

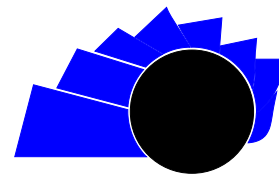


UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Visión Electrónica

Más que un estado sólido

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



VISIÓN ELECTRÓNICA

VISIÓN INVESTIGADORA

Prototipo mecánico para la transformación de energía hidráulica en energía eléctrica

Prototype for mechanical energy transformation in electricity hydraulic

Javier Vargas¹, Jeison Arango², Manuel Salazar³, Héctor Torres⁴, Liliana Herrera⁵

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Enviado: 02/01/2016

Recibido: 13/01/2016

Aceptado: 08/04/2016

Palabras clave:

Hidráulica
Hidroeléctrica
Mecánica hidráulica
Energía eléctrica
Convertidor de energía
Energías alternativas.



Keywords:

Hydraulics
Hydro
Hydro mechanical
Electric power
Energy converter
Alternative energy

RESUMEN

El artículo presenta los resultados de un proyecto realizado en la facultad de ingenierías de la universidad cooperativa de Colombia sede Villavicencio en el semillero de investigación Energy-Renovaveis-GIPIS, titulada “Diseño, construcción y puesta en funcionamiento de un prototipo mecánico “Brio xy” que transforma la energía hidráulica en energía eléctrica”. El trabajo tiene la finalidad de crear una solución para la generación de energía, por medio de un prototipo mecánico que aproveche la energía de una fuente hídrica transformándola en energía eléctrica, el prototipo implementado se le denominó Brio XY es un equipo experimental impulsado por la corriente del agua, esta energía se conduce a un sistema de engranajes que la torna en un movimiento rotacional, que conectado a un alternador la convierte en energía eléctrica. El prototipo implementado genera una potencia eléctrica de 1KW / 13 VDC.

ABSTRACT

The article presents the results of a project in the faculty of engineering of the Cooperative University of Colombia in Villavicencio in the hotbed of Energy-Renovaveis-GIPIS research, entitled “Design, construction and operation of a mechanical prototype “Brio xy”; that transforms hydraulic energy into electrical energy. The work aims to create a solution for power generation by means of a mechanical prototype that leverages the power of a water source transforming it into electrical energy, the implemented prototype was called XY Brio is an experimental computer-driven current water, this energy leads to a gear system that becomes a rotational movement, connected to an alternator that converts electrical energy. The implemented prototype generates an electric power of 1KW /13 VDC.

¹Ingeniero electrónico, Universidad de los Llanos; especialización en Mecatrónica Industrial, Universidad Central; especialización en Pedagogía y Docencia Universitaria, Universidad La Gran Colombia; Msc. Administración y Planificación educativa, Universidad Metropolitana de educación ciencia y tecnología; Doctor (c) en ciencias de la Educación, Universidad Metropolitana de educación ciencia y tecnología; profesor Investigador Grupo GIPIS, Universidad Cooperativa de Colombia, Sede Villavicencio. Correo electrónico: javier.vargas@campusucc.edu.co

²Ingeniero Electrónico, Universidad de los Llanos; , Colombia. Eespecialización en Administración de la Informática educativa, Universidad de Santander; , Colombia. Candidato a Magister (c) en Tecnología educativa, Universidad de Santander. Correo electrónico: jeison.arango@campusucc.edu.co

³Ingeniero Civil, Universidad Cooperativa de Colombia; , Colombia. Cconsultor de obras civiles. Correo electrónico: m.salazar@campusucc.edu.co

⁴Ingeniero Civil, Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia. C; consultor de obras civiles. Correo electrónico: h.torres@campusucc.edu.co

⁵Ingeniera Civil, Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia. C; consultor de obras civiles. Correo electrónico: l.herrera@campusucc.edu.co

Citar este artículo como: J. Vargas, J. Arango, M. Salazar, H. Torres, L. Herrera “Prototipo mecánico para la transformación de energía hidráulica en energía eléctrica”. *Visión Electrónica*, algo más que un estado sólido, Vol. 10, No. 1, 1-, enero-junio 2016.

1. Introducción

En Colombia, la fuente hidroeléctrica representa el 65 % de la energía eléctrica que se genera, esta práctica puede afectar el equilibrio natural del medio debido a la construcción de presas generando un impacto negativo, pues se realiza una modificación al ecosistema y habitad de las comunidades; a su vez, la cobertura que ofrece la empresa de distribución eléctrica del departamento del Meta y la región de la Orinoquia (Colombia), no cubre la población que requiere este servicio, en particular, las zonas rurales se encuentran sin el suministro de energía eléctrica y esto ocasiona subdesarrollo en dichas zonas del departamento.

