Informador Técnico (Colombia) 82(2) Julio - Diciembre 2018: 251-259 ISSN 0122-056X | ISSN 2256-5035 (en línea) doi: http://doi.org/10.23850/22565035.1499

Caracterización y aprovechamiento del potencial energético renovable de afluentes hídricos de ríos y quebradas del departamento de Nariño, con el fin de suministrar energía a zonas no interconectadas

Characterization and exploitation of the renewable energy potential of water tributaries of rivers and streams of the department of Nariño in order to supply energy to Non-Interconnected Zones

David Martínez[1]
Tito Piamba[2]
Anthony Fierro[3]
Andrea Gualguan[4]

[1] Colombiano. M.Sc. en Diseño industrial, Investigador SENNOVA. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Internacional de Producción Limpia Lope, Grupo de Investigación LOPE INVESTIGACIONES, Regional Nariño. E-mail: odmartinez43@misena.edu.co.

[2] Colombiano. Ingeniero especialista en Automática industrial, Docente tiempo completo. Universidad Autónoma de Nariño. Grupo de Investigación LOPE INVESTIGACIONES, Nariño, Colombia. E-mail: titopia23@gmail.com.

[3] Colombiano. Ingeniero e Instructor PLM. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Internacional de Producción Limpia Lope, Grupo de Investigación LOPE INVESTIGACIONES, Regional Nariño. E-mail: affierro@misena.edu.co.

[4] Colombiana. Estudiante de Ingeniería Industrial, tecnóloga en Diseño de Productos Industriales, Instructora Diseño de Producto. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Internacional de Producción Limpia Lope, Grupo de Investigación LOPE INVESTIGACIONES, Regional Nariño. E-mail: andrea.920832@outlook.com

Recibido: 13- 12 - 2017 Aceptado: 13-05-2018

Resumen

Las zonas no interconectadas ZNI en el departamento de Nariño requieren una solución de energización local, que ofrezca un servicio constante y confiable y cuyos costos de generación sean asequibles a las personas que pertenecen a este grupo poblacional. Nariño es uno de los departamentos que posee un gran potencial de fuentes hídricas que pueden ser aprovechadas para la generación de energía eléctrica a través de pequeñas centrales hidroeléctricas. El desarrollo de una central mini-hidroeléctrica para suministro de energías representa una alternativa que puede permitir mejorar las condiciones de vida de las personas que habitan estas zonas; además de contribuir a la disminución del impacto ambiental generado por otros tipos de energías, incentivando el uso eficiente de estos recursos renovables. Con lo anterior, es necesario identificar en primera instancia un modelo metodológico que permita identificar el potencial energético que poseen fuentes hídricas como ríos y quebradas que se encuentran cerca a estas zonas no interconectadas. Se establecen las condiciones para involucrar una etapa de pre-factibilidad para implementarse un sistema hidroeléctrico con el cual se busque abastecer la demanda de energías de estas comunidades, determinando la aplicabilidad de éste tipo de tecnologías y el potencial que estas pueden generar. Se resalta la importancia de desarrollar este tipo de tecnologías en la región con el fin de trasladar el conocimiento a la comunidad por medio de su divulgación.

Cómo citar: Martínez, D., Piamba, T., Fierro, A. y Gualguan, A. (2018). Caracterización y aprovechamiento del potencial energético renovable de afluentes hídricos de ríos y quebradas del departamento de Nariño, con el fin de suministrar energía a zonas no intercontectadas. *Informador Técnico, 82*(2), 251-259. doi: https://doi.org/10.23850/22565035.1499

Palabras clave: Energías alternativas; energía hidroeléctrica; caracterización potencial hídrico; desarrollo tecnológico; diseño y desarrollo de prototipo.

Abstract

The Non-Interconnected Zones (NIZs) in the department of Nariño require a local energization solution that offers a constant and reliable service and whose generation costs are affordable to the people belonging to this population group. Nariño is one of the departments that have a great potential of water sources that can be used for the generation of electricity through small hydroelectric plants. The development of a mini-hydroelectric power plant represents an alternative that can improve the living conditions of the people who live in these areas; besides contributing to the reduction of the environmental impact generated by other types of energies, encouraging the efficient use of these renewable resources. With the above, it is necessary to identify in the first instance a methodological model that allows identifying the energy potential of water sources such as rivers and streams that are close to these non-interconnected areas. The conditions are established to involve a pre-feasibility stage to implement a hydroelectric system with which it seeks to supply the energy demand of these communities, determining the applicability of this type of technologies and the potential that these can generate. It concludes highlights the importance of developing this type of technologies in the region in order to transfer the knowledge to the community through its dissemination.

