

Desarrollo del prototipo de un hidrogenerador eléctrico como alternativa de generación de energía limpia en zonas rurales

Development of the prototype of an electric hydro generator as an alternative for generating clean energy in rural areas

Javier Andrés Vargas*
Fabián Velásquez Clavijo**
Camilo Torres Gómez***

RESUMEN

El artículo sintetiza los resultados de la investigación titulada "Diseño e implementación del prototipo de un hidrogenerador eléctrico", realizada en el grupo de investigación Macrypt de la Facultad de Ingenierías de la Universidad de los Llanos. El objetivo del proyecto consistió en diseñar e implementar un generador eléctrico a partir de la energía suministrada por una fuente hídrica. La metodología utilizada fue la de un proyecto factible y experimental. La potencia eléctrica generada por el prototipo fue equivalente a un kilovatio de potencia eléctrica y tensión de salida de 12 voltios, con una eficiencia del 95%. El prototipo fue puesto en funcionamiento en un cuerpo de agua cercano al municipio de Villavicencio (Meta), en la Vereda La Argentina con coordenadas geográficas: en latitud $4^{\circ} 12'6.82''$ N y longitud $73^{\circ}38'24.51''$ O a 546 m sobre el nivel del mar.

Palabras clave: Generador eléctrico, hidrogenerador, energía alternativa, energía limpia.

ABSTRACT

The paper summarizes the results of the research entitled *Design and implementation of the prototype of an electric hydro generator*, carried out in the research group Macrypt of the Faculty of Engineering of the Universidad de los Llanos. The objective of the project was to design and implement an electric generator from the energy supplied by a water source. The methodology used was that of an feasible and experimental project. The electric power generated by the prototype was equivalent to one kilowatt of electrical power, and an output voltage of 12 volts, with an efficiency of 95%. The prototype was put into operation in a body of water near the municipality of Villavicencio (Meta), in the path of *La Argentina*, with geographical coordinates in latitude $4^{\circ} 12'6.82''$ N and Longitude $73^{\circ} 38'24.51''$ W, at 546 meters above sea level.
Keywords: Electric generator, hydro generator, alternative energy, clean energy.

Como citar este artículo:

J. A. Vargas, F. Velásquez Clavijo, C. Torres Gómez, "Desarrollo del prototipo de un hidrogenerador eléctrico como alternativa de generación de energía limpia en zonas rurales". *Ingeniare*, N.º. 20, pp. 91-101, 2016.

* Doctorante en Ciencias de la Educación, Universidad Metropolitana de Educación Ciencia y Tecnología, MSc en Administración Educativa, Universidad Metropolitana de Educación Ciencia y Tecnología, Esp. En Pedagogía y Docencia Universitaria, Universidad La gran Colombia, Ing. Electrónico Universidad de los Llanos, Profesor Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería Universidad de los Llanos, Adscrito al Grupo de Investigación Macrypt. Correo electrónico: Javier.andres.vargas@unillanos.edu.co

** Universidad de los Llanos, Profesor Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería Universidad de los Llanos, Adscrito al Grupo de Investigación Macrypt. Correo electrónico: fvelasquez@unillanos.edu.co

*** Doctorante en Ciencias de la Educación, Universidad Metropolitana de Educación Ciencia y Tecnología, MSc en Administración Educativa, Universidad Metropolitana de Educación Ciencia y Tecnología, Ingeniero Mecánico, Universidad Nacional Profesor Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería Universidad de los Llanos, Adscrito al Grupo de Investigación Macrypt. Correo electrónico: camilo.torres@unillanos.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica de manera limpia o alternativa posibilita el desarrollo económico y sostenible de las ciudades, tanto en las zonas urbanas como rurales. Bajo este fundamento, algunas zonas rurales tienen la ventaja de contar con recursos hídricos abundantes que permiten el desarrollo de esta tecnología; es el caso de la vereda La Argentina, localizada en las coordenadas geográficas en latitud $4^{\circ} 12'6.82''$ N y longitud $73^{\circ}38'24.51''$ O, a 546 m s. n. m. sobre el nivel del mar, ubicada en la ciudad de Villavicencio, departamento del Meta (Colombia). El proyecto de generación de energías limpia permitió la implementación de un prototipo útil para la generación de energía eléctrica sin impactar el medioambiente y la prueba piloto fue realizada en un afluente de agua en la vereda.

