



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN
DE INGENIEROS EN LA
ERA DIGITAL



CONSTRUCCIÓN DE UNA TURBINA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA CASCADA MARCELINA DEL MUNICIPIO DE RIO DE ORO (CESAR)

Liceth Sánchez Hernández

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

Resumen

Actualmente, se buscan alternativas que permitan hacer uso de fuentes renovables de energía que contribuyan a la disminución de los impactos ambientales asociados al uso de energéticos tradicionales como el carbón, petróleo, gas natural, entre otros. Éstos, han sido las principales materias primas para la obtención de otras formas de energía como la electricidad y la energía térmica, no obstante, debido a sus características, estos energéticos liberan a la atmósfera emisiones contaminantes nocivas para la salud y medio ambiente dependiendo del proceso de transformación experimentado. Dada esta problemática, se han comenzado a implementar fuentes no convencionales de energía de origen renovable que permitan disminuir los impactos ambientales asociados al uso de energéticos de origen fósil. Dentro de las fuentes renovables de energía, pueden resaltarse la energía hidráulica, geotérmica, eólica, solar y biomasa. Con el ánimo de contribuir a la implementación de fuentes energéticas de origen renovable, esta investigación de carácter experimental, cuantitativa y científica, pretende el diseño y construcción de una turbina hidráulica "tipo Pelton" para la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento del potencial energético de la cascada Marcelina del municipio de Rio de Oro (CESAR). Para esto, se parte de la evaluación del potencial energético aprovechable proveniente de la cascada, con el fin de establecer las características de diseño a las cuales estaría sometida la turbina mediante la recolección de información por medio de técnicas e instrumentos que permiten analizar las condiciones operacionales de la turbina. Los resultados muestran las

características de funcionamiento del dispositivo, así como el potencial aprovechable de la Cascada y la estimación de la Energía eléctrica generada.

Palabras clave: turbina Pelton; energía renovable; potencial energético; energía eléctrica; energía hidráulica

Abstract

Currently, alternatives are being sought that allow the use of renewable energy sources that contribute to the reduction of environmental impacts associated with the use of traditional energy sources such as coal, oil, natural gas, among others. These have been the main raw materials for obtaining other forms of energy, such as electricity and thermal energy. However, due to their characteristics, these energy sources release into the atmosphere polluting emissions harmful to health and the environment depending on the transformation process undergone. Given this problem, non-conventional renewable energy sources have begun to be implemented to reduce the environmental impacts associated with the use of fossil fuels. Among the renewable energy sources, hydraulic, geothermal, wind, solar, and biomass energy can be emphasized. With the aim of contributing to the implementation of renewable energy sources, this experimental, quantitative and scientific research aims at the design and construction of a Pelton type turbine for the generation of electrical energy through the use of the energy potential of the Marcelina waterfall in the municipality of Rio de Oro (CESAR). For this purpose, the assessment of the exploitable energy potential coming from the waterfall is taken as a starting point in order to establish the design characteristics to which the turbine would be subjected through the collection of information by means of techniques and instruments that allow the analysis of the turbine's operational conditions. The results show the functioning characteristics of the device, as well as the exploitable potential of the waterfall and the estimation of the electrical energy generated.

Keywords: Pelton turbine; renewable energy; energy potential; electric energy; hydraulic energy

NOMENCLATURA

Q= Caudal.

H= Salto Neto.

α_2 = Ángulo absoluto con el cual el agua sale del álabe.

β_1 = Ángulo en la entrada del álabe.

β_2 = Ángulo de salida del álabe.

$U_1 = U_2$ = Velocidades tangenciales.

$W_1 = W_2$ = Velocidades relativas.

$C_1 = C_2$ = Velocidades absolutas del chorro de agua a la entrada y a la salida del álabe.

P_g =Potencia máxima que el generador entrega al sistema eléctrico.

P_t = Potencia útil.

f= Frecuencia.

n_d = Rendimiento del inyector.

η = Eficiencia.

η_g =Eficiencia del generador.

η_{tr} =Eficiencia de la transmisión mecánica utilizada entre la turbina y el generador.