Keywords: Alternative energies; hydroelectric power; potential water characterization; technological development; prototype design and development.

Introducción

Según cifras ofrecidas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (2011) sobre cobertura de energía eléctrica, Nariño es uno de los departamentos más afectados debido a la falta de suministro de energía eléctrica, ocupando el primer lugar como una de las regiones que más zonas no interconectadas posee con 51.447 usuarios de los cuales 8.717 pertenecen a las cabeceras municipales y 42.730 al sector rural. El sector rural en nuestra región presenta una gran problemática para abastecerse de un suministro energético para desarrollar necesidades de alta prioridad, como, por ejemplo, iluminación, cocinar, comunicación, y tareas básicas de los hogares.

Colombia ha sido clasificada como el cuarto país en el mundo con capacidad hidráulica, según las estadísticas, Colombia tiene un caudal en los principales ríos de 52.075 m^3/s y un área total de 1.141.748 km^2 (Torres Quintero, 2014).

La falta de conocimiento sobre nuevas tecnologías acerca de fuentes energéticas renovables, genera una falta de aprovechamiento de las capacidades y potencial energético que brindan todas las fuentes hídricas del departamento.

Actualmente, no existen proyectos que fortalezcan los conocimientos sobre el aprovechamiento de las fuentes hídricas para captar toda la energía requerida para estas zonas, por lo cual desde la formación y la academia se debe empezar a abordar proyectos que brinden soluciones a necesidades locales y/o regionales.

Es importante resaltar la necesidad que desde la formación de aprendices del SENA se logre transferir conocimiento de las bondades que los recursos naturales poseen para generar energía eléctrica.

Las ZNI y las energías renovables

Las zonas no interconectadas ZNI en el departamento de Nariño requieren una solución de energización local, que ofrezca un servicio constante y confiable, y cuyos costos de generación sean asequibles a las personas que pertenecen a este grupo poblacional. Debido a la abundancia de fuentes hídricas en estas zonas, la energía eléctrica producida por su potencial cinético representa una alternativa que puede permitir mejorar las condiciones de estas personas; además de contribuir a

la disminución del impacto ambiental generado por otros tipos de energías, incentivando el uso eficiente de estos recursos, por ello, es necesario desarrollar un proyecto que permita reconocer las bondades de aprovechar este tipo de recursos.

Según los datos reportados por los operadores de red IPSE y proyecciones del DANE a partir del censo 2005, sobre cobertura de energía eléctrica a 2014, el departamento de Nariño es una de las regiones que presenta el índice más alto de personas que viven en zonas no interconectadas (ZNI) con un total de 51.447 usuarios (Ministerio de Minas y Energía, 2004) que podrían beneficiarse por medio de este proyecto.

En la actualidad el componente hidrográfico del departamento de Nariño está constituido por las vertientes Pacífica y Amazónica. El recurso hídrico nariñense se manifiesta en ocho cuencas hidrográficas en las cuales se encuentran 20 lagunas y 28 importantes subcuencas. A la vertiente Pacífica pertenecen las cuencas de los ríos Patía, Mayo, Juanambú, Guáitara, Mira - Mataje, Iscuandé, y Telembí; a la vertiente Amazónica corresponden las cuencas del Guamuez y San Miguel.

Metodología

Descripción de la metodología de proyectos

Método volumétrico para medición de caudales pequeños

El método consiste en tomar el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de volumen conocido. Posteriormente, se divide el volumen en litros entre el tiempo promedio en segundos, obteniéndose el caudal en Litros / segundo (L/s).

Caudal = n cantidad de Litros / n cantidad de Segundos promedio

Método de velocidad por área conocida

Con este método se mide la velocidad del agua superficial que circula en la fuente, tomando el tiempo que demora un objeto flotante en trasladarse de un punto a otro en una sección uniforme.

Cálculo del área de lecho del río (m^2) = Ancho (m) X Profundidad (m)

Cálculo de la velocidad del recorrido (m/s) = Distancia (m) **/** tiempo (s)

Cálculo del caudal del río m^3/s = Lecho del rio (Área) X velocidad del recorrido (m/s) (Fundación Solar, 2013)

Con lo anterior se procedió a analizar 13 afluentes hídricos (quebradas) cercanos al centro de formación con el fin de caracterizar su potencial energético hidrológico y así determinar las características y parámetros de diseño del prototipo a desarrollar (ver Figura 1, Tabla 1 y Figura 2).