El prototipo implementado se denominó *hidrogenerador eléctrico*, pues genera energía eléctrica mediante el uso de una turbina hidráulica de baja potencia. Esta tecnología permite el aprovechamiento de pequeñas fuentes de agua como ríos de bajo caudal; así mismo, constituye una construcción de bajo costo para la electrificación de zonas alejadas de la red de energía de la empresa suministradora de servicio eléctrico local.

El hidrogenerador eléctrico posee varias ventajas, a diferencia de las hidroeléctricas de gran tamaño dado que no requiere represas o embalses, de forma que el impacto ambiental es mínimo. La turbina puede ser fabricada con materiales comerciales y de bajo costo, y el suministro de agua puede ser de bajo caudal.

La construcción del prototipo se realizó utilizando materiales plásticos como el policloruro de vinilo (PVC). El prototipo permite aprovechar la energía potencial de las corrientes de agua, permitiendo el giro de una turbina acoplada al eje de un alternador de imanes permanentes como generador eléctrico, cubierto por un bastidor plástico con capacidad de almacenar 5 galones.

En la salida de generación eléctrica se instaló un regulador de voltaje, una batería de 12 voltios a 30 amperios, y un inversor de voltaje de 1 kilovatio. La batería permite el almacenamiento de la energía generada, el regulador controla el voltaje e impide la sobrecarga de la batería, y el inversor transforma los 12 voltios de corriente directa en 110 voltios de corriente alterna.

Los resultados obtenidos en las pruebas piloto fueron de un (1) kilovatio de potencia eléctrica con una tensión de 110 voltios de corriente alterna, con una disponibilidad de 24 horas diarias, y una eficiencia del 95%.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

A continuación se presentan algunos antecedentes que permitieron fundamentar el objeto de estudio de este proyecto.

En el año 2012, [1] presentaron una metodología para la construcción de un micro generador hidráulico de 5 kW utilizando una turbina Pelton; modelaron los componentes mediante sistemas CAD y realizaron el proceso de fundición de la turbina, logrando alta eficiencia en las máquinas optimizando las aperturas de los inyectores, la potencia generada y la velocidad de la turbina.

En 2013, [2] presentaron el diseño y construcción de una microturbina hidráulica para zonas de baja densidad poblacional, el resultado fue la realización de una máquina de bajo costo con óptima eficiencia y duración. Los requerimientos de diseño fueron 1 kw de potencia eléctrica, velocidad de giro a 2000 rpm, altura efectiva de 3 metros, eficiencia del 80% y un caudal mínimo de 150 m³/h.

En 2014, [3] presentaron el rendimiento hidráulico de las turbinas Pelton frente al flujo inestable de los cubos giratorios en el tiempo y el espacio. El estudio realizado fue desde la perspectiva numérica y experimental en cinco diferentes condiciones de operación; las simulaciones numéricas las realizaron con el modelo de turbulencia SST. Con los resultados obtenidos determinaron la eficiencia relativa entre el valor real en campo y el valor calculado en la simulación, aclarando el comportamiento de los mecanismos hidráulicos con flujo laminar.

En 2015, presentaron la estructura del sistema de diseño de un generador hidráulico basada en el conocimiento de detalle, logrando construir una base de conocimiento unificado en la que cada experto aportaba el conocimiento tácito basado en su experiencia; esto permitió que los diseñadores tomaran decisiones apropiadas utilizando un sistema de información y ejemplifican el caso de la selección de un tipo de turbina hidráulica ilustrando el proceso de operación y demostrando su validación. [5] realizaron la simulación de la computación de la dinámica de fluidos en turbina hidráulica; el error de truncamiento obtenido de la simulación con respecto al valor real fue de 1.12% y para esto instalaron 15 tipos de generadores en vórtice, en la sección de desarrollo del vórtice del tubo de aspiración. La simulación fue realizada utilizando el método basado en eficiencia de las turbinas, comprobando que los sistemas de aspiración pueden mejorar su desempeño.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El tipo de investigación para el desarrollo del proyecto fue de enfoque cuantitativo experimental, siguiendo las fases que se mencionan a continuación.

Fase 1. Implementación de la turbina adaptable para generador eléctrico.

Fase 2. Implementación de inyectores de agua.