Desde esta perspectiva, la zona rural del municipio de Villavicencio está dividida políticamente en 55 veredas, las cuales están agrupadas en siete corregimientos; la jurisdicción de estos fue definida mediante el Acuerdo N° 033 de noviembre 26 de 1997.

En la presente investigación, la zona rural de estudio agrupa las veredas en cuatro zonas de acuerdo a su ubicación geográfica por cuencas, teniendo en cuenta la similitud de sus características físicas. Particularmente, la vereda La Argentina se encuentra en la primera zona, que está ubicada hacia la parte noroccidental del municipio de Villavicencio por la vía que conduce al municipio de Restrepo tomando las márgenes izquierda y derecha del río Guatiquía, zona de influencia de la microcuenca alta de dicho río.

Por lo expuesto, la generación de energías verdes o alternativas que suministran energía eléctrica podría posibilitar el desarrollo económico y sostenible de las ciudades, tanto en las zonas urbanas como rurales descritas; bajo este fundamento, las zonas rurales tendrían la ventaja de contar con recursos hídricos abundantes que permitirían el desarrollo de tecnología. En el caso de La Argentina, en el municipio de Villavicencio, puede focalizarse un polo de desarrollo sostenible para los habitantes de ese sector rural del departamento, por lo que se justifica una investigación que plantee la posibilidad de generación de energía eléctrica a través de un prototipo como forma de reducir el impacto al medio ambiente [1].

2. Estado de arte

La revisión de antecedentes de esta investigación se presenta bajo los estudios de energías alternativas en la región y otras experiencias a nivel continental, algunas

de las realizaciones que aportaron significativamente al desarrollo de este caso son las siguientes:

Beltrán, Troyo, Ortega y González, en 2006, presentaron un mecanismo de transformación de la energía del aire en energía eléctrica para el aprovechamiento de dicho potencial en algunos estados con zonas rurales de México, considerando aspectos sociales y económicos, analizando los resultados y dando como conclusión que el fortalecimiento necesario en desarrollo tecnológico requería de una legislación que fomentase la producción de la energía eólica y una normatividad que protegiera al medio ambiente. [1].

Hacia 2008, Polo, Rodríguez y Sarmiento, estudiaron el potencial de generación de energía a lo largo de la costa colombiana mediante el uso de corrientes inducidas por mareas; los autores describen cómo se realizó el aprovechamiento de las mareas en una extensión aproximada de 3100 Km (de la costa colombiana), utilizando un software de sistemas de información geográfica para digitalizar la línea costera y poder obtener información sobre los puntos de interés. [2].

Más tarde, hacia 2013, Tafur y Pizza, publicaron un estudio y evaluación para el aprovechamiento de energías limpias en el departamento de Bolívar, Colombia, en el cual explican las razones por las cuales se debe de conformar un parque de energías limpias en el corregimiento de Galerazamba; esta propuesta fue realizada gracias a un estudio previo hecho entre el 2008 y 2009, donde se concluyó que esta es la tercera zona del país que presentó la mayor velocidad del viento de las 45 zonas evaluadas, dando pie a la investigación que arrojó resultados favorables en la producción energética eléctrica y recuperación de la inversión inicial. [3].

Posteriormente, Mejía, en 2014, realizó una investigación sobre el mejoramiento de un modelo de aerogenerador de baja potencia y alto rendimiento, para un óptimo aprovechamiento mecánico en la transformación eléctrica disponible en la península de Santa Elena, Ecuador, con el fin mejorar el rendimiento energético en el laboratorio de fitoplancton del Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas (CENAIM) sin tener acceso a la red pública de suministro eléctrico [4].

Cabe mencionar que Millán, en 2010, realizó la evaluación del impacto de la penetración de energías alternativas en el sistema interconectado nacional de Colombia; realizó un análisis eléctrico y energético donde pudo determinar diferentes entornos de alta penetración

de energía limpia en el país. Además, buscó la viabilidad de este tipo de proyectos para suministro energético del país y vecinos [5].

También, por el año 2012, Maya, Hernández y Gallego realizaron la valoración de proyectos que utilizan un tipo de energía limpia en Colombia; el enfoque es financiero y realista encaminado hacia la implementación de un proyecto de obtención de energía eléctrica, evaluando diferentes flujos de caja descontados para, seguidamente, aplicar esto a las opciones reales teniendo en cuenta sus valores extendidos y, por último, tener opciones de expansión, lo que los hace viables financieramente [6].