Figura 1. Aprendices e instructores del Centro Internacional de Producción Limpia LOPE, desarrollando la caracterización del potencial hídrico renovable en uno de los ríos de los cuales se obtuvo parámetros importantes en cuanto a identificación de caudal, profundidad y volumen. **Fuente:** Los autores.

Tabla 1. Identificación de características de los ríos, muestra tomada a doce pertenecientes a nuestra región y a un rio perteneciente al departamento del Putumayo.

Río	profundidad (m)	velocidad (m/s)	caudal (m^3/s)
SENA ALTO	0,673	0,51	2,83
SENA COMERCIAL	0,415	1	1,09
SAN FERNANDO	0,283	0,723	0,9
CABRERA	0,283	0,723	0,9
SAPUYES	0,531	0,45	1,4
PATIA	0,657	0,8	1,485
PUTUMAYO	0,9	2,5	5,06
SAN JUAN	0,5	0,7	1,6
RIO BOBO	0,7	1,08	3,7
BOYACA	0,7	0,38	0,167
CUTIPAZ	0,65	0,43	0,267
NARIÑO	0,57	1,47	0,98
PROMEDIO	**0,59**	**0,9**	**1,7**

Fuente: Los autores

Figura 2. Características de los caudales de río relacionada con la profundidad, la velocidad y el caudal promedio de cada uno de los ríos analizados.
Fuente: Los autores

Metodología PLM (product lifecycle management)

El proceso metodológico de trabajo está basado en la metodología de diseño y desarrollo de productos en contexto con la aplicación de la Estrategia PLM como se muestra en la Figura 3 para el monitoreo, control, seguimiento y evaluación de las diferentes fases que hacen parte del desarrollo del proyecto. La administración del Ciclo de Vida del Producto PLM (Product Lifecycle Management) es un término usado para la gestión global del ciclo de vida de un producto, desde su concepción, pasando por su diseño y fabricación hasta su distribución, venta y reciclaje o reutilización. Por tanto, son aplicaciones que permiten controlar, desarrollar, innovar, describir y comunicar información acerca de los productos (InnoSutra, 2008).

Por lo tanto, se pueden señalar como ventajas:

• Facilita (más rápido, menos errores, menos tiempo de aprendizaje) la comunicación a todos los niveles.

• Favorece los procesos de innovación.

• Puede ahorrar costes de inversión y mantenimiento.

• Simplifica el control de todos los procesos, horizontal y verticalmente, en el seno de la empresa, así como en los procesos de externalización.

• Reduce el tiempo de comercialización.

Figura 3. Diagrama de aplicación metodológica relacionada con la Administración del Ciclo de Vida del Producto.
Fuente: (Arion Data System, 2010).

Las fases inician con la concepción: definición de variables de la caracterización a estudiar para la eficiencia energética del punto de instalación de captura energética de la mini-central hidroeléctrica a desarrollar, para ser implementada y probada en uno de los ríos caracterizados, el cual se encuentra ubicado dentro de las instalaciones del Centro LOPE.

La segunda fase es el diseño detallado de la ubicación estratégica de la mini-central hidroeléctrica con todos los elementos que la conforman (el generador, elevador de voltaje, regulador, baterías, inversor) para ello, se desarrollaron los bocetos y planos detallados del sistema a establecer, planos mecánicos, desarrollo y mecanizado de piezas y desarrollo de acabados.

En seguida, vendrá la fase de ensambles e implementación de los sistemas anteriormente mencionados con el fin de suplir de energía eléctrica para ser almacenada en las baterías y posteriormente ser consumida por el usuario.

Finalmente, se culmina con la fase de terminación que incluiría la documentación completa de las diferentes fases y el estudio final del proyecto con una verificación de eficiencia de las variables y un seguimiento previo para obtener una mayor calidad de eficiencia y productividad.

Esta metodología de trabajo se debe fundamentar con las fases del ciclo de vida del producto que garantiza eficiencia, menor tiempo utilizado, menos costos definidos y mayor productividad y eficiencia en los procesos de producción y gestión.