Fase 3. Estructura para soporte de máquinas eléctricas y turbina.

La Figura 1 presenta el diagrama de bloques del prototipo implementado, desarrollado en sistemas de entrada de agua, inyectores de agua, turbina hidráulica tipo Pelton, generador eléctrico e inversión y regulación de voltaje.

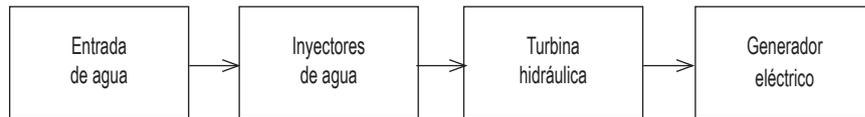


Figura 1. Diagrama de bloques del prototipo

Fuente: Elaboración de los autores

El bastidor diseñado cuenta con cuatro entradas de agua, las cuales son captadas por un tubo en la tapa central, los inyectores de agua se encuentran conectados con la tobera de entrada de agua, estos conducen el agua hasta la turbina. La turbina hidráulica es tipo Pelton con 11 alabes, acoplada al generador encargado de suministrar la energía eléctrica.

En la fase uno se implementó la turbina tipo Pelton con acople al generador eléctrico, la cual se fabricó en una lámina galvanizada de 25 cm de radio. Para la construcción de los alabes se utilizó material en policloruro de vinilo (PVC), el cual le da resistencia a la fatiga, la erosión y la corrosión [6]. La Figura 2 muestra el rodete y los alabes de la turbina implementada. La turbina cuenta con once alabes calculados como se muestra en la ecuación 1, los cuales se sujetan al disco mediante pernos y tornillo-tuerca. Se seleccionó la turbina Pelton por su característica de aprovechar la energía cinética del fluido, debido a que el grado de reacción es cero por no haber gradiente de presión entre la entrada y salida [7].

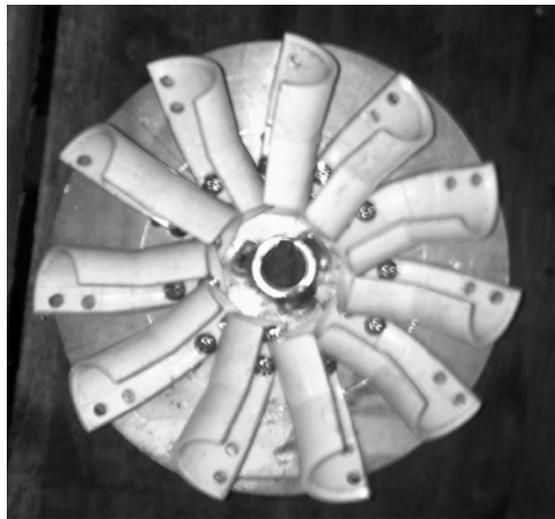


Figura 2. Turbina pelton implementada

Fuente: Elaboración de los autores

$$z = \frac{\pi D_p}{1.6 \cdot d_0} \quad (1)$$

Z : Número de alabes.

d_0 : Diámetro del chorro.

D_p : Diámetro de la rueda Pelton medida al punto central de la incidencia del chorro.

El número de alabes calculado fue de 11.7; no obstante se aproximó a 11 alabes para la implementación. El diámetro D_p y d_0 utilizados fueron de 300 mm y 50 mm respectivamente.

Para determinar la potencia de la turbina se utilizaron las condiciones del terreno de instalación, con un caudal de $4\text{m}^3/\text{s}$ y una carga neta de 28 m. La potencia calculada de la turbina fue de mil trescientos cuarenta y cuatro caballos de vapor (1.344 CV), equivalente a un kilovatio (1kw), utilizando la ecuación 2.

$$P = \frac{n\gamma QH}{75} \quad (2)$$

P: Potencia en caballos de vapor.

n: Eficiencia de la turbina.

Q : Caudal.

H: Carga neta.

En la fase 2, denominada *implementación de inyectoros de agua*, para determinar la cantidad a emplear, se seleccionaron cuatro. Estos se construyeron con 4 tubos de PVC de 50 cm de largo y 2 pulgadas de diámetro; para el ajuste del chorro de agua sobre la rueda se utilizaron codos de 45° de inclinación, con un diámetro de 2 pulgadas unidos a los tubos de entrada. La Figura 3 presenta la vista superior de los inyectoros.