Por otro lado, Belmonte, Viramonte, Nuñez y Franco realizaron la estimación del potencial hidráulico para la generación de energía eléctrica por microturbinas mediante herramientas SIG en el Valle de Lerma (Saltana, Argentina); los autores utilizaron los Sistemas de Información Geográfica como un modelo para el desarrollo del mapeo del potencial hidroeléctrico, en este se pueden representar el factor de infiltración, volumen de entrada de agua, modelo digital de elevación, derrame anual, caudal medio y desnivel topográfico. El estudio permitió detectar altos niveles de potencial hidráulico para aprovecharlo por medio de microturbinas [7].

Localmente, vale decir que el estudio “El mercado de la energía eléctrica en Colombia: características, evolución e impacto sobre otros sectores” realizado por Mauricio Santa María, Nils-Henrik Von Der Fehr, Jaime Millán, Juan Benavides, Orlando Gracia y Erika Schutt, trabajadores de la empresa Fedesarrollo, abordó las estrategias de mercado y mercadeo que se pueden tomar en el sector energético colombiano, analizando los resultados obtenidos en años anteriores para el mejoramiento de la industria y el comercio, dando como consecuencia beneficios para todos los consumidores [8].

En la anterior perspectiva, la empresa ISAGEN ha venido desarrollando en Colombia proyectos de generación, producción y comercialización de energía eléctrica por medio de siete centrales de generación, de las cuales seis son hidroeléctricas y la otra es termoeléctrica.

En primer lugar, el Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso está ubicado en el departamento de Santander, en el cañón donde el río Sogamoso cruza la serranía de La Paz, mediante la construcción de una presa de 190 m de altura y tres casas de máquinas subterráneas, cada una con una unidad de generación y tendrá una capacidad instalada de 820 MW y una generación media anual de 5.056 GWh [9].

En segundo lugar, la Central Hidroeléctrica Miel I está localizada en el municipio de Norcasia (departamento de Caldas), tiene una capacidad instalada de 396 MW en tres unidades y puede suplir anualmente 308 GWh; para conectarlo al Sistema de Transmisión Nacional (STN), la energía se evacúa hacia una de las subestaciones a 230 kV. Esta central está conformada por los ríos Guarinó, La Miel, Moro, Manso, Samaná Sur y afluentes menores como los ríos Pensilvania y Tenerife [10].

En tanto, la Central Hidroeléctrica Jaguas inició el proceso de operación en 1998 (con dos unidades de 85 MW cada una) en el departamento de Antioquia, sobre los ríos Nare y Guatapé (jurisdicción de los municipios de San Rafael, San Roque, Alejandría, Concepción y Santo Domingo). Tiene una capacidad de 170 MW, los cuales son enviados por una subestación a 230 kV por medio del STN, el depósito en la presa Santa Rita tiene una capacidad de 185, 5 Mm³ [11].

La Central Hidroeléctrica Río Amoyá, La Esperanza tiene una capacidad instalada de 80 MW en dos unidades de generación y puede generar 215 GWh/año y un promedio de 510 GWh/año. Se aprovecha las aguas de los ríos Amoyá y Davis por medio de un sistema de captación a filo de agua y cumple los requisitos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), lo que les afirma a las autoridades nacionales e internacionales su contribución al medio ambiente. Está ubicada al sur del departamento del Tolima y aprovecha un caudal de 18,4 m³/s [12].

La Central Hidroeléctrica Calderas fue construida en entre 1982 y 1986 en el departamento de Antioquia (municipios Santuario, Granada y San Carlos), aprovechando las aguas de los ríos Calderas y Tafetanes, los cuales tienen un caudal promedio de 6,7 m³/s con capacidad instalada de 26 MW que son enviados al sistema interconectado nacional por medio de la subestación Caldera a 115 kV [13].

Finalmente, la Central Hidroeléctrica San Carlos es la central con mayor capacidad instalada del país con 1240 MW y tiene la capacidad de distribuir a ocho unidades cada una de 155 MW que es llevada al STN y luego a los centros de consumo del sistema interconectado por medio de una subestación a 230 KV. Está fundada en el departamento de Antioquia, en el municipio de San Carlos, sobre el río Guatapé con un embalse de 3,4 km² y capacidad de 72 Mm³ [14].

Basados en los referentes mencionados anteriormente, evidenciamos el interés de los investigadores por aportar al conocimiento en el área de las energías alternativas; no

obstante, para trabajos basados en sistemas mecánicos tipo palanca o remo para conversión de energía hidráulica en energía eléctrica no se encuentran evidencias de desarrollos.