Diseño

Fase de potencia

Descripción circuito principal

En primer lugar, encontramos el generador Dooms Day que nos permite transformar la energía mecánica generada por la turbina a energía eléctrica, esta energía DC pasará por el Elevador de carga, este elemento permite elevar el voltaje inicial al que se desee dependiendo de la capacidad del elevador, si el generador produce 4,5 V el elevador lo lleva a 12 V. Luego pasará por el controlador de carga PWM de 12 V, este dispositivo permite trabajar a la misma tensión que las baterías, permitiendo su carga y su desconexión automática si ya están cargadas, luego iría conectado a las baterías de ciclo profundo 12 V donde se almacenará la energía DC. Para transformar de DC a AC se utiliza un inversor de carga de 1500 W y esta energía AC será suministrada a los hogares para ser aprovechada (Ver Figura 4).

Figura 4. Descripción gráfica relacionada con el funcionamiento del circuito principal del sistema de carga y generación de energía de la mini-hidroeléctrica desarrollada por el equipo de CIPLL del SENA regional Nariño.
Fuente: Los autores.

Diseño de prototipo

Teniendo en cuenta el estudio previo realizado, relacionado con la caracterización del potencial energético hídrico renovables en 12 ríos y quebradas del departamento de Nariño, se procede a diseñar un prototipo (ver Figura 5) que permita aprovechar las características y el potencial anteriormente identificado. Lo anterior permitió identificar los parámetros de diseño que fueron tenidos en cuenta para desarrollar una mini central hidroeléctrica portable flotante para implementarse en zonas no interconectadas del departamento de Nariño.

Figura 5. Descripción en detalle de cada uno de los elementos que componen el prototipo de generación de energía de la central mini-hidroeléctrica portable desarrollada por el equipo de CIPLL del SENA regional Nariño.
Fuente: Los autores.

El prototipo posee una hélice tipo turbina de río, la cual permite aprovechar de una manera adecuada la energía cinética del caudal del río.

Partiendo de la energía cinética producida por las fuentes hídricas, se diseña y construye una turbina que aprovecha toda esa energía. Al establecer contacto con el agua las hélices comienzan a girar transformando en este punto la energía cinética en un movimiento mecánico. Por medio de los engranes ubicados en la parte inferior y la parte superior del prototipo se transmite el movimiento producido a los piñones que se encuentran en la base y estos a la vez lo transmiten al generador eléctrico, el cual alimentará las baterías que a su vez almacenan la energía y la distribuyen a los electrodomésticos que se desea alimentar para su funcionamiento.

A continuación, se procede a identificar el diseño final del prototipo con el fin de describir cada una de sus partes.

Descripción de la planta mini hidroeléctrica

•**Flotadores:** Mantienen en equilibrio a toda la estructura en general

•**Ejes esquineros:** Permiten modificar y graduar la altura de la turbina.

•**Base:** Su función principal es soportar al generador, inversor y regulador.

Las dimisiones son 68 cm de largo por 52 cm de ancho con un espesor de 3 mm.

•**Generador:** Genera corriente y voltaje.

•**Inversor:** Convierte la corriente directa a corriente alterna.

•**Regulador:** Carga las baterías y realiza su desconexión automática cuando ya estén cargadas**.**

•**Ejes de elevación:** Permiten el ensamble de flotadores a la estructura y junto con los ejes esquineros permiten modificar la altura de la turbina.

•**Baterías:** Almacenan la energía producida por el generador.

•**Ejes de soporte:** Permiten ensamblar los flotadores generando un equilibrio a todo el sistema.

•**Turbina:** Aprovecha la energía cinética y la convierte en un movimiento.

•**Piñones:** Convierten y transportan la energía producida por el generador.

•**Soporte de la base:** Permite asegurar la base y aporta estabilidad.

Validación preliminar

Resultados

Teniendo en cuenta el diseño presentado (ver Figura 6), se procedió a realizar unas pruebas con el fin de demostrar el funcionamiento del prototipo desarrollado, se realizaron dos pruebas en uno de los ríos caracterizados al interior del centro de formación y se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 6. Desarrollo de pruebas de generación y almacenaje de energía en campo real del prototipo de generación de energía de la central mini-hidroeléctrica portable desarrollada por el equipo de CIPLL del SENA regional Nariño.
Fuente: Esta investigación.

Prueba 1

A un caudal de 2,5 m^3/s, con una relación de piñones 1: 2 en la turbina y 1:3 en el generador, se obtuvo la producción de 12 V sin carga (sin conectar batería) y con carga se obtuvo 8 V y una corriente de 2.3 A.