Figura 3. Conductores del fluido

Fuente: Elaboración de los autores

En la fase 3, denominada *estructura para soporte de máquinas eléctrica y turbina*, se utilizó un bastidor de 19 litros de volumen de material plástico, por permitir resistencia a la corrosión y a la erosión. Se realizaron 4 perforaciones en la parte inferior del bastidor para facilitar la circulación de agua a la fuente hídrica; como se muestra en la Figura 4, el bastidor utilizado y las perforaciones realizadas.



Figura 4. Tanque acumulador

Fuente: Elaboración de los autores

En la parte inferior del bastidor se instaló el generador eléctrico y como mecanismo hermético se utilizó una lámina galvanizada, una lámina plástica, y sellos que aislaran el sistema eléctrico del sistema hidráulico. La Figura 5 presenta el acople del generador a la tapa de aislación y el soporte para la ubicación en el bastidor.

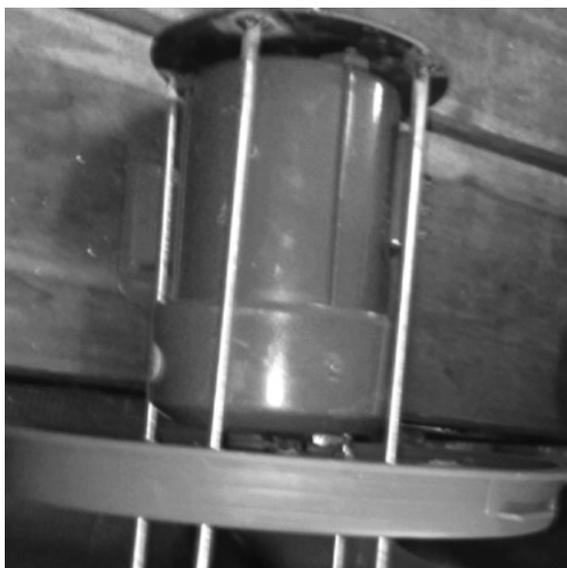


Figura 5. Generador eléctrico

Fuente: Elaboración de los autores

En la Figura 6 se presenta la tapa hermética instalada en el bastidor. Las perforaciones en la lámina permitieron el paso de los inyectores, los cuales permiten la propulsión de la turbina Pelton instalada en la parte inferior del bastidor.



Figura 6. Interfaz mecánica

Fuente: Elaboración de los autores

Instalada la turbina y la tapa hermética, se acopló la tapa principal y los inyectores con el bastidor para sellar el prototipo, dejándolo en una sola unidad. Esta instalación se presenta en la Figura 7.

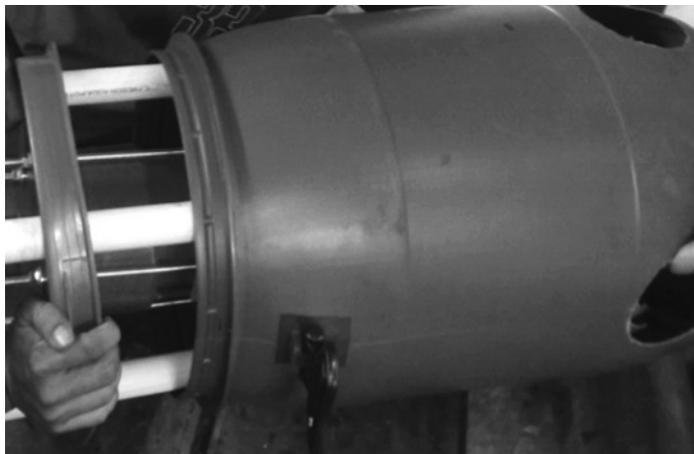


Figura 7. Interfaz mecánica

Fuente: Elaboración de los autores

Finalmente, se realiza la adecuación del sistema de entrada que permite el transporte de agua de la bocatoma al prototipo; para esto se utilizó tubería plástica de 2 pulgadas de diámetro. El prototipo final desarrollado se presenta en la Figura 8.



Figura 8. Prototipo implementado

Fuente: Elaboración de los autores

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La potencia eléctrica generada por el prototipo fue equivalente a un (1) kilovatio, aproximadamente 0,9 caballos de fuerza, con una tensión de salida de 12 voltios. Esto permitió transmitir la corriente eléctrica para ser almacenada en una batería, la cual suministra la energía para las iluminarias o equipo eléctricos conectados a la red.