N= velocidad de giro de la turbina (rpm).

CONSTRUCCIÓN DE UNA TURBINA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA CASCADA MARCELINA DEL MUNICIPIO DE RIO DE ORO (CESAR)

Hb= Altura a caída bruta existente.

Ut= Ubicación de la turbina.

do= Diámetro de la sección del chorro de la tobera.

D= Diámetro del rodete.

rd= Relación de diámetros.

Da= Diámetro de la circunferencia.

K= Relación entre los diámetros de paso de cresta y de chorro.

ϱ = Pasó angular y paso medio de la circunferencia.

ψ = Ángulo entre arista de la cuchara y el punto máximo de la salida del chorro.

θ = Pasó máximo.

Z' = Numero de cucharas.

Kc= Coeficiente de la velocidad de la tobera.

Kv= Coeficiente de la velocidad tangencial.

Kf= Coeficiente de la velocidad relativa.

L= Longitud de la tubería.

g= Gravedad.

z= Inyector.

1. Introducción

Actualmente el aprovechamiento de fuentes alternativas, abarca todo el sector energético Colombiano, el cual cuenta con altas características hidrográficas, en el sistema interconectado de generación eléctrica con cerca de 10.000 MW de capacidad instalada de generación, dividida en un 80% en plantas hidroeléctricas y 20% en plantas termoeléctricas y en las diferentes regiones del país se encuentran montajes de pequeñas centrales hidroeléctricas con capacidad generación eléctrica hasta de 10 MW que a partir de la energía del flujo de agua, sin necesidad de grandes represamientos, abastecen pequeños asentamientos humanos en los cuales se han instalado turbinas hidráulicas en pequeñas derivaciones. (Fabio Sierra & Guerrero, 2011).

Partiendo de lo mencionado anteriormente, este trabajo hace énfasis al aprovechamiento de la energía de flujo para la obtención de energía limpia y renovable la cual aprovecha el potencial hídrico de la geografía colombiana. Haciendo un análisis particular, en este trabajo se parte del caso de estudio de la Cascada la Marcelina de Rio de Oro (CESAR), la cual es la fuente de recurso hídrico con la cual la empresa de Acueducto Comunal del Barrio San Miguel (ACOSMI) presta su servicio a la comunidad, lo que revela la importancia de ésta. El agua de la cascada presenta temperaturas entre los 15° y 20°C, descendiendo a caudales constantes por medio de la unión de dos montañas, lo que permite abarcar opciones para la implementación de una turbina hidráulica que aproveche el potencial energético de este recurso. De acuerdo a esto, la turbina debe contar con las características de una altura o salto neto aproximadamente de 70 m y un caudal de 100 L/min, los cuales corresponden a las estimaciones iniciales de la cascada. Acorde a las características de la cascada, es recomendable que por cuestiones de economía y de diseño se implemente una turbina tipo Pelton, puesto que ésta se adecúa a dichas características. Por esta razón, se realiza el estudio de los componentes para el diseño de la microcentral hidroeléctrica en la Cascada la Marcelina del municipio de Rio de Oro, la cual tiene gran importancia social, por lo que se hace necesario poder aprovechar su energía, puesto que en la región existe déficit de energía eléctrica, debido entre otras cosas al difícil acceso de esta zona; lo cual obliga a las comunidades a pensar en alternativas renovables con las cuales puedan contar con facilidad servicios públicos que mejoren su calidad de vida.

2. Metodología

Este estudio se centra de forma teórico-experimental en la estimación de las condiciones de operación de una turbina hidráulica y caudal aprovechable de la cascada Marcelina. Se inicia con una investigación descriptiva y tecnológica de los factores de diseño, de la estructura y técnica implementada en la caracterización de los factores para la elaboración del prototipo, de la turbina, por lo se plantea una posible solución en zonas que carecen del servicio de energía eléctrica y que cuentan con el recurso hídrico específico.