Prueba 2

A un caudal de 2,9 m^3/s, con una relación de piñones 1:2 en la turbina y 1:2 en el generador produjo 8,7 V sin carga y respectivamente con carga 4,9 V y una corriente de 2 A.

Se concluye que la producción de energía depende de las revoluciones del generador. Para las anteriores pruebas, las revoluciones varían según las relaciones, en la primera prueba las revoluciones fueron aproximadamente de 1000 y en la segunda prueba de 600 revoluciones. Para la producción máxima de potencia, el generador debe llegar a 2800 revoluciones (se estima aproximadamente 12 V y 18 A).

Discusión y conclusiones

Se debe acelerar la diversificación energética dentro del centro de formación, ya que la variabilidad y diversidad de fuentes de energías renovables deben ser aprovechadas en sentido tal que toda la comunidad del SENA tenga acceso a tan importante información.

Debido a la situación climática y la dependencia de las fuentes hídricas en el medio de la ubicación del Centro Internacional de Producción limpia Lope, se hace necesaria la realización de grandes esfuerzos para gestionar y afrontar los riesgos que generan no ajustarse a la actual coyuntura mundial relacionada con el cambio climático, buscando adaptarse a ellos, por un lado, y paralelamente estudiar y aprovechar el potencial en otras fuentes renovables y alternativas, de tal modo que asegure su abastecimiento en el futuro.

Colombia, por su estratégica posición en el trópico y en el sistema montañoso de los Andes, tiene un potencial importante en energías, pues se han generado nuevas expectativas que podrían equiparar los progresos en las renovables. Más aún, un nivel de precios bajos del crudo y el gas sostenido en el tiempo puede dar al traste con la industria solar y eólica y frenar los esfuerzos en I&D de las otras fuentes de energía renovables (Unidad de Planeación Minero Energética UPME, 2015). que en su gran mayoría se pueden identificar y aprovechar de manera práctica dentro de las instalaciones del Centro Internacional de Producción limpia Lope, tal como lo son la energía hídrica, la energía eólica, la solar fotovoltaica y biomasa, pero debe crear las condiciones para desarrollarlas en firme, lo cual le permitirá mantenerse como una estrategia de aprendizaje transversal y posicionarse además como desarrolladores de energías limpias y de productos con una huella igualmente baja en carbono.

Es necesaria una política que desde el Estado intervenga en forma integral los territorios donde se desarrollan los macro proyectos de impacto regional y nacional, que son la columna vertebral para la competitividad y la sostenibilidad del país.

Y desde luego, se deben impulsar iniciativas que conduzcan a la reducción de emisiones a través de la eficiencia energética y la transferencia y apropiación de tecnologías más limpias y eficientes, entre otras.

Agradecimientos

El presente trabajo de investigación es el resultado de un arduo trabajo y aporte de ideas, proyectos y esfuerzos previos que corresponden a otras personas. En este caso nuestro más sincero agradecimiento a Gustavo Galvis, Ángela Morillo, Nicolás Rosero, Yuri Díaz y Juan Delgado, aprendices de ambiente pluritecnológico de mecatrónica e investigadores del semillero FORSENAR MECATRÓNICA, con cuyo trabajo estaremos siempre en deuda. Gracias por su amabilidad, su disposición, su interés por el aprendizaje, su tiempo y sus ideas.

Referencias

Arion Data System. (2010). *PLM, Gestión del Ciclo de Vida del Producto.* Barcelona: ArionData.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. (2011).Dirección de Regulación, Planeación, Estandarización y Normalización DIRPEN. *Caracterización temática de servicios públicos domiciliarios.* Bogotá D.C.

Fundación Solar. (2013). *Medición del potencial hidrológico para generación de energía renovable, la experiencia de la fundación solar en Guatemala.* Ciudad de Guatemala: PURE.

InnoSutra. (2008). *InnoSupportTransfer – Apoyo a la Innovación en las PYMES . Estrategias de Producción Innovadoras.*

Ministerio de Minas y energía (Unidad de Planeación Minero Energética *UPME)*. (2004). *Costos indicativos de referencia de proyectos de generación. Plan de expansión de referencia 2003 - 2012.*

Torres Quintero, E. (2014). Investigación en pequeñas centrales en Colombia. *Revista Ingenio Libre*, 121.