3. Marco de referencia

Las energías alternativas han sido la solución para salir de las crisis económicas mundiales causadas por el alza del petróleo y carbón como recursos naturales finitos; por tal razón, se vio la necesidad de generar nuevos caminos al desarrollo sostenible para colaborar en aspectos económicos, sociales y ambientales, dando así un crecimiento estable y duradero [15].

Se clasifican energías renovables con el propósito de buscar nuevos tipos de energías que sean sustentables y que contrasten con la estimación actual de recursos energéticos limitados; se denomina a la energía renovable como aquella que en un periodo determinado natural, vuelve a estar disponible en una cantidad similar a la que se ha gastado, esto depende de la cantidad de energía que se consuma por unidad de tiempo [16].

Estas alternativas están basadas en el aprovechamiento de recursos que entrega la naturaleza como lo es la luz solar, el agua, el viento, la materia orgánica, entre otras fuentes de energía, las cuales, con el debido tratamiento en cada una, tienen el mismo resultado que el tratamiento del petróleo y el carbón.

La energía hidráulica está influenciada por la energía solar, ya que es evaporada por el sol para convertirse en nubes y seguidamente se precipita en forma de agua, nieve, etc., para caer en la tierra nuevamente; cuando cae el agua tiene una energía potencial al estar a cierta distancia, pero es disipada al regresar a lagos, ríos y océanos, y al presentarse el movimiento en estos tiene una energía cinética, es decir que la cantidad de potencia y energía, está relacionado con la altura, así como con la cantidad de caudal [17].

La EPEC (Empresa Provincial de Energía de Córdoba), publicó un documento donde explica el proceso de obtención de energía eléctrica, este se da por el aprovechamiento de un desnivel que lleva el agua a gran presión a través unas turbinas para realizar un movimiento rotativo en un rotor electromagnético, el cual induce corriente eléctrica la cual puede ser aprovechada y utilizada para los sistemas eléctricos necesarios [18].

Para que todo este procedimiento se ejecute correctamente se deben presentar ciertos elementos que van a constituir a la planta hidroeléctrica como

el embalse donde se almacena el agua, tuberías de conexión encargadas de conducir el agua almacenada hacia las turbinas, la planta transformadora que permite la conversión de la energía cinética en energía eléctrica, etc [19].

Las turbinas eléctricas son las encargadas de convertir la energía cinética del agua a energía mecánica; en la turbina, el agua atraviesa la máquina para ceder energía en el rotor, donde será aprovechada en el eje solidario para obtener la energía mecánica. Las turbinas pueden clasificarse en turbinas de acción y reacción, dentro de esta clasificación se encuentra la turbina Kaplan, Francis y Pelton [20].

Las turbinas Pelton son diseñadas para a altos valores de altura, la tubería forzada tiene que ser diseñada lo suficientemente larga y debe tener el suficiente diámetro para que no se presenten pérdidas excesivas de carga del agua entre el embalse y el distribuidor. Las turbinas Francis son tipo radial, admisión centrípeta y tubo de aspiración, producen el fluido dentro de cámaras cerradas bajo presión; siempre el rendimiento de construcción es el máximo para darle lugar al funcionamiento lento, normal y rápido para diferenciarse unas de las otras en la forma del rodete. Las turbinas Kaplan son de flujo axial y de admisión total, tienen como característica principal un rodete que contiene álabes regulares y su función es controlar el componente tangencial de la velocidad a la entrada del rodete [20].

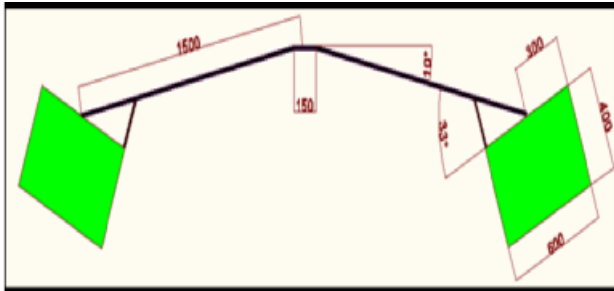
4. Materiales y métodos

La construcción del equipo para la generación de energía eléctrica a partir de la energía cinética del agua se desarrolló bajo una metodología de proyecto factible y experimental, fue necesario realizar un análisis de los parámetros y requerimientos necesarios para suplir la potencia eléctrica de un kilovatio (1 kW) [21].

Para la construcción del prototipo se necesitó de un balancín tipo palanca con longitud de 3 m de envergadura y un apoyo o fulcro a 1,5 m y 10° de inclinación con respecto al engranaje central, para producir un torque suficiente que permita el movimiento del sistema de engranajes.