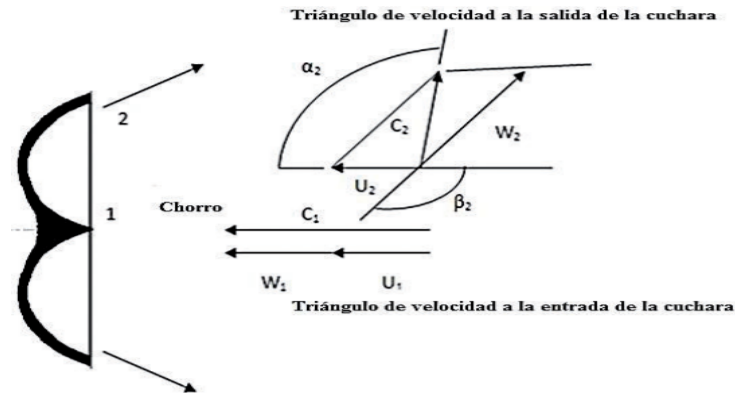


Figura 1. Triángulo de velocidades sobre el álabe.

Fuente: (Agudelo, Chica, Obando, Sierra, & Velasquez, 2013)

3. Desarrollo experimental

El análisis de este trabajo inicia como solución a la problemática energética que presenta la comunidad campesina del sector rural del Municipio de Rio de Oro Cesar. En las figuras 2 y 3 es posible apreciar las zonas geográficas en las que se encuentra la cascada Marcelina, así como parte de las viviendas inmersas dentro de este proceso, además, se muestra un esquema de la manera como se distribuirá dicho diseño. Otro punto importante es que por medio de este estudio se pretende que la comunidad del municipio de Rio de Oro (CESAR), comprenda la importancia de aprovechar las fuentes hídricas para la generación de energía eléctrica de bajo impacto ambiental.

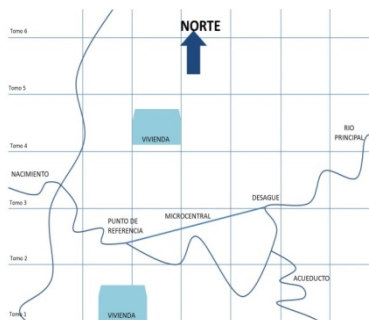


Figura 2. Montaje hidroeléctrico.

Fuente: Autora.

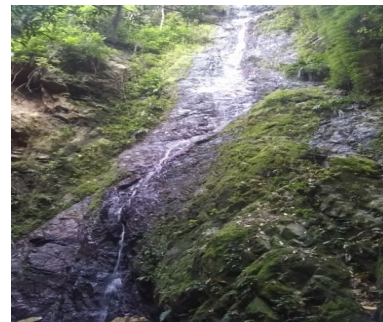


Figura 3. Cascada Marcelina Rio de Oro.

Fuente: Autora.

4. Desarrollo estructural

Las turbinas tipo Pelton, son dispositivos de chorro libre que se utilizan en saltos de agua con mucho desnivel y caudales relativamente pequeños. Generalmente, puede hacer uso de una altura de caída de fluido que comprende el rango de los 60 y 1500 metros, con el fin de obtener rendimientos máximos de 90%. Su funcionamiento consiste en que la energía potencial gravitatoria del agua embalsada, o energía de presión, se convierte, sin pérdidas en energía cinética al salir el agua a través del inyector en forma de chorros libres, a una velocidad que corresponde a toda la altura del salto útil, y, de esta manera se dispone de la máxima energía cinética al momento en que el agua incide tangencialmente sobre el rodete, empujando a los álabes y obteniéndose el trabajo mecánico deseado. (Fabian Andres Solano Leon, 2015).

El flujo impacta tangencialmente al rodete, el cual consiste en un disco de acero con álabes o cucharas periféricos en forma de doble cuchara, como se ve en la figura 8, éstas son las encargadas de cambiar la dirección del agua mediante el impacto del chorro en la arista media, donde se divide en dos, y circula por el álabe, transmitiendo la energía al rodete. Luego de pasar por las cucharas el agua sale con una velocidad mínima residual. Por otra parte, es importante resaltar la tipología de la turbina y el tamaño de esta, lo cual son los factores que permiten obtener las características mostradas en la tabla 1 y 2 (Ferrada Sepúlveda, 2012).

Símbolo	Valor	Unidad
H	70	M
H _b	72	M
U _t	15	M
Q	100	L/min
η	80%	-
Z	2	Inyector
F	60	Hz
G	9,81	m/s
η_g	98%	-
η_{tr}	95%	-
P_g	10	Kw
K _c	0.97	-
K _v	0.44	-
K _f	0.98	-
α_2	0	°
β_1	10	°

Tabla 1. Datos de la turbina.

Fuente: Autora.

A partir de los datos mostrados en la tabla 1, es posible calcular los factores necesarios para el diseño de la turbina tipo Pelton. (Gao & Zare, 2017).

CONSTRUCCIÓN DE UNA TURBINA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA CASCADA MARCELINA DEL MUNICIPIO DE RIO DE ORO (CESAR)

Límite de aplicación	Relación de diámetros	Número específico de revoluciones
Límite mínimo (mal rendimiento)	0.01	2.4
Límite mínimo práctico (buen rendimiento)	0.03	8
Límite máximo (mal rendimiento)	0.14	35
Límite máximo práctico (buen rendimiento)	0.11	27

Tabla 2. Límites de la relación de diámetros.
Fuente: Adaptado de (Ferrada Sepúlveda, 2012).

Si la relación de diámetros es excesivamente pequeña sucede que el flujo de agua va a tener que recorrer un trayecto demasiado largo entre la salida del inyector y el rodete. Por otro lado, al disminuir se aumenta el número de cuchara, lo que puede producir que la distancia que separa las cucharas sea muy pequeña lo que no es posible ni deseable. En el caso contrario se tiene un número de cucharas pequeño y a su vez las cucharas deber ser más grandes, hasta el caso que sea imposible conectarlas al rodete prácticamente. La tabla 2 muestra resultados obtenidos por la experiencia que permiten determinar límites para el diseño de turbinas Pelton.

5. Resultados y Conclusiones

Para el análisis y diseño del prototipo, se basó, en estudios previos reportados en la literatura, esto, con el fin de obtener la geometría de la cuchara y del rodete de la turbina tipo Pelton. Para el análisis de dicha geometría se usó el Software Solidworks versión 2016. De esta manera, se puede evidenciar en la figura 4, el diseño y simulación de una micro turbina Pelton, este análisis cuenta con la programación para resistir la capacidad del comportamiento de un fluido (agua) en el interior del dominio, además, utilizando dicha herramienta se pudo observar cómo aumentaba la velocidad en el extremo del inyector y cómo impactaba el chorro de agua en los álabes. Así mismo, la figura 5 muestra la forma del rodete para la turbina Pelton. Con base en lo anterior, se interpretó que el diseño calculado corresponde a una buena eficiencia según las características presentadas de caudal y altura bruta.

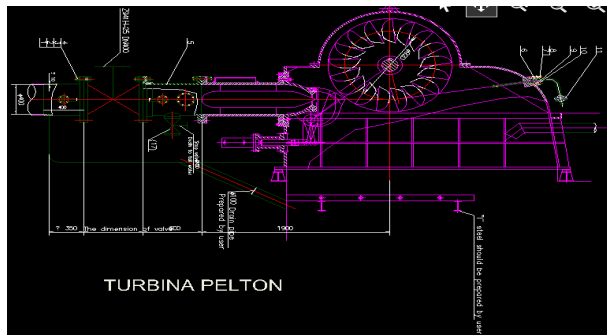


Figura 4. Diseño de una turbina Pelton.
Fuente: Tomado de Solidworks versión 2016.

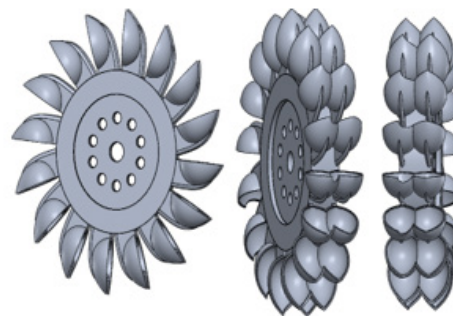


Figura 5 Diagramas del rodete.
Fuente: Tomado de Solidworks versión 2016.

CONSTRUCCIÓN DE UNA TURBINA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA CASCADA MARCELINA DEL MUNICIPIO DE RIO DE ORO (CESAR)

Símbolo	Valor	Unidad
Z'	26	Cucharas
Da	0.3616	m
D	0.346	M
do	0.0078	m
rd	0.03	-
C_1	35.8	m/s
C_2	35.95	m/s
W_1	19.73	m/s
W_2	20.13	m/s
U_2	15.82	m/s
N	900	Rpm
P_t	8.6	Kw

Tabla 3. Datos obtenidos.

Fuente: Autora.

Hoy en día existen distintos adelantos tecnológicos que día a día buscan aprovechar de la mejor manera posible las fuentes energéticas disponibles, además en algunos países, se está enfatizando en su desarrollo por la creciente demanda energética y también como una forma de desarrollo económico. Sin embargo, es importante destacar que, dentro de los diferentes tipos de energías existentes, las energías renovables fueron las primeras que aparecieron en el mundo y hoy en día se continúan utilizando. (Con, 2018).

El desarrollo estructural permitió calcular las propiedades que se pueden observar en la tabla 3, la cual relaciona cada una de las variables determinadas con el fin de relacionar con la práctica y la simulación de dicho software, lo cual permite el ajuste y desarrollo de modificaciones en los componentes del diseño en un modelamiento numérico de la geometría de turbina Pelton, permitiendo plantear la relación de parámetros en diferentes dimensiones de la turbina.

Cabe resaltar que se busca socializar en la comunidad del municipio de Rio de Oro Cesar, cada una de las ventajas que abarca implementar fuentes no convencionales en zonas aisladas al recurso energético, principalmente la energía hidráulica como recurso energético en la implementación de micro centrales eléctricas puestas al servicio de la comunidad campesina que habita alrededor de la cascada la Marcelina del Municipio de Rio de Oro Cesar.

6. Referencias

- Agudelo, S., Chica, E., Obando, F., Sierra, N., & Velasquez, L. (2013). 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. *Ingenieria y Competitividad*, 193(1), 183–193.
- Ariel, M. (2014). Turbinas pelton. *Engenharia*, 4. Retrieved from <http://pt.slideshare.net/ronaldowermeier/turbinas-pelton>

- Con, E. R. (2018). Facultad de Ciencias Exactas , Físicas y Naturales Práctica Supervisada - Informe Técnico Final.
- Fabian Andres Solano Leon, C. A. B. B. (2015). Diseño De Una Pico Central Hidroeléctrica Para La Generación De Energía En El Bloque A De La Universidad Libre Sede Bosque Popular, 1–121.
- Fabio Sierra, A. F., & Guerrero, C. A. (2011). Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas : alternativa real de generación eléctrica . *Informador Técnico*, 73–85.
- Ferrada Sepúlveda, L. A. (2012). Diseño de Rodete de Turbina Hidráulica tipo Pelton para Microgeneración. Retrieved from http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112366/cf-ferrada_ls.pdf
- Gao, B., & Zare, H. (2017). Diseño De Una Microcentral Hidroeléctrica Partiendo De Un Salto Hidráulico Natural Localizado En La Vereda Jardín De Las Peñas, Jurisdicción Del Municipio De Mesetas Del Departamento Del Meta Análisis, (December).
- Reyna, T., Lábaque, M., Reyna, S., Riha, C., & Irazusta, B. (2017). Energía mini y micro hidráulica: aporte contra el Cambio Climático, 1–11. Retrieved from http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/GFN/page/earth_overshoot_day

Sobre los autores

- **Liceth Sánchez Hernández:** Estudiante de Ingeniería Mecánica, Octavo Semestre. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. C.c 1064841902. Grupo de Investigación: GITYD, Semillero de Investigación: SIARRCE. E-mail: lsanchezh@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 © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)