En la Figura 9 se observa el comportamiento del voltaje suministrado, el cual se puede considerar estable con un exactitud del 99% (2), con respecto al valor deseado de 12.0 voltios [8].

$$Exactitud = \sum \frac{X_i}{N \cdot V_r} \quad (3)$$

X_i = Voltaje de muestra.

N = Número total de muestra.

V_r = Voltaje deseado o real.

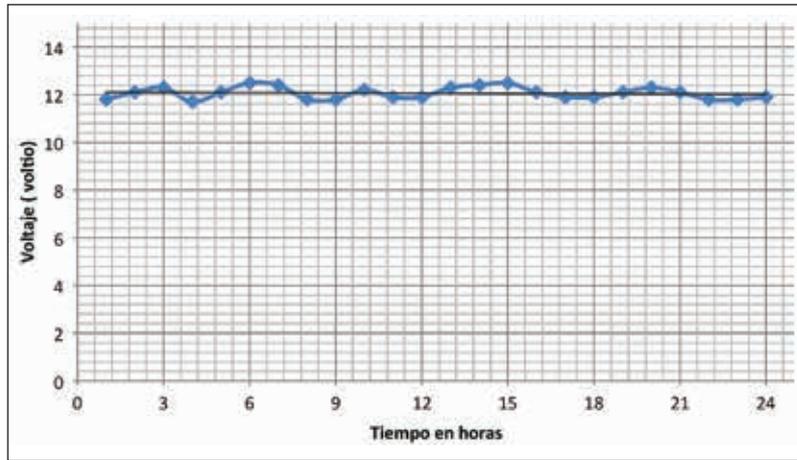


Figura 9. Voltaje de salida del generador

Fuente: Elaboración de los autores

En la Figura 10 se observa el comportamiento del prototipo ante un consumo de potencia demandada, donde se monitorea por cada hora de trabajo entregando como potencia media de 961 vatios de potencia, la cual se puede aproximar a un equipo capaz de abastecer un consumo de 1.000 vatios por hora con una fidelidad del 98%.

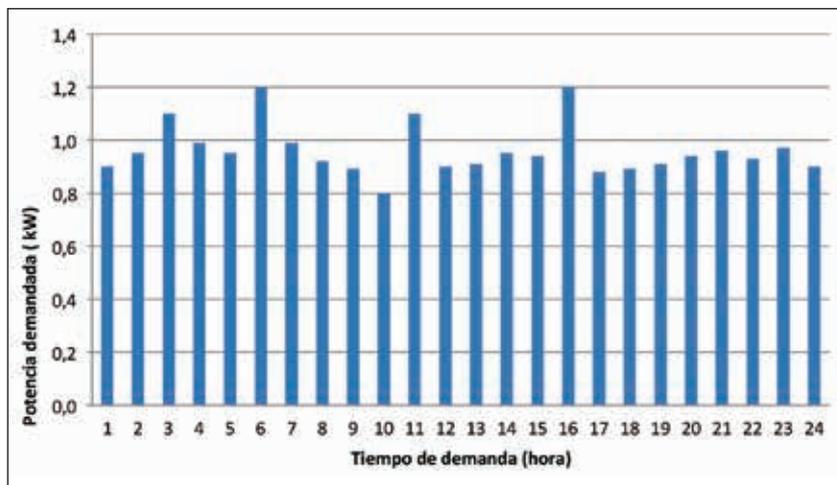


Figura 10. Relación potencia referente al tiempo

Fuente: Elaboración de los autores

Los parámetros obtenidos son equivalentes comparados a otras investigaciones en el *área*, en las que relacionan la potencia eléctrica alrededor de 1 kW para micro turbinas o generadores de baja potencia. Diferentes estudios clasifican a los sistemas de generación de 0,5 a 5 kW como picocentrales hidroeléctricas, por lo cual el prototipo fabricado aplica dentro de esta clasificación. Un estudio denominado

Etapas de desarrollo de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas: contexto y criterios básicos de implementación presenta la clasificación y normativa del proceso [9].