En la Figura 1 se presenta el diseño geométrico acotado del balancín, este balancín permite transferir la energía hidráulica en energía mecánica, sus medidas se calcularon teniendo presente que la paleta ingresa perpendicularmente al río.

Figura 1: Diseño del balancín



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 2 se observa el diseño anterior puesto en marcha, el cual permitió generar un movimiento pendular sobre las palas del equipo, esto ocurre cuando el agua golpea las palas donde la energía es transmitida por el balancín a un engranaje central que permite la transformación de movimiento pendular en un movimiento rotacional necesario para lograr anclar el eje de los engranajes.

Figura 2: Diseño del balancín



Fuente: elaboración propia.

Para el diseño del equipo se utilizó como guía la ecuación de la Tabla 1 presentada por Sotelo Ávila en su libro *Hidráulica general* y se calcula la fuerza con la que impacta un chorro de agua al aire libre normal a una superficie plana [10].

Tabla 1: Fuerza del Agua sobre Superficie.

Fuerza de impacto del agua en una superficie plana
Definición de variables

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presentan los parámetros necesarios para el diseño, los cuales se describen para

la densidad del agua, el área de la superficie de contacto con el agua, la velocidad que el agua tendrá y la gravedad, obteniendo así la fuerza en newton del sistema.

Para determinar el torque ejercido sobre el eje vertical de la máquina, se desarrolla el producto de la fuerza ejercida por la longitud del eje. En la Tabla 2 se presenta el desarrollo matemático para tal fin.

Tabla 2: Desarrollo matemático

Definición de variables.
T= Torque
F= Fuerza
L= Longitud

Fuente: elaboración propia.

En las siguientes expresiones se presentan los resultados de los torques en cada parte del eje del sistema que comprende el eje central A – C y la caja de engranajes que realiza la multiplicación de velocidad angular necesaria para lograr el requerimiento del alternador acoplado a ella.

• **Obtención de rpm (revoluciones por minuto) en el eje vertical**

Con el equipo en funcionamiento se obtuvieron los siguientes datos: las paletas del balancín en el momento que hacen contacto con el agua hacen un recorrido de 72° y tarda 3 s en hacerlo, de esta forma se deduce que el eje vertical hace 1/5 de revolución cada 3 s y 4 rpm.

Tabla 3: Primera relación de transmisión de velocidad

Primera relación de transmisión en engranajes cónico en el eje vertical
Definición de variables
D_1 = número de dientes del piñón conductor =16 dientes
D_2 = número de dientes del piñón conducido =10 dientes
N_1 = velocidad de giro del piñón conductor = 4rpm
N_2 = velocidad de giro del piñón conducido

Fuente: elaboración propia.

• **Revoluciones del engranaje cónico**

En este punto se tuvo una velocidad de giro en el eje vertical de 4 rpm y se necesitó pasar este movimiento al

eje A, por eso se escogió un sistema de engranajes cónicos con la relación de transmisión de velocidad expuesta en la Tabla 3.

El resultado de la relación de revoluciones de la primera etapa de la caja multiplicadora indica un valor calculado de 6.4 rpm, con una velocidad de entrada de 4 rpm; en este punto no es notorio la elevación de velocidad, no obstante en la Tabla 4 se presenta el resultado de la segunda transformación de velocidad de la caja multiplicadora en la cual se aprecia una elevación de velocidad de mayor consideración equivalente a 15.64 rpm.

Tabla 4: Segunda relación de transmisión de velocidad

Segunda relación de transmisión en mecanismo piñón-cadena
Definición de variables
D_1 = número de dientes del piñón conductor =44 dientes
D_2 = número de dientes del piñón conducido =18 dientes
N_1 = velocidad de giro del piñón conductor =6,4 rpm
N_2 = velocidad de giro del piñón conducido

Fuente: elaboración propia.

La tercera transmisión de relación de la Tabla 5, permitirá alcanzar una velocidad significativa la cual se aproxima al orden de las 24 rpm.

Tabla 5: Tercera relación de transmisión de velocidad

Segunda relación de transmisión en mecanismo piñón-cadena
Definición de variables
D_1 = número de dientes del piñón conductor =28 dientes
D_2 = número de dientes del piñón conducido =18 dientes
N_1 = velocidad de giro del piñón conductor =15,64 rpm
N_2 = velocidad de giro del piñón conducido

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, la quinta relación de transformación alcanza una velocidad de 1164 rpm, suficiente para ser transmitida al generador eléctrico que se encuentra

acoplado al eje de la caja multiplicadora en su quinta relación (Tabla 7).

Tabla 6: Relación de transmisión en caja multiplicadora

Relación de transmisión en caja multiplicadora
Definición de variables
D_1 = número de dientes del piñón conductor =80 dientes
D_2 = número de dientes del piñón conducido =10 dientes
N_1 = velocidad de giro del piñón conductor =24,34 rpm
N_2 = velocidad de giro del piñón conducido

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7: Quinta relación de transformación

Velocidad transmitida al generador eléctrico
Definición de variables
D_1 = número de dientes del piñón conductor =80 dientes
D_2 = número de dientes del piñón conducido =10 dientes
N_1 = velocidad de giro del piñón conductor =24,34 rpm
N_2 = velocidad de giro del piñón conducido

Fuente: elaboración propia.

5. Transformación de energía mecánica a energía eléctrica

El alternador se mueve a 1164 rpm que llegan del prototipo con un torque de 2.15 Nm generando 13.4 V, suficientes para cargar la batería.

6. Resultados

Los resultados obtenidos se enmarcaron dentro de los objetivos del proyecto, el cual se basaba en la construcción de un equipo generador de energía eléctrica mediante la transformación de la energía hidráulica. En la Figura 3 se presenta el equipo terminado y ensamblado.

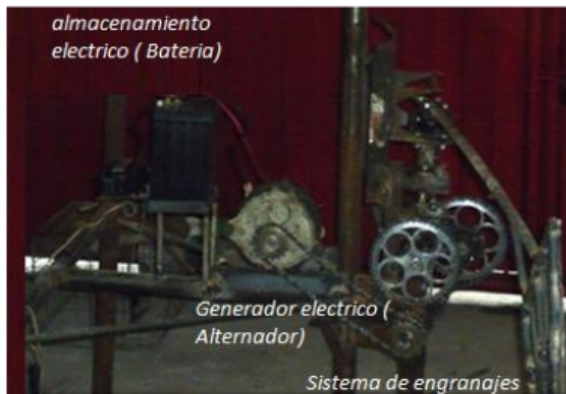
Figura 3: Ensamble del equipo



Fuente: elaboración propia.

La Figura 4 presenta la vista lateral del prototipo, donde se observa la caja multiplicadora de velocidad, el sistema de generación y almacenamiento eléctrico.

Figura 4: Vista lateral del prototipo



Fuente: elaboración propia.

El prototipo es puesto en funcionamiento en un cuerpo de agua cercano al municipio de Villavicencio, Meta, en la vereda La Argentina, a la margen izquierda vía antigua a Restrepo; va desde la fábrica de Bavaria hasta el punto donde se llevaron a cabo las pruebas del prototipo con coordenadas geográficas tomadas de un GPS Marga Garmin, latitud $4^{\circ} 12' 6.82''N$ y longitud $73^{\circ} 38' 24.51''O$ a 546 m sobre el nivel del mar, como se observa en la Figura 5.

Figura 5: Ubicación de prueba del equipo



Fuente: elaboración propia.

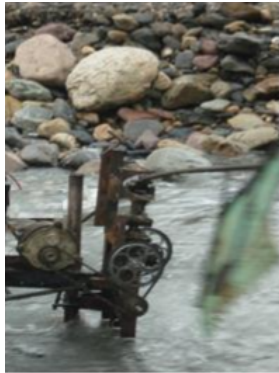
La Figura 6 presenta la instalación y puesta en marcha del prototipo en aguas del río Guatiquia, en la vereda La Argentina: se ubica visualmente el sitio y se comprueba que tenga una profundidad mínima de 50 cm para garantizar el movimiento libre de la paleta totalmente sumergida, se lleva el chasis con los estacones previamente puestos dentro de las camisas, se procede a enterar los estacones hasta que queden cerca de 30 cm por encima de la lámina de agua, se instala el balancín nivelando el equipo en este punto. Se realizaron las pruebas eléctricas entregando una tensión de 110 V y potencia para suministro equivalente a 1 kW.

Figura 6: Puesta en funcionamiento del equipo



Fuente: elaboración propia.

Puesto en funcionamiento se debieron realizar algunos ajustes referentes a la estabilidad del equipo debido a las fuertes corrientes de aguas, finalmente se obtuvo la altura y estabilidad deseada. El ajuste final se presenta en la Figura 7.

Figura 7: Ajuste de funcionamiento del equipo

Fuente: elaboración propia.

La puesta de funcionamiento del equipo requirió solucionar un problema respecto al anclaje en el suelo del río, de tal forma que la fuerza del agua no arrastrara el prototipo.

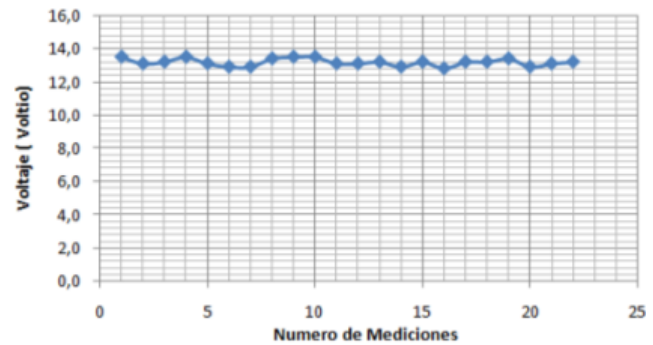
7. Discusión

La potencia eléctrica generada por el equipo fue equivalente a 1 kW, aproximadamente 1.34 caballos de fuerza, con una tensión de salida de 13 V, esto permitió transmitir la corriente eléctrica para ser almacenada en una batería eléctrica, la cual suministra la energía para la iluminarias o equipo eléctricos conectadas a la red.

En la Figura 8 se observa el comportamiento del voltaje suministrado, el cual se puede considerar estable con una exactitud del 98 % con respecto al valor deseado de 13 V.

En la Figura 9 se observa el comportamiento del prototipo ante un consumo de potencia demandada, donde se monitorea por cada hora de trabajo entregando como potencia media 986 W de potencia la cual se puede aproximar a un equipo capaz de abastecer un consumo de 1000 W por hora con una fidelidad del 98 %.

Los parámetros obtenidos son equitativos con desarrollos tecnológicos similares donde relacionan la potencia eléctrica alrededor de 1 kW para microturbinas 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.

Figura 8: Relación de estabilidad del voltaje

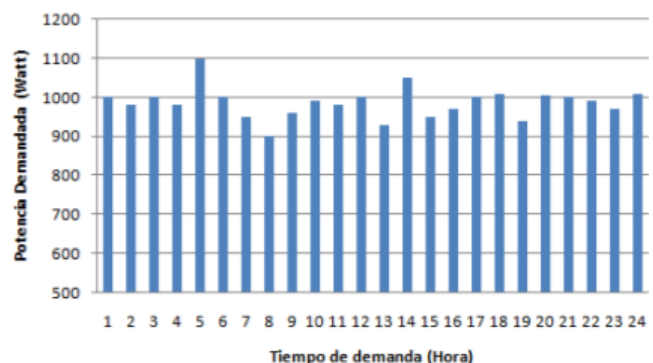
Fuente: elaboración propia.

Comparando la energía suministrada por el sistema implementado 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.

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

8. Conclusiones

El diseño, construcción y puesta en funcionamiento del prototipo BRIO XY 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 13,4 V a 1 kW de potencia eléctrica.

Figura 9: Relación potencia referente al tiempo.

Fuente: elaboración propia.

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 (se transmitió por el sistema de engranajes) y, por último, la energía eléctrica (se generó por medio del alternador).

En el diseño y construcción del sistema de balancín con paletas en sus extremos, aplicando el principio de palancas de primer grado, permitió un comportamiento eficiente y satisfactorio debido a la fuerza que experimento por las corrientes de agua del río Guatiquía, obteniendo un torque en el eje vertical de 71.92 N.

Buscando mejores alternativas para la generación de energía es posible innovar, partiendo de principios simples y con bajo impacto ambiental, aprovechando recursos naturales renovables, pero al mismo tiempo cuidando de ellos. El BRIO XY, es una alternativa para la generación de energía eléctrica no convencional, especial para las condiciones de los ríos de los llanos y de Colombia.

Reconocimientos

Los autores reconocen a la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Villavicencio, a la Facultad de Ingeniería, quienes permitieron que este trabajo de investigación se realizara de una manera eficiente.

Referencias

[1] M. E. González, A. Ortega, L. F. Beltrán, E. Troyo. “Potencia de aprovechamiento de la energía eólica para la generación de energía eléctrica en zonas rurales de México”. *Revista de ciencia y tecnología de América*, vol 31, no. 004, pp. 240 – 245, abril 2006.

[2] J. M. Polo, J. Rodríguez, y A. Sarmiento, “Potencial de generación de energía a lo largo de la costa colombiana mediante el uso de corrientes inducidas por mareas”. *Revista de Ingeniería* (Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia), vol. 28 pp. 99-105, noviembre de 2008.

[3] A. Tafur y A. Pizza “Estudio y evaluación del recurso eólico en Colombia para su aprovechamiento como fuente de energía eléctrica”: Caso de estudio: Galerazamba, Tesis pregrado, Universidad de Cartagena, Bolívar- Colombia, 2011.

[4] D. F. Mejía, “Generación de energía eléctrica mediante recurso eólico para el Centro Nacional de Investigaciones Marinas (CENAIM)”, Tesis De maestría, Facultad Técnica de Educación para

el Desarrollo, Universidad Católica de Santiago De Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, Septiembre 1 del 2014.

[5] I. A. Isaac, “Evaluación del impacto de la penetración de energía eólica en el sistema Interconectado nacional de Colombia: análisis eléctrico y energético”, Tesis de Gerencia de Transporte, ISA-Colombia y Universidad Pontificia Bolivariana, 1 de diciembre del 2010.

[6] C. Maya, J. D. Hernández. O. D. Gallego. “La valoración de proyectos de energía eólica en Colombia bajo el enfoque de opciones reales”. Universidad Eafit, Medellín, Colombia, pp. 193 – 231, Enero – Junio 2012.

[7] S. Belmonte, J. Viramonte, V. Núñez, J. Franco. “Estimación del potencial hidráulico para Generación de energía eléctrica por microturbinas mediante herramientas SIG”, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 12, 2008.

[8] M. Santa María, Fehr, Nils-Henrik von der. J. Millán, J. Benavides, O. Gracia y E. Schutt, “El mercado de la energía eléctrica en Colombia: características, evolución e impacto sobre otros sectores”. Fedesarrollo. Colombia, 2009.

[9] ISAGEN Energía Productiva S.A. E.S.P. “Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso”. Diciembre 2015, [En línea] Disponible en: <https://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/gestion-de-proyectos/proyectos-en-estudio/>

[10] ISAGEN Energía Productiva S.A. E.S.P., “Central Hidroeléctrica Miel I.” Diciembre 2015, [En línea] Disponible en: <https://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/generacion-de-energia/generacion-hidroelectrica/central-hidroelectrica-sogamoso/>

[11] ISAGEN Energía Productiva S.A. E.S.P., “Central Hidroeléctrica Jaguas”. Diciembre 2015, [En línea] Disponible en: <https://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/generacion-de-energia/generacion-hidroelectrica/central-hidroelectrica-jaguas/>

[12] J. I. Pérez Arriaga, “Energía y desarrollo sostenible”, Artículo de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (lección, profesor ordinario) Universidad Pontificia Comillas, Octubre 2002.

[13] A. M. Cabello, “Solución para el desarrollo sustentable”. ANDUMA Chile., 2006.

[14] Biomass Users Network, “Manual sobre energía renovable: Hidráulica a pequeña escala”, 2002. [En línea] Disponible en:

- <http://www.enersilva.org/libros/manual%20biomasa.pdf>
- [15] F. Posso, “Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. Parte dos: sistema Energético basado en energías alternativas. *Geoenseñanza*, vol. 7, no .1-2, pp. 54-73, 2002.
- [16] H. Beurskens y C. Daey, “Renewable energy sources and water treatment”. *Aqua: journal of the International Water Supply Association*, vol. 106, no.6, pp. 218-22, 1981.
- [17] A. Marchegiani, “Turbinas Pelton. Universidad Nacional del COMAHE”, facultad de ingeniería, Departamento de mecánica aplicada, Laboratorio de máquinas hidráulicas. Buenos Aires, 2004.
- [18] P. Fernández. “Turbinas Hidráulicas”, Diciembre 2015, [En línea] Disponible en: http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/turbinas-hidraulicas.pdf
- [19] Universidad Centroamericana José Simeón Cañas “Centrales Hidroeléctricas”, Diciembre 2015, [En línea] Disponible en: <http://www.cne.gob.sv/docs/Cap10.pdf>
- [20] S. Morales, L. Corredor, J. Paba y L. Pacheco, “Stages in the development of a small hydropower project: Context and implementation basic criteria Etapas de desarrollo de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas: Contexto y criterios básicos de implementacionimplementación”. *DYNA*, vol 81, no 184, pp. 178-185, Abril 2014.
- [21] J. Vargas, L. Rojas, y R. Toledo, “Sistema de control y supervisión de un compresor de aire utilizando dispositivos móviles con sistema operativo Android y protocolo de comunicación Bluetooth,”. *Ingenium*, vol. 9, no. 24, pp. 23–31, 2015.