



**Encuentro Internacional de  
Educación en Ingeniería ACOFI**

Innovación en las facultades de ingeniería:  
el cambio para la competitividad y la sostenibilidad

Centro de Convenciones Cartagena de Indias

4 al 7 de octubre de 2016



# **MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA SAN ALBERTO No 2 DEL MUNICIPIO DE TOLEDO NORTE DE SANTANDER**

**Alfredo Bohórquez Niño, Gustavo Guerrero Gómez, Malka Irina Cabellos Martínez**

**Universidad Francisco de Paula Santander  
Ocaña, Colombia**

## **Resumen**

El aprovechamiento del recurso hídrico para la generación de energía eléctrica comenzó en tiempos antiguos con el uso de ruedas hidráulicas, mejorando la calidad de vida de las personas. Sin embargo, existen lugares apartados en nuestra geografía colombiana que no se encuentran interconectados, es el caso de la institución Educativa sede San Alberto N°2, ubicada a 20 kilómetros al Sur Este del casco urbano del Municipio de Toledo Norte de Santander. En consecuencia, se propone el montaje de una micro central hidroeléctrica que aproveche la energía potencial del agua, con un salto neto de 80 m y un caudal 15 L / s y mediante un equipo electromecánico transformarla en energía eléctrica suficiente para el funcionamiento de equipos de cómputo y audiovisuales, así como los electrodomésticos básicos requeridos por los estudiantes en la Institución Educativa. La estructura de la micro central consta de: bocatoma, desarenador, cámara de carga, línea de conducción del caudal, caseta de máquinas, canal de restitución del agua al arroyo, equipo electromecánico, red de baja tensión e instalación eléctrica interna de la Institución Educativa.

La aplicación de este tipo de transformación de energía no genera gases que contribuyan al calentamiento global y se ajusta al Protocolo de Kioto relativo a la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático – Ley 629 del 27 de diciembre de 2000 y a la Ley 1715 del 13 de mayo de 2014 por la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. El servicio de energía eléctrica permanente permite la conectividad de docentes y estudiantes logrando competitividad académica a la vanguardia de las instituciones educativas de los centros urbanos.

Este proyecto de extensión se realiza con los docentes de los grupos de investigación GITYD e INGAP y los semilleros del programa de Ingeniería Mecánica, desde la línea de investigación de energías alternativas.

Además, se pone en práctica los conceptos de diseño planteados en la estructura curricular del programa académico de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

**Palabras clave:** energía; turbina; aprovechamiento

### ***Abstract***

*The advantage of the hydric resource for the generation of electrical energy began in old times with the use of hydraulic wheels, improving the quality of life of the people. However, there are isolated places in our Colombian geography that are not interconnected, it is the case of the Educational institution San Alberto No. 2, located 20 kilometers in the south east of the town of Toledo, Municipality of Norte de Santander. Consequently, the assembly of a hydroelectric micro central that takes advantage of the potential energy of water is proposed, with a 80 m of clear jump and a flow rate 15 L / s and by using an electromechanical equipment transform it into enough electricity for the operation of computers and audiovisual, as well as the basic domestic appliances needed by the students in the Educational Institution.*

*The structure of the central micro consists of: water intake, sand trap before, loading chamber, driveline flow, shed machines, restitution canal water to the stream, electromechanical equipment, low voltage network and internal electrical installation of the Institution.*

*The application of this type of energy transformation does not generate gases that contribute to global warming and the Kyoto Protocol adjusts on the framework convention of the United Nations on climate change, Law 629 of December 27, 2000 and Law 1715 of May 13, 2014 by which the integration of non-conventional renewable energy to the national energy system is regulated.*

*The permanent electricity service enables connectivity of academic teachers and students achieving at the forefront of educational institutions in urban centers competitiveness.*

*This extension project is carried out with teachers GITYD from research groups and INGAP and "investigation seedbeds" of Mechanical Engineering program, from the research of alternative energies. In addition, put into practice design concepts outlined in the curricular structure of the academic program of the Francisco de Paula Santander University Ocaña.*

***Keywords:*** energy; turbine; advantage

## 1. Introducción

El problema real de la falta de energía tiene que ver con las pocas oportunidades que tienen los campesinos de manejar sus productos perecederos debido a la falta de cadenas de frío que impidan el deterioro de los productos por los largos espacios y tiempos de recorrido para recolectar los productos. Lo ideal sería que en las cabeceras de las veredas se pudiera garantizar un sistema de enfriamiento para que los productos lleguen en buen estado a las cabeceras municipales (Monroy Gonzales M. F. & López Martínez G. A., 2012).

En América del Sur, el 60% del volumen total de agua desviada o extraída de la superficie o de los cuerpos de agua subterránea se pierde, principalmente como resultado de la implementación de sistemas ineficaces de irrigación en agricultura y sistemas deteriorados de distribución en áreas urbanas (Ocampo, 2011). La hidrogenación de energía en pequeña escala en potencias por debajo de los 500 Kw constituye una alternativa a la solución del problema de suministro de energía en regiones aisladas, especialmente en los países en vías de desarrollo, constituyéndose así en una de las bases principales para la electrificación rural. (sanchez & Ramirez Gastón, 1995)

En Colombia las pequeñas centrales hidroeléctricas PCHs se definen bajo los intervalos establecidos por la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG así: en el rango de 0 a 100 kilovatios Micro central, de 100 a 1000 kilovatios Mini central y de 1000 a 10.000 kilovatios Pequeña central: (Sierra, Sierra, & Guerrero, 2011).

En el proyecto se realiza el diseño y los cálculos que permitan seleccionar los equipos que conlleven a la construcción de la micro central hidroeléctrica en la vereda San Alberto y poder facilitar la labor del docente en la Institución Educativa permitiéndole el uso de equipo audiovisual y de comunicaciones para hacer más efectiva la actividad docente y así se vea reflejado en el mejoramiento del aprendizaje de los estudiantes.

El sistema de captación en la micro central es de derivación, es decir que no detiene el caudal del arroyo, sino que lo desvía hacia un canal y una manguera y luego hacia una turbina. (sanchez & Ramirez Gastón, 1995). Ubicada en la parte baja donde se aprovecha su energía cinética, restituyéndola de nuevo a su cauce.

Para evaluar la factibilidad de la micro central hidroeléctrica se efectuaron mediciones de caudal de 15 litros por segundo y un salto neto de 85 metros lo que permitirá una potencia eléctrica disponible de 6375 Vatios que conllevará a satisfacer la demanda de electricidad en la Institución Educativa.

Según las condiciones la turbina seleccionada para este diseño es una turbina de acción tipo Pelton, en la cual se requiere pequeños caudales con cargas altas. En estas turbinas se convierte previamente la energía de presión del fluido en energía cinética, creando un chorro que incide sobre los álabes del rodete, apareciendo por ello un par al que se le extrae la energía. (Marchegiani, 2004). Esta es considerada una energía verde o ecológica pura, ya que los efectos contaminantes suelen ser cercanos a cero y el impacto ambiental que produce es prácticamente nulo (vasquez huiracocha, 2015).

En Colombia este tipo de iniciativas son respaldadas por la unidad de planeación minero energética UPME que han llevado a diferentes niveles de formulación de políticas (leyes, documentos CONPES, Plan Energético Nacional, Plan de Expansión del Sistema Interconectado Nacional (SIN ) y en la regulación tanto para la generación de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) y en la Zonas No Interconectadas (ZNI); y las universidades y empresas tales como la Universidad Nacional de Colombia que a través de grupos de investigación como el de Mecanismos de desarrollo limpio y gestión Energética GRIN que orienta su labor a dar respuesta a preguntas como esta: ¿ cómo suministrar energía a zonas apartadas? (Sierra, Sierra, & Guerrero, 2011) y en el Departamento Norte de Santander la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, la cual con los grupos de investigación en Tecnología y Desarrollo (GITYD) y de Ingenierías Aplicadas para la Innovación, Gestión y el Desarrollo (INGAP), desarrollan proyectos en la línea de Energías Alternativas aportando soluciones de aprovechamiento de energía a la comunidad. Este proyecto permite poner en práctica los conceptos de diseño planteados en la estructura curricular del programa académico de Ingeniería Mecánica de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y sirve como referencia para las personas que de una u otra forma se relacionen con el aprovechamiento eficiente de los recursos naturales propendiendo por la conservación del medio ambiente y mejorando las condiciones de vida de sus habitantes.

De igual forma pretende impactar positivamente en las familias que habitan en la vereda San Alberto del municipio de Toledo Norte de Santander ofreciéndoles la posibilidad de una educación competitiva y de mejor calidad para sus hijos.

## 2. Metodología

El presente proyecto se enmarca en una investigación con tecnologías naturales referida al aprovechamiento de las fuentes conocidas y la búsqueda de otras alternativas. En este sentido, se consideran tres aspectos fundamentales en el diseño de artefactos: la parte creativa, técnica y estética. Se describen tecnologías tangibles que se caracterizan por tener un prototipo palpable a través de los sentidos. Se establece un enfoque de tipo de investigación descriptiva y tecnológica, considerando que define las fases para la futura construcción de la micro central hidroeléctrica para la Institución Educativa de la vereda San Alberto del Municipio de Toledo Norte de Santander. El nivel de ejecución de este proyecto se define a partir de las fases planteadas para dar cumplimiento a los objetivos propuestos (Rios, 1998).

**Fase 1.** Con el fin de dar cumplimiento al primer objetivo del proyecto planteado se busca describir los requerimientos para la implementación de una micro central hidroeléctrica, en este sentido se muestra a continuación los avances en las actividades propuestas:

Se presenta en este informe el resultado de la visita de campo realizada a la vereda SAN ALBERTO del municipio de TOLEDO. Que pretende la evaluación de los requerimientos para ser construida una micro-central hidroeléctrica.

Para que los proyectos puedan ser identificados, diseñados y ejecutados en el periodo más corto posible para satisfacer una cierta demanda eléctrica, se requiere de una metodología apropiada que sea considerablemente más simple que la utilizada en los grandes proyectos hidroeléctricos. De este modo, la selección del esquema hidroeléctrico más conveniente garantizará una operación adecuada de la pequeña central y posibilitará la obtención del máximo beneficio del proyecto en sus aspectos técnico, económico y social (Sanchez & Ramirez Gastón, 1995).

La vereda SAN ALBERTO se encuentra al sur del departamento y al oriente de la cabecera municipal en la reserva natural el Tama a la cual se tiene acceso por camino de herradura. Resultado de la visita realizada en el mes de abril de 2016, se hizo la toma de información topográfica y de los respectivos aforos de caudal, encontrando la siguiente información:

- El área ocupada por el proyecto está determinada por 300 metros lineales entre las quebradas las Pilas y Chorro Guapo. Además, se cuenta con un desnivel de 85 metros entre la bocatoma y casa de máquinas según se indica en la figura 1. Teniendo en cuenta que la Cota superior (Bocatoma) se ubica en 1229 m.s.n.m. y la Cota inferior (casa de máquinas) es de 1144 m.s.n.m.
- Se registra el aforo de caudal que arroja un resultado de 15 L/s en el nacimiento la Rinconada. Las cotas registradas entre el punto de bocatoma y el primer tanque desarenador determinan un desnivel de 10 metros con 2 líneas de manguera de tres pulgadas que permite la captación del caudal requerido. El cual regresa 300 metros más abajo sin contaminarla ni afectarla en lo más mínimo.
- El suministro de energía abastece la carga eléctrica requerida para el funcionamiento de computadores, equipos audiovisuales y electrodomésticos; así como la iluminación interna y externa de la Institución Educativa de la vereda San Alberto del Municipio de Toledo Norte de Santander.
- Teniendo en cuenta el número de usuarios beneficiados por el proyecto (ver figura 2), son 18 estudiantes y el docente con su familia permite establecer un mantenimiento del sistema hacia futuro definido por faenas de mantenimiento y permanente monitoreo.
- 

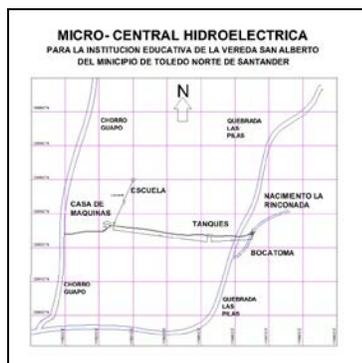


Figura 1. Esquema montaje hidroeléctrico Figura 2. Docente y estudiantes en la Institución Educativa

**Fase 2.** Para la generación hidroeléctrica en zonas que carecen del servicio de energía eléctrica; se conoce muy poco sobre experiencias de diseño de un recurso hídrico específico. Por lo general, se emplean micro

generadores que han funcionado adecuadamente en un rango de valores de cabeza y caudal determinados, pero se desconoce su eficiencia de acuerdo a las condiciones de operación a las cuales está siendo sometidas (Bongio, Avanzi, & Carlo, 2016).

En el segundo objetivo se busca especificar las características de una micro central hidroeléctrica para la Institución Educativa de la vereda San Alberto del Municipio de Toledo Norte de Santander. Con el fin de dar solución a este problema, se desarrolló una metodología para diseñar y construir la micro central con turbina tipo Pelton para condiciones de operación de caudal y cabeza específicos, empleando herramientas computacionales, materiales y procesos de fabricación que permitan la mayor eficiencia en el aprovechamiento energético del recurso hidráulico.

Los equipos electromecánicos que constituyen la microcentral se describen a continuación:

**Turbina tipo pelton.** Cuyos elementos son:

- Rodete Pelton fabricado en bronce en una pieza compacta.
- Carcasa en aluminio con dos entradas para igual número de inyectores, en acero inoxidable, con boquilla regulable.
- Eje en acero de 1 y 1/2 pulgada, con dos sellos mecánicos que impiden la salida del agua de la carcasa.
- Rodamientos tipo flanche para eje de 1 y 1/2 pulgada, con cuatro puntos de apoyo a la carcasa.
- Polea en aluminio, tipo B de un canal para trabajo pesado.
- Volante de inercia en acero col rolle
- Estructura metálica para anclaje a la casa de máquinas.

**Alternador.** Se caracteriza por su velocidad sincrónica y auto inducido; cuya potencia máxima de generación es de 5000 vatios y 3600 rpm en niveles de voltaje 110/220 CA. Con sistema de transmisión de potencia por polea y fabricado con carcasa en aluminio.

**Tablero de Control.** Con equipo de protección y monitoreo, amperímetro, voltímetro y frecuencímetro, control electrónico de carga con conexión directa a resistencias lastre de disipación.

**Redes.** De longitud 400 metros de alambre eléctrico en aluminio ACSR N° 4 junto a 2 puestas a tierra, 4 templetos y 6 postes en madera (5 metros c/u), constituyen la red de baja tensión (110 VCA) que llega a la institución educativa.

**Herramienta SOLIDWORK.** Mediante la revisión bibliográfica se obtuvieron una serie de relaciones teóricas y empíricas que relacionan entre sí el diámetro del chorro con los parámetros geométricos del inyector, álabe y rodete. Estas relaciones permitieron modelar preliminarmente los componentes principales de la micro central utilizando el software CAD SolidWorks (ver figura 3).

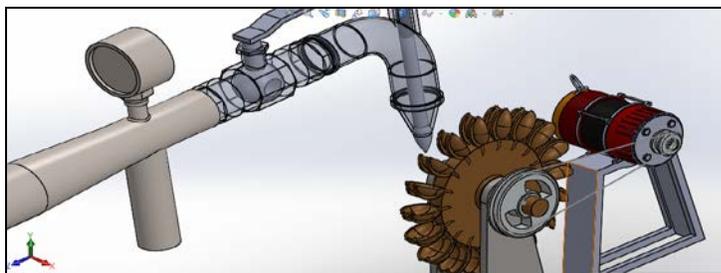


Figura 3. Esquema inyector, rueda pelton

Tabla 1. Presupuesto general

ITEM	VALOR (\$)
Captación de caudal	500.000
Aducción	500.000
Desarenador	2.500.000
Línea de conducción	4.500.000
Caseta de máquinas	2.500.000
Equipo electromecánico	15.000.000
Red Eléctrica Y Acometida	3.000.000
Instalaciones Internas	3.000.000
<b>TOTAL</b>	<b>31.500.000</b>

**Fase 3.** El tercer objetivo a lograr es determinar el presupuesto de la micro central hidroeléctrica para su implementación. En la tabla 1 se presenta un presupuesto requerido de los principales componentes de la micro central desde la captación hasta la puesta en operación de la micro central.

**Fase 4.** La Construcción de la micro central hidroeléctrica se plantea en inicialmente con la **Fabricación de la turbina**. En este proceso se fabricaron los modelos de fundición de la carcasa y poleas y mediante el proceso de moldeo en arena se obtienen las piezas. El rodete Pelton compacto se fabrica aplicando el método de fundición a la cera perdida. El volante de inercia para control de carga se maquina en el torno paralelo basado en un disco de acero col rolle de dimensiones 30 cm de diámetro y 2.54 cm de espesor. En lo referente a las demás acciones en el proyecto, se realizan una vez el ente territorial del Municipio de Toledo viabilice la asignación presupuestal. Estas actividades son las siguientes: Adecuación de las obras civiles del sistema de captación, Instalación de redes eléctricas de baja tensión, puesta en operación y pruebas de funcionamiento de la microcentral hidroeléctrica, elaboración de manual de operación y mantenimiento de la microcentral hidroeléctrica.

### 3. Impactos Esperados a Partir del Uso de los Resultados

Socializar a la comunidad las ventajas de la implementación de la micro central hidroeléctrica para la institución educativa de la vereda san Alberto del municipio de Toledo Norte de Santander.

Colocar al servicio del docente y los estudiantes de la Institución Educativa los elementos eléctricos requeridos que facilitarán las labores de enseñanza y aprendizaje de los usuarios del sistema. Además, motivar a las

comunidades vecinas para la implementación de este sistema de aprovechamiento de energía. Los beneficios son evidentes, no sólo a nivel económico, ya que el término medioambiental juega un factor importante con una fuerte repercusión social fundamentada en las cualidades renovables de la energía hidráulica. El impacto medioambiental de la instalación de la micro central es muy positivo por la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a la sustitución de energías convencionales por renovables.

#### **4. Resultados**

La Administración Municipal de Toledo Norte de Santander en cabeza de su Alcalde y a través de su Consejo Municipal viabiliza la construcción de la Micro central Hidroeléctrica para la Institución Educativa considerando el estudio realizado y su repercusión en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de la vereda con la creación de condiciones para la implementación de nuevas alternativas de educación y comunicación.

Se ha logrado crear conciencia de lo importante que es la conservación de los recursos naturales; donde se va a ubicar la micro central se está pensando en la reforestación de este terreno y demás que está sobre la cuenca hidrográfica de la micro central hidroeléctrica.

La apropiación de los beneficiarios de una tecnología que les permitan aprovechar sus recursos naturales, con un sistema fácil de entender, para su buena operación y mantenimiento.

Los beneficiarios de este proyecto han sido capacitados de una forma práctica y teórica para el uso adecuado de los sistemas hidroeléctricos a instalar.

Se emplearon herramientas computacionales para apoyar la etapa de diseño y fabricación de los componentes, con lo cual se redujeron los costos de desarrollo y fue posible experimentar, mediante simulaciones el efecto que generaron algunos cambios en la geometría de los componentes de la micro central.

Se presentaron diferentes procesos de fabricación para elaborar las cucharas de la turbina Pelton. Estos resultados obtenidos permitieron seleccionar el proceso de fundición a la cera perdida como idóneo para fabricar este tipo de álabe.

#### **5. Referencias**

##### **Artículos de revistas**

- Bongio, M., Avanzi, F., & Carlo, D. (2016). Hydroelectric power generation in an Alpine basin: future. *Advances in Water Resources*, 318-331.

- Ocampo, O. (2011). El cambio climático y su impacto en el agro. Revista de Ingeniería Universidad de los Andes, 115-123.
- Sierra, F., Sierra, A., & Guerrero, C. (2011). Pequeñas y microcentrales hidroelectricas: Alternativa real de generacion electrica. informador tecnico Colombia, 73-85.

## Libros

- Marchegiani, A. (2004). Turbinas Pelton. Argentina: Universidad Nacional del Comahue.
- Muguerza, D. (2005). Microcentrales Hidroelectricas. Cali: Universidad del Valle.
- Rios, S. D. (1998). Metodología de la Investigación Tecnológica. Santafé de Bogotá:: Ediciones Hispanoamericanas LTDA.
- sanchez, T., & Ramirez Gastón, J. (1995). Manual de Microcentrales Hidroeléctricas. LIMA: Banco Interamericano de Desarrollo.
- vasquez huiracocha, v. r. (2015). Estudio y diseño de un sistema micro-hidroelectrico para generacion y abastecimiento de energia electrica mediante energia renovable para una vivienda tipica del sector de Sinincay perteneciente al Canton Cuenca. Cuenca: universidad politecnica salesiana.

## Memorias de congresos

- Monroy Gonzales, M., & López Martínez, G. A. (23 de OCTUBRE de 2012). VII Congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica. PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS (PCH). ALTERNATIVA DE ENERGÍA SUSTENTABLE EN LATINOAMERICA Y EL CARIBE, 4. CUSCO, PERU.

## Fuentes electrónicas

- ITDG Soluciones Prácticas (n.d). Ficha Técnica N°25 Turbinas Pelton. Página web de la organización Soluciones Prácticas ITDG, Lima-Perú. Consultado el 24 de Junio en <http://www.solucionespracticas.org.pe/fichastecnicas/pdf/FichaTecnica25-turbinas%20pelton.pdf>

## Sobre los autores

- **Alfredo Bohórquez Niño:** Diseñador Industrial, Especialista en Docencia Universitaria de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Docente Ocasional UFPSO [abohorquezni@ufps.edu.co](mailto:abohorquezni@ufps.edu.co)
- **Gustavo Guerrero Gómez:** Ingeniero Mecánico, Especialista en Docencia Universitaria de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Magister (C) Sistemas Energéticos Avanzados, Profesor Tiempo Completo UFPSO [gguerreroq@ufps.edu.co](mailto:gguerreroq@ufps.edu.co).

- **Malka Irina Cabellos Martínez:** Física, Especialista en Docencia Universitaria de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Magister (C) en Energías Renovables. Docente Ocasional UFPSO [micabellosm@ufpso.edu.co](mailto:micabellosm@ufpso.edu.co).

---

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

Copyright © 2016 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)