



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA ACÁDEMICO PROFESIONAL DE MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**

Performance De Una Turbina Hidrocinética Cónica A Partir Del  
Potencial Hidráulico De Un Canal De Regadío.

**TESIS PARA OPTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Mecánico Electricista

**AUTORES:**

Domínguez Roldán, Jesús Virgilio (ORCID: 0000-0001-6107-3180)

Quezada Ruiz, Roy Glen (ORCID: 0000-0002-3113-1244)

**ASESOR:**

Mg. Julca Verástegui Luis Alberto (ORCID: 0000 0003 5111 1429)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Generación, Transmisión y Distribución

Trujillo – Perú

2019

## **Dedicatoria**

A Dios por guiarme día a día con mucha sabiduría y fortaleza, permitiéndome conseguir cada peldaño de mi vida y por darme buena salud y no rendirme ante cualquier situación difícil.

A mis padres **E. D. M. y E. R. M.**, por ser el apoyo fundamental, tanto académica, como profesional y espiritual. Por su amor, comprensión, consejos, apoyó en momentos difíciles. Me han brindado todo lo que soy como persona, con buenos principios, valores y con gran coraje para alcanzar mis metas.

A mis padres **Pascual Quezada Asunción y Alvina Ruiz Anticona**, por darme la vida, por apoyarme y aconsejarme de manera incondicional, por hacer de mí una persona, optimista con ganas de salir adelante, por su paciencia y por sus sabios consejos que siempre están ahí para recordármelo.

A mi padre por inculcarme siempre por el camino correcto, por enseñarme a pensar en tener deseos de superación, a mi madre que siempre me brindo su amor y cariño aun en los momentos más difíciles.

Domínguez Roldán Jesús  
Quezada Ruiz Roy

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios, por bendecirme, guiarme y darme la oportunidad de cumplir mis objetivos propuestos.

Agradezco principalmente mis padres por brindarme su apoyo incondicional en cada momento y que todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

A la Universidad Cesar Vallejo y a mis profesores  
Por habernos dado la oportunidad de contribuir a la superación y por hacer del Perú un mejor país, que gracias a sus consejos y sabias enseñanzas han sabido hacer profesionales capaces, que tanto se necesitan en el país.

Domínguez Roldán Jesús  
Quezada Ruiz Roy

## Índice

	Pág.
Caratula .....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Declaratoria de autenticidad.....	iv
Índice.....	v
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
I.INTRODUCCIÓN .....	ix
II. .... MARCO TEÓRICO .....	3
III. MÉTODOLÓGÍA .....	13
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	13
3.2. Operacionalización de variables. ....	14
3.3. Población y muestra. ....	14
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. ....	14
3.5. Procedimiento .....	14
3.6. Método de análisis de datos .....	16
3.7. Aspectos éticos .....	16
IV. RESULTADOS. ....	16
V.DISCUSION. ....	26
VI.CONCLUSIONES. ....	28
VII. RECOMENDACIONES. ....	29
REFERENCIAS .....	30
ANEXOS .....	32

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> Resistencia de los aceros 1040 (Shigley, 2008) .....	22
<b>Tabla 2:</b> costo total del prototipo. Fuente propia.....	23
<b>Tabla 3:</b> Operacionalización De Variables. Elaboración Propia de los autores .....	32
<b>Tabla 4:</b> Matriz de consistencia. Elaboración Propia de los autores.....	33
<b>Tabla 5:</b> Resistencia de los aceros (Shigley, 2008) .....	56
<b>Tabla 6:</b> costo de materiales. Fuente propia.....	58
<b>Tabla 7:</b> costo de dinamo. Fuente propia .....	59
<b>Tabla 8:</b> costo de materiales de anclaje. Fuente propia .....	60
<b>Tabla 9:</b> Ficha técnica de planchas galvanizadas .....	61
<b>Tabla 10:</b> Ficha técnica de planchas galvanizadas.....	62

## Índice de gráficos y figuras

<b>Gráfico 1:</b> Coeficiente de carga vs Caudal fuente propia.....	37
<b>Gráfico 2:</b> Reynolds vs coeficiente de carga. Fuente propia.....	37
<b>Gráfico 3:</b> Reynolds vs coeficiente de carga. Fuente propia.....	38
<b>Gráfico 4:</b> Eficiencia. Fuente propia.....	39
<b>Gráfico 5:</b> Coeficiente de potencia vs Reynolds .....	39

<b>Figura 1:</b> Producción de energía renovable en el Perú. Elaborado a partir de (SEIN, 2018).....	1
<b>Figura 2:</b> Distribución de la Cuenca del Amazonas en América del Sur. (SEIN, 2018).....	2
<b>Figura 3:</b> Funcionamiento de una rueda hidráulica. Obtenido de Fernandes (2015). .....	6
<b>Figura 4:</b> Tipos de turbinas hidrocínética de flujo tangencial. Obtenido de Yachou (2015) .....	8
<b>Figura. 5:</b> Distribución de las partes aprovechables de un canal o río. Obtenido de (Olavarrieta, Saiz y Saiz (2012) .....	9
<b>Figura. 6:</b> Comparación de los tipos de flujo. Obtenido de (Olavarrieta, Saiz y Saiz (2012) .....	10
<b>Figura 7.</b> Distribución de la velocidad en un canal abierto. Olavarrieta, Saiz y Saiz (2012) .....	11
<b>Figura 8.</b> Evaluación de una turbina hidrocínética cónica para la generación de energía eléctrica..	15
<b>Figura 9:</b> Proceso de fabricación de la turbina cónica. Fuente propia .....	24
<b>Figura 10.</b> Área mojada de la aleta de la turbina. Fuente propia .....	34
<b>Figura 11.</b> Distribución de cargas sobre la aleta de la turbina. Fuente propia .....	42
<b>Figura 12.</b> Distribución de cargas por áreas de la aleta de la turbina. Fuente propia .....	43
<b>Figura 13.</b> Centro de gravedad de la aleta. Fuente propia .....	44
<b>Figura 14.</b> Diagrama de momento. Fuente propia .....	45
<b>Figura 15.</b> Distribución de cargas en el eje. Fuente propia .....	46
<b>Figura 16.</b> Diagrama de distribución de fuerzas en el eje. Fuente propia .....	47
<b>Figura 17.</b> Diagrama de corte a una distancia x. Fuente propia .....	49
<b>Figura 18.</b> Relación de triángulos. Fuente propia .....	49
<b>Figura 19.</b> Diagrama de fuerza concentrada. Fuente propia .....	50
<b>Figura 20.</b> Segundo diagrama de fuerzas distribuidas. Fuente propia .....	51
<b>Figura 21.</b> Segundo diagrama de fuerzas concentradas. Fuente propia .....	51
<b>Figura 22.</b> diagrama de momento y cortante en el eje. Fuente propia .....	52
<b>Figura 23.</b> diagrama de momento torsional en el eje. Fuente propia .....	54
<b>Figura 24:</b> especificaciones técnicas del generador. ....	59
<b>Figura 25:</b> diagrama de porcentaje con mayor costo. Fuente propia .....	60
<b>Figura 26:</b> ficha técnica de chumaceras skf recuperado de; SKF-Energy-Efficient-Y-bearing .....	62
<b>Figura 27:</b> Modelo de turbina. Fuente propia .....	63
<b>Figura 28:</b> Propiedades de material. Fuente propia .....	63
<b>Figura 29:</b> Carga del alabe de acuerdo a SolidWorks. Fuente propia .....	64
<b>Figura 31:</b> factor de seguridad en SolidWorks. Fuente propia .....	65
<b>Figura 33:</b> Propiedades del material. Fuente propia .....	66
<b>Figura 34:</b> Análisis de tensión de Von Mises en el eje. Fuente propia .....	66
<b>Figura 35:</b> Prototipo de turbina Hidrocínética de palas cónicas. Fuente propia .....	69
<b>Figura 36:</b> Medición del voltaje de la Turbina Hidrocínética Cónica. Fuente propia .....	69

## **RESUMEN.**

En la presente tesis se determinó la “Performance de una turbina hidrocínética tipo cónica aprovechando el potencial hidráulico de un canal de regadío de la Alameda el Cortijo Trujillo la Libertad” para generación de energía eléctrica, esto inicia previo a una investigación donde se determinó que el Perú es un país que cuenta con una de las extensiones de agua más grandes en América Latina, este recurso es aprovechado entre otras cosas para la generación de energía eléctrica. Sin embargo, existen algunas zonas denominadas “Zonas no Interconectadas (ZNI)”, donde el servicio eléctrico es escaso y en algunas ocasiones nulo. Algunas de estas zonas disponen de recursos hídricos, planteando como alternativa de solución la generación de energía eléctrica local por medio de una turbina hidrocínética cónica.

Para la fabricación de dicho prototipo se parte de un diseño de turbinas hidrocínéticas clasificándoles según su rendimiento, desventajas y ventajas; esto se hace previo a la inspección de canales de regadío disponibles, se diseñó una turbina cónica para el prototipo según sus características, parámetros de rendimiento, dimensiones y potencia, con ayuda del programa SOLIDWORKS se hicieron los análisis correspondientes en el álabe y eje de la turbina de dicha manera se valida el comportamiento de la estructura; que sirvió como guía para los cálculos, siendo una investigación aplicada.

Los instrumentos que se utilizaron en dicha investigación es la ficha de datos, se utilizaron equipos de medición que permitieron hacer un mejor levantamiento de datos aplicando la observación de esa manera presentar una alternativa de generación de energía eléctrica aprovechando el recurso hídrico de un canal de regadío enfocándose en el análisis fluodinámicos de la turbina cónica.

Se determinado un rendimiento mayor a las otras turbinas hidrocínética por ser más liviana, fácil mantenimiento. El canal de pruebas tiene una altura de 80 cm, ancho de 1.20 m y una velocidad de agua de 2.37 m/s con estos datos se logra generar un voltaje de 168 Mv. Con esta investigación se quiere mejorar la calidad de vida de las personas que no cuentan con fluido eléctrico, también se estaría contribuyendo con el medio ambiente por ser una energía renovable.

**Palabras Claves:** Hidrocínética, turbinas, eficiencia y generación.

## ABSTRACT:

In the present thesis the "Performance of a conical hydrokinetic turbine taking advantage of the hydraulic potential of an irrigation channel of the Alameda el Cortijo Trujillo la Libertad" was determined for the generation of electrical energy, this begins prior to an investigation where it was determined that the Peru is a country that has one of the largest water extensions in Latin America, this resource is used, among other things, for the generation of electricity. However, there are some areas called "Non-Interconnected Zones (ZNI)", where electricity service is scarce and sometimes null. Some of these areas have water resources, proposing as an alternative solution the generation of local electricity through a conical hydrokinetic turbine.

To manufacture this prototype, the starting point is a design of hydrokinetic turbines, classifying them according to their performance, disadvantages and advantages; This is done prior to the inspection of available irrigation channels, a conical turbine was designed for the prototype according to its characteristics, performance parameters, dimensions and power, with the help of the SOLIDWORKS program the corresponding analyzes were made on the blade and shaft of the turbine in this way the behavior of the structure is validated; which served as a guide for the calculations, being an applied research.

The instruments that were used in this investigation is the data sheet, measuring equipment was used that allowed a better data collection by applying the observation in this way to present an alternative of electricity generation taking advantage of the water resource of an irrigation canal focusing on the fluodynamic analysis of the conical turbine.

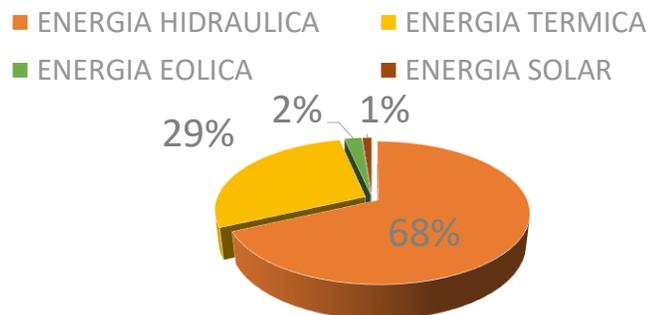
A higher performance than the other hydrokinetic turbines was determined for being lighter, easy maintenance. The test channel has a height of 80 cm, width of 1.20 m and a water velocity of 2.37 m / s with these data it is possible to generate a voltage of 168 Mv. With this research we want to improve the warm life of people who do not have electricity, it would also be contributing to the environment by being a renewable energy.

**Keywords:** Hydrokinetics, turbines, efficiency and generation.

## I. INTRODUCCIÓN

La Asociación Internacional de Hidroelectricidad (IHA, 2018) ha determinado que la capacidad de generación de energía hidroeléctrica en el mundo, tiene la siguiente composición: Asia Oriental y el Pacífico con 9,8 GW; América del Sur con 4,1 GW; Asia del Sur y Central con 3,3 GW; Europa con 2,3 GW, África con 1,9 GW y el Norte y Centroamérica con 0,5 GW. China con 9 120 MW, Brasil con 3 376 MW y la India con 1 908 MW, lideran el ranking en el mundo. Perú con 200 MW se ubica en el puesto 14, siendo el segundo país latinoamericano, detrás de Brasil, que como se ha señalado ocupa el puesto 2.

El Perú ha logrado obtener un coeficiente de electrificación de 78% a nivel nacional, pero es un problema grande de desigualdad entre áreas urbanas y rurales. De acorde a la última Encuesta Nacional de viviendas realizada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el 42% de las zonas rurales de la selva peruana no cuentan con energía eléctrica, frente a las zonas rurales de la costa y sierra, que cuenta con el servicio en un 78.5% y 72.4%, respectivamente, (INEI, 2017), Según el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin, 2018) afirma que el 7% de la población no tiene acceso al sistema interconectado, proponiendo que se debe implementar tecnologías limpias y modernas (energía renovable), para electrificar en un mayor porcentaje el país. Por otro lado, el Sistema Interconectado Nacional (SEIN, 2018) indica que la energía hidráulica es la principal fuente para la generación de energía eléctrica, como se muestra en la figura 1.



**Figura 1:** Producción de energía renovable en el Perú. Elaborado a partir de (SEIN, 2018).

La región de la cuenca del Amazonas posee el 97,7 % de los recursos hídricos del Perú, donde vive aproximadamente una cuarta parte de la población. El acceso a la electricidad en las zonas urbanas es cercano al 90 %, mientras que en las zonas rurales es de alrededor del 78%. El Plan Nacional de Energía 2014-2025 desarrollado por el Ministerio de Energía y Minería (MINEM) espera que la demanda de energía peruana crezca entre 4.5 y 6.5 por ciento anual para 2025, lo que se satisfará principalmente con la energía hidroeléctrica y el crecimiento de otras energías renovables.

Perú es el segundo país con más recurso hídrico abundante, donde los ríos poseen una cantidad alta de energía y ha sido utilizada principalmente como fuente renovable para generación en grandes y convencionales centrales hidroeléctricas. Indicando también que el uso de esta fuente renovable no genera muchos daños al medio ambiente y además puede ser empleada de diferentes formas (Osinergrmin, 2018). La población nacional, está conformada por poblaciones aisladas geográficamente de los asentamientos urbanos más importantes y no disponen de un servicio de suministro de energía confiable o carecen de éste, como es el caso de las áreas de Amazonas y Andes, el (MINEM, 2016). Propone que en estos lugares se debe implementar una planta de generación propia de la zona permitiendo satisfacer las necesidades de los caseríos alejadas que facilitará y disminuirá los costos para introducir el sistema interconectado (fluido eléctrico), indicando que la energía es uno de los factores fundamentales para el desarrollo de los pueblos, y que se debe totalizar y llegar a electrