



**FACULTAD INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.**

**LICENCIA CREATIVE COMMONS:**

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

**AÑO DE ELABORACIÓN:**

2018

**TÍTULO:**

Diseño de una turbina tipo Kaplan para la generación de energía hidráulica.

**AUTOR (ES):**

Palma Reyes Daniela, Peña Espitia Cristian David

**DIRECTOR(ES)/ASESOR(ES):**

Cordoba Romero Henry Alberto

**MODALIDAD:**

Trabajo de investigación

**PÁGINAS:**  **TABLAS:**  **CUADROS:**  **FIGURAS:**  **ANEXOS:**

**CONTENIDO:**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

1. INTRODUCCIÓN

2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

3. JUSTIFICACIÓN

4. ANTECEDENTES

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

6. ALCANCE Y LIMITACIONES

7. ESTADO DEL ARTE

7.1. MARCO TEÓRICO

7.1.1. Máquinas hidráulicas



- 7.1.2. Turbinas hidráulicas
- 7.1.3. Turbinas de acción
- 7.1.4. Turbinas de reacción
- 7.1.5. Tipos de turbinas axiales
- 7.1.6. Turbina tipo Kaplan
- 7.1.7. Sistema de regulación de las turbinas Kaplan
- 7.1.8. Momento hidráulico
- 7.1.9. Importancia de la turbina Kaplan
- 7.1.10. Turbinas más utilizadas a nivel Colombia
- 7.2 SELECCIÓN DE LA TURBINA
- 7.3. TURBOMÁQUINAS
- 8. METODOLOGÍA
- 9. CÁLCULOS DE DISEÑO
- 10. PRESUPUESTO
- 11. ANÁLISIS
- 12. CONCLUSIONES
- 13. BIBLIOGRAFÍA
- ANEXOS

**DESCRIPCIÓN:**

Se realizó el dimensionamiento de una turbina tipo Kaplan de acuerdo a los cálculos obtenidos, definiendo de esta manera las características de cada sección de la turbina; de igual manera se hizo un análisis costo-beneficio para verificar la viabilidad del proyecto.

**METODOLOGÍA:**

La metodología se desarrolló de la siguiente manera en 4 fases:

1. Cálculos básicos de las dimensiones de la turbina: Velocidad, diámetros internos y externos.
2. Cálculos para el diseño mecánico: Rodete, cubierta, tubería de aspiración.
3. Presupuesto.
4. Análisis costo-beneficio.

**PALABRAS CLAVE:** TURBINA, RENDIMIENTO, KAPLAN, HIDRAULICA, COSTO, EFICIENCIA, BENEFICIO, ENERGIA, MATERIALES

**CONCLUSIONES:**

Como se sabe, la energía que abastece a las grandes ciudades de nuestro país proviene de las grandes centrales hidroeléctricas, lo cual limita a las áreas apartadas de energía (zonas rurales), de manera que se disminuye el desarrollo económico de nuestro país, es por esto que es necesaria la implementación de

<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN</b> <b>- RAE -</b>	RIUCaC
---	--------

diferentes formas de generación de energía. La elaboración de este proyecto busca suplir la necesidad de las comunidades alejadas, para que se pueda aprovechar el potencial de las industrias del campo contribuyendo así con su desarrollo.

Realizando un análisis minucioso para el elegir el tipo de turbina de acuerdo a la necesidad presentada para el proyecto, se identificó que la turbina tipo Kaplan es la más adecuada ya que su campo de acción es amplio y variable, ya que en condiciones de caudales y alturas bajas se puede aprovechar de manera óptima la generación de energía, puesto que sus alabes son móviles, se acondiciona para la mejor eficiencia en toda condición, esta turbina en comparación con la tipo Pelton o Michel Banki se limitan ya que para estas es necesario tener una caída de flujo alta para su buen funcionamiento, además su sistema de choque con el agua difiere en la necesidad.

Una vez realizados los diferentes cálculos, y analizando el concepto hidráulico y mecánico de las diferentes piezas requeridas y algunos elementos adicionales como el motor; pasando al análisis de costos se puede concluir que es una maquina sencilla y económica por la capacidad de energía que se podría generar con ella, además es de fácil mantenimiento.

La turbina operará bajo un salto hidráulico de 10.5 m y un caudal de  $0.26 \text{ m}^3/\text{s}$ , este diseño es aplicable a zonas alejadas de las ciudades, y podría ser utilizado para la iluminación de varias casas, o para procesos agroindustriales donde sea necesario tener dicha capacidad eléctrica. Se sugiere que la capacidad de eficiencia sea de un 60% en su funcionamiento, para prolongar la vida útil de la máquina.

Se proyectó presentar una máquina de bajo costo, con un diseño simple y que cumpliera con los parámetros, además se halló la eficiencia y se pudieron generar los costos de fabricación, por lo tanto, se logra cumplir con los objetivos del proyecto.

A continuación, se muestra la representación porcentual de los costos para ambos materiales; estos valores se calcularon tomando el valor del euro del día domingo 28 de octubre de 2018, el cual tenía un precio de \$3399.00 (m/cte):

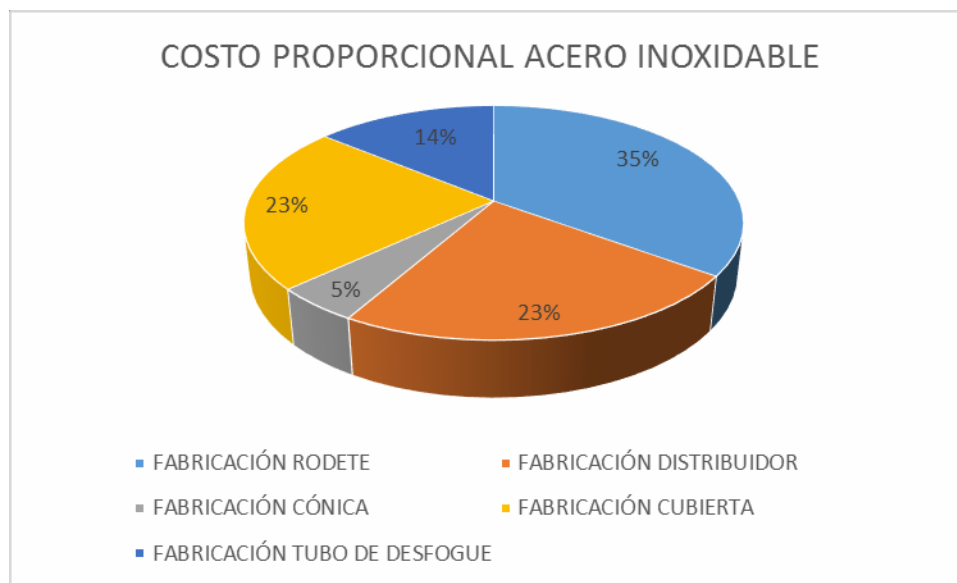


*Tabla. Presupuesto acero inoxidable*

RESUMEN PRESUPUESTO ACERO INOXIDABLE		
CONCEPTO	IMPORTE	COSTE PROPORCIONAL
FABRICACIÓN RODETE	\$ 4.227.516,77	35%
FABRICACIÓN DISTRIBUIDOR	\$ 2.791.794,61	23%
FABRICACIÓN CÓNICA	\$ 575.996,40	5%
FABRICACIÓN CUBIERTA	\$ 2.767.059,17	23%
FABRICACIÓN TUBO DE DESFOGUE	\$ 1.685.005,74	14%

Fuente: Autores

*Ilustración. Diagrama costo acero inoxidable*



Fuente: Autores

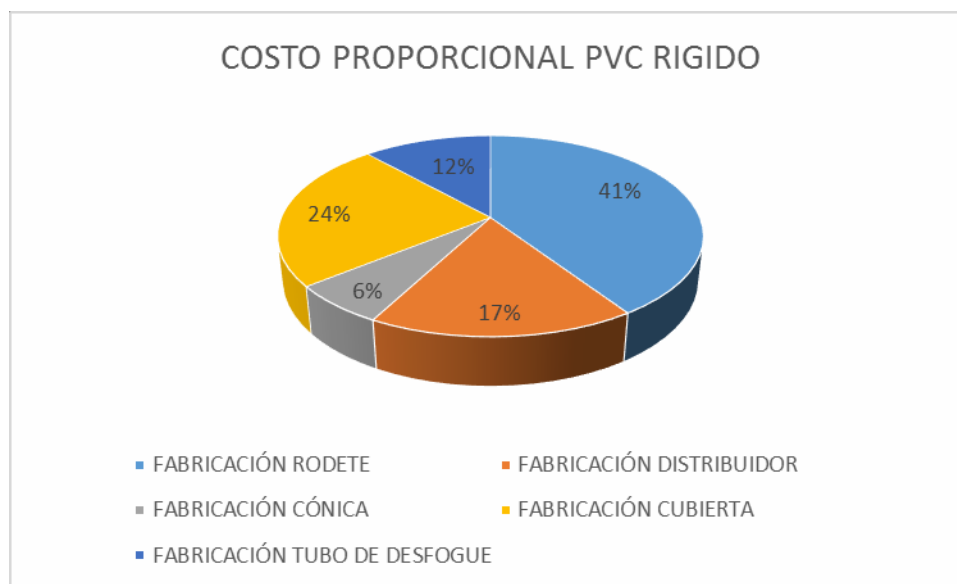


*Tabla. Presupuesto PVC rígido*

RESUMEN PRESUPUESTO PVC		
CONCEPTO	IMPORTE	COSTE PROPORCIONAL
FABRICACIÓN RODETE	\$ 3.164.836,72	41%
FABRICACIÓN DISTRIBUIDOR	\$ 1.333.426,99	17%
FABRICACIÓN CÓNICA	\$ 496.834,67	6%
FABRICACIÓN CUBIERTA	\$ 1.883.764,96	24%
FABRICACIÓN TUBO DE DESFOGUE	\$ 906.885,37	12%

Fuente: Autores

*Ilustración. Diagrama costo PVC rígido*



Fuente: Autores

En conclusión, teniendo en cuenta el presupuesto presentado se evidencia que los procedimientos que generan mayores costos son el montaje, la ingeniería de diseño, la ingeniería de fabricación y la delineación, los que corresponden aproximadamente al 60% del costo total de la fabricación en ambos casos.

**RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN  
- RAE -**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia  
Vigilada Mineducación

RIUCaC

Del análisis costo beneficio se concluye que el proyecto es viable debido a que se recupera la inversión a los 18 meses (año y medio) para el acero y a los 8 meses para el PVC rígido en estratos bajos. Por lo tanto, se observa que la implementación de estos proyectos de generación de energía alternativa es factible y deberían ser incentivados por el Estado, para que de esta manera se logre suplir las necesidades de servicios básicos a zonas de difícil acceso, se disminuya el consumo de energía convencional en empresas con procesos agroindustriales, se disminuya la contaminación generada por las energías convencionales y se logre un desarrollo económico generando una devolución de energía a la red.

Al ver que la recuperación de inversión en estratos bajos es relativamente rápida, se recomienda evaluar este tipo de proyecto en estratos altos, y ver qué tan rápida es la recuperación de la inversión, ya que a simple vista por el mismo periodo se vería un valor anual neto mucho más alto, es decir la inversión se recuperaría en un menor tiempo para ambos tipos de materiales escogidos.

**FUENTES:**

[1] Ser Colombia. Asociación de energías renovables. [En línea] Colombia 2016. Disponible en internet: <http://www.ser-colombia.org/>

[2] EL TIEMPO casa editorial, Energías renovables, la apuesta que debe hacer el país. [En línea]: Bogotá [5 diciembre 2016]. Disponible en internet: <http://www.portafolio.co/innovacion/energias-renovables-en-colombia-502061>

[3] Ernesto Torres Quintero “Investigación en pequeñas centrales en Colombia” [en línea] Colombia 2012 Disponible en: <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista-12/ar9.pdf>.

[4] DINA, Etapas de desarrollo de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas: Contexto y criterios básicos de implementación, en gestión 2013 – 2014 vol.81.

[5] Turbinas Hidráulicas. [En línea] Pedro Fernández Díez. Disponible en internet: <http://libros.redsauce.net/,file:///Turbinas%20Hidr%C3%A1licas%202.pdf>



**[6]** Mosonyi, E., Water Power Development, Vol. 1 & 2, Publishing House Of The Hungarian Academy Of Sciences, Budapest, Hungary, 1963.

**[7]** Pfeleiderer, Carl and PETERMANN, H., STRÖMUNGSMASCHINEN. Springer, Berlín,

**[8]** Solano León Fabián A., Bolívar Bernal Augusto “Diseño de una pico-central hidroeléctrica para la generación de energía en el bloque a de la universidad libre sede bosque popular” Bogotá D.C. Disponible en internet: <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/8450/DOCUMENTO%20FINAL%20PCH.pdf?sequence=1>

**[9]** Ordoñez Pech Weyler, “Diseño, construcción y evaluación de un Hidropulsador” Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Disponible en internet: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5507/T13993%20ORDO%C3%91EZ%20PECH%2C%20WEYLER%20%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**[10]** Ministerio de Minas y Energía, “Guía de diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas”, Santafé de Bogotá D.C., Colombia. Disponible en internet: [http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias\\_alternativas/potencialidades/GUIA%20DE%20DISENO%20PARA%20PEQUENAS%20CENTRALES.pdf](http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/potencialidades/GUIA%20DE%20DISENO%20PARA%20PEQUENAS%20CENTRALES.pdf)

**[11]** García Gutiérrez Héctor, Nava Mastache Arturo, “Selección y dimensionamiento de turbinas hidráulicas para centrales hidroeléctricas”, México. Disponible en internet: [http://www.ingenieria.unam.mx/~deptohidraulica/publicaciones/pdf\\_publicaciones/SELECYDIMENSIONAMIENTOdeTURBINAS.pdf](http://www.ingenieria.unam.mx/~deptohidraulica/publicaciones/pdf_publicaciones/SELECYDIMENSIONAMIENTOdeTURBINAS.pdf)

**[12]** ZOEB Husain, ZULKIFLY Abdullah, ZAINAL Alimuddin. Basic Fluid Mechanics and Hydraulic Machines: BS Publications.

**[13]** Sisa Amaguaya Edison F., Villarroel Herrera Wilmer M., “Diseño e instalación de una pico-central hidroeléctrica en la Hacienda La Isabela”, Riobamba, Ecuador. Disponible en internet: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/257/1/15T00414.pdf>



**[14]** The World Bank Group, “Technical and Economic Assessment of Grid, Mini-Grid and Off-Grade Electrification Technologies” Washington D.C, U.S.A Disponible en:

<http://siteresources.worldbank.org/EXTENERGY/Resources/336805-1157034157861/ElectrificationAssessmentRptAnnexesFINAL17May07.pdf>

**[15]** Weyler Ordoñez Pech “Diseño, construcción y evaluación de un hidropulsador” Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5507/T13993%20ORDO%C3%91EZ%20PECH%2C%20WEYLER%20%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**[16]** SER Colombia, “Alternativas para la inclusión de FNCER en la matriz energética colombiana” Disponible en: <http://www.ser-colombia.org/images/Anexo-1.pdf>

**[17]** U.S.B.R., “Selecting Hydraulic Reaction Turbines,” (A Water Resource Technical Publication), United States Department of The Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Co.

**[18]** Hernando José Gómez, “El Gobierno Nacional plantea una reforma que ayudará a cumplir los compromisos internacionales que en materia ambiental tiene Colombia que alejará la sombra de una crisis por efectos de la variabilidad climática”, Portafolio. Disponible en: <http://m.portafolio.co/opinion/hernando-jose-gomez/energias-renovables-no-convencionales-necesarias-y-urgentes-514626>

**[19]** Campusano Bolarín Fernando, “Aprovechamiento hidráulico de la fuente principal de la comunidad de aguas del Maimon”, Cartagena, Colombia. Disponible en internet: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/1988/pfc3939.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**[20]** Blanco Morazán José A., “proyectos pico hidroeléctricos para electrificación de fincas cafetaleras en zonas aisladas”, Honduras y Nicaragua. Disponible en internet: [https://energypedia.info/images/6/60/Proyectos\\_Picohidroel%C3%A9tricos\\_Honduras\\_y\\_Nicaragua.pdf](https://energypedia.info/images/6/60/Proyectos_Picohidroel%C3%A9tricos_Honduras_y_Nicaragua.pdf)

**[21]** Gorlov Alexander, “Hydraulic cross-flow turbines” Boston





[22] Kolekar, Nitin, y otros, “Hydrodynamic design and optimization of hydrokinetic turbines using a robust design method”. Disponible en: <http://www.globalmarinerenewable.com/images/hydrodynamic%20design%20and%20optimization%20of%20hydrokinetic%20turbines.pdf>.

[23] Peter Garman, “Water Current Turbines (a Fieldworker’s Guide)”, Intermediate Technology Publications

[24] COZ, Federico y otros. MANUAL DE MINI Y MICROCENTRALES HIDRÁULICAS, Intermediate Technology Development Group, ITDG. 1996.

[25] Segura Triana Luis Eduardo, “Estudio de antecedentes sobre la contaminación hídrica en Colombia”. Disponible en: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/estudio%20de%20antecedentes%20sobre%20la%20contaminaci%C3%B3n%20h%C3%ADdrica.pdf>

[26] IDEAM, “Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia”. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022655/MEMORIASMAPAZONIFICACIONHIDROGRAFICA.pdf>

[27] Hernández Torres Camilo Andrés, “Análisis ambiental de las grandes centrales hidroeléctricas de Colombia aplicando metodología multiobjetivo”. Disponible en: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14037/T41.11%20H430a.pdf>

[28] Roberson, J.A., Cassidy, J.J., Chaudhry, M.H., Hydraulic Engineering

[29] Landa Quimbata Freddy J., Llanganate Quinatoa Luis E., “Diseño y construcción de una pico-central hidroeléctrica utilizando una turbina Michell Banki para generación eléctrica en el sector de las carmelitas del Canton Tena” Provincia de Napo, Ecuador. Disponible en internet: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3637/1/T-ESPEL-0591.pdf>

[30] Pontificia Universidad Católica del Perú. Tesis PUCP, Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú. [En línea]. Diseño de turbina tipo

**RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN  
- RAE -**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia  
Vigilada Mineducación

RIUCaC

Kaplan Disponible en internet:  
file:///PEREZ\_PIERO\_GRUPO\_GENERACION\_KAPLAN\_TUBULAR%20(1).pdf

[31] Roberson, J.A., Cassidy, J.J., Chaudhry, M.H., Hydraulic Engineering, 2º ed., Wiley, 1997.

[32] Friedrich, R., and Voss, A. (1993), “External cost of electricity generation”, Energy Policy.

[33] Pontificia Universidad Católica del Perú. Tesis PUCP, Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú. [en línea]. Diseño de turbina tipo Kaplan Disponible en internet:  
file:///PEREZ\_PIERO\_GRUPO\_GENERACION\_KAPLAN\_TUBULAR%20(1).pdf

[34] Grosso María Florencia, “Energía Renovable para Comunidades Aisladas”, Universidad Nacional de Córdoba. Disponible en internet:  
file:///D:/UNIVERSIDAD%20CATÓLICA/ANTEPROYECTO/TRABAJO%20DE%20GRADO/Energ%C3%ADa%20Renovable%20para%20Comunidades%20Aisladas.pdf

[35] Benito Diego Vicente “Diseño de una turbina Kaplan para un caudal de  $15\text{m}^3$  y salto neto de  $10\text{m}$ ”, Universidad de Salamanca, 2010. Disponible en internet:  
2file:///D:/UNIVERSIDAD%20CATÓLICA/ANTEPROYECTO/TRABAJO%20DE%20GRADO/Diseño%20de%20una%20turbina%20KaplanDVB.pdf

**LISTA DE ANEXOS:**

ANEXO I. MEMORIAS DE CÁLCULO

ANEXO II. PLANOS

ANEXO III. PESOS DE LOS ELEMENTOS EN ACERO INOXIDABLE Y PVC