Comparando la energía suministrada por el sistema desarrollado frente a sistemas un poco más conocidos, como los sistemas solares fotovoltaicos, el prototipo presenta características similares en lo relacionado a la generación eléctrica, niveles de tensión y potencia eléctrica, lo que permite su aplicación en sistemas eléctricos de baja demanda.

La potencia obtenida por el prototipo permite su usabilidad eléctrica y se encuentra dentro de los parámetros eléctricos de otros generados de baja potencia, como es el caso del proyecto denominado *Diseño de un sistema de generación a partir de una picocentral hidroeléctrica*, ; los autores de este estudio presentan la caracterización de una central hidroeléctrica de baja potencia, en la que evaluaron el comportamiento de la potencia eléctrica alcanzada, ndo 300 vatios de potencia [10].

El estudio de cargas eléctricas presenta un alto índice de estabilidad, cerca del 95%, lo que señala que el prototipo es confiable, su relación de generación no sobrepasó niveles de tensión por encima del 10% del valor nominal.

5. CONCLUSIONES

El diseño, construcción y puesta en funcionamiento del prototipo de hidrogenerador sobre el río Guatiquía, en cercanías a la vereda La Argentina, permitió transformar la energía cinética de esta fuente hídrica en energía mecánica y generó energía eléctrica con resultados satisfactorios de 12 voltios a 1 kW de potencia eléctrica.

En el estudio de los requerimientos para la solución experimental se identificaron los diferentes tipos de energía que intervinieron en el prototipo: energía cinética (agua en movimiento), energía mecánica (movimiento de la turbina Pelton) y, por último, la energía eléctrica obtenida por medio del generador.

En el diseño y construcción del prototipo del hidrogenerador, se desarrolló una turbina de eje vertical, lo que permitió un comportamiento eficiente y satisfactorio debido a la fuerza que se experimentó por las corrientes de agua del río Guatiquía. Se obtuvo una potencia de 1.344 caballos de vapor, aproximadamente 1 kilovatio de potencia eléctrica.

REFERENCIAS

- [1] S. Agudelo, E. Chica, F. Obando, N. Sierra, and L. Velasquez, "Diseño , simulación , fabricación y caracterización de una turbina tipo Pelton de 5 kW Design , simulation , construction and characterization of a 5 kW hydraulic Pelton turbine," *Ing. y Compet.*, vol. 193, No. 1, pp. 183-193, 2013.
- [2] N. Cotella, P. Varela, R. Villaraga, and R. Kohl, "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MICROTURBINA HIDRAULICA DE 1 KW," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, No. 9, pp. 1689-1699, 2013.
- [3] Y. Xiao, Z. Wang, J. Zhang, C. Zeng, and Z. Yan, "Numerical and experimental analysis of the hydraulic performance of a prototype Pelton turbine," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part A J. Power Energy*, vol. 228, No. 1, pp. 46-55, 2014.
- [4] H. Z. Yang, J. F. Chen, N. Ma, and D. Y. Wang, "Implementation of knowledge-based engineering methodology in ship structural design," *CAD Comput. Aided Des.*, vol. 44, n° 3, 2012, pp. 196-202.
- [5] X. Tian, H. Pan, S. Hong, and Y. Zheng, "Improvement of hydro-turbine draft tube efficiency using vortex generator," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 7, No. 7, pp. 1-8, 2015.
- [6] C. M. PLANA, *Turbomáquinas hidráulicas*, 2nd ed. Universidad Pontificia Comillas, 2009.
- [7] A. R. Marchegiani (2004). Turbinas pelton [En línea]. Disponible en: http://kimerius.com/app/download/5780662706/turbinas_pelton.pdf
- [8] A. Ruiz, J. Garcia, and J. Mesa, "Error, Incertidumbre, Precisión Y Exactitud, Términos Asociados a La Calidad Espacial Del Dato Geográfico," *I Congr. Int. Catastro Unificado y Multipropósito*, pp. 1-8, 2010.
- [9] S. Morales, L. Corredor, J. Paba y L. Pacheco, "Etapas de desarrollo de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas: Contexto y criterios básicos de implementacion," *Rev. DYNA*, vol. 81, n° 184, pp. 178-185, 2014.
- [10] J. Guarín y J. Florez, "Diseño de un sistema de generación a partir de una picocentral hidroeléctrica," Tesis Tec. Mec., Esc. Tecno. Mec., Univ. Tecno. Pereira, 2015.