de los proyectos de electrificación desarrollados en zonas no interconectadas del territorio colombiano, son ejecutados por entidades cuya misión principal es dar cumplimiento a las metas de cobertura del servicio de energía eléctrica, prescindiendo de los aspectos relacionados con las comunidades beneficiarias, como la apropiación del sistema, la capacitación técnica, el cuidado del medio ambiente y los recursos económicos necesarios para operación y mantenimiento, por tanto, cuando se presentan fallas o termina la vida útil de los componentes que hacen parte de la estructura eléctrica, el sistema queda inoperable, dejando nuevamente a la zona sin suministro de energía (López, et al., 2019). De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se abordaron las dimensiones social, ambiental, tecnológica y económica ilustradas en la figura 5, estos componentes son los ejes principales para la sostenibilidad de los proyectos de electrificación rural (Upme, 2020), la estrategia busca garantizar la conservación y permanencia en el tiempo del sistema de generación propuesto. Para los 4 componentes de autosostenibilidad se sugirieron planes basados en las disposiciones generales expuestas por el IPSE y en la información recaudada a lo largo de la investigación.

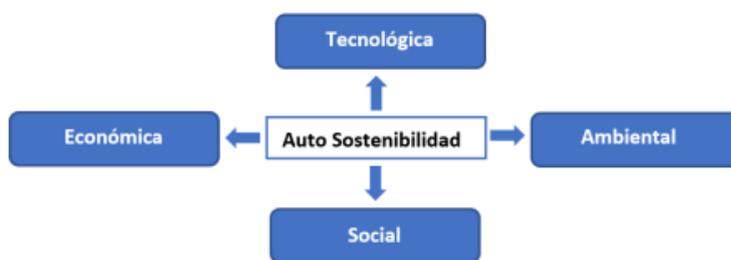


Figura 5: Esquema para un sistema de generación autosostenible, elaboración propia

9. Conclusiones

Se identificó el potencial de fuentes no convencionales de energía renovable presentes en la región, mediante el análisis de datos suministrados por las instituciones encargadas de la investigación científica de cada recurso, este estudio permitió evidenciar potencial hídrico y solar en la comunidad Nueva Bellavista.

Teniendo en cuenta que una de las características principales de las fuentes de energía renovable es la intermitencia, se determinó que el sistema de generación elegido deberá contar con una red de respaldo, la cual garantizará la continuidad en el suministro eléctrico.

Se establecieron 8 criterios que facilitaron la evaluación de las dos alternativas, haciendo uso del método analítico jerárquico. El resultado indicó que la alternativa que más se adapta a las condiciones de la comunidad es el sistema hidroeléctrico con microturbina de río.

Para asegurar la autosostenibilidad del sistema de generación por el resguardo, es necesario establecer estrategias que garanticen la sostenibilidad ambiental, económica, social y tecnológica, por tanto, se sugirieron planes de manejo que deberán ser llevados a cabo cuando se implemente el sistema, en la actualidad, se han desarrollado políticas que abarcan la sostenibilidad de proyectos energéticos, tal como se estructuran en los planes de energización rural sostenible PERS.

10. Referencias

Artículos de revistas

- Bustos, J. F., Sepúlveda, A. L. and Triviño, K. (2014). Zonas no interconectadas eléctricamente en Colombia: problemas y perspectiva, *Econógrafos Escuela de Economía*, Vol.1, No. 65, pp. 13-17
- Osorio, J. C., Herrera, M. F. and Vinasco, M. A. (2008). Modelo de evaluación del desempeño de los proveedores utilizando AHP, *Revista Ingeniería*, Vol.1, No. 12, pp. 43-58
- Robles, C. A., Tabora, J. A. and Ospino, A.J. (2018). Procedimiento para la Selección de Criterios en la Planificación Energética de Zonas Rurales Colombianas, *Centro de información Tecnológica*, Vol. 29, No. 3, pp. 71-80

Fuentes electrónicas

- Super Servicios. (2019). Zonas no Interconectadas Diagnóstico de la Prestación del Servicio de Energía Eléctrica. Consultado el 01 de junio de 2020 en [http://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/diagnostico de la prestacion del servicio zni - 07-11-2019-lo 1%20%281%29.pdf](http://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/diagnostico%20de%20la%20prestacion%20del%20servicio%20zni%20-%2007-11-2019-%201%20%281%29.pdf)
- Ministerio Minas. (2018, June). Línea Cauca. Consultado el 13 de mayo de 2020 en <https://www.minenergia.gov.co/web/10180/historico-de-noticias?idNoticia=24016530>
- Alcaldía Guapi. (2020, January). Plan de desarrollo territorial 2020-2023. Consultado el 13 de mayo de 2020 en <http://www.guapi-cauca.gov.co/planes/plan-de-desarrollo-municipal-20202023>
- Ideam. (2020). Atlas interactivo. Consultado el 11 de agosto de 2020 en <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- Alcaldía Guapi. (2016, January). Plan de Desarrollo Territorial 2016-2019. Consultado el 18 de mayo de 2020 en <http://www.guapi-cauca.gov.co/planes/plan-de-desarrollo-territorial-20162019>
- Comisión Energía. (2020, March). Informe de Costos de Tecnologías de Generación. Consultado el 22 de julio de 2020 en <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/03/ICTG-Marzo-2020.pdf>
- Upme. (2020). Guía para la elaboración de un plan de energización rural sostenible. Consultado el 27 de noviembre de 2020 en http://www.siel.gov.co/portals/0/fondos/Guia_de_un_PERS.pdf



Memorias de congresos

- López, M., Barbosa, L. and García, V. (2019). Promoción de soluciones energéticas en el sector rural colombiano: una oportunidad para el desarrollo y la sostenibilidad energética de las regiones. II Encuentro colombiano de energía, Vol. 1, No. 1, pp. 4-10

Sobre los autores

- **Francisco Franco Obando Díaz:** Ingeniero físico, Magíster en electrónica y telecomunicaciones, Docente investigador del departamento de electrónica instrumentación y control, Universidad del Cauca.
- **Mariana Rendón Leal:** Ingeniera en automática industrial, Universidad del Cauca, analista de calidad de software. marendon@unicauca.edu.co
- **Eyvar Alexis Pitto Córdoba:** Ingeniero en automática industrial, Universidad del Cauca. alekps@unicauca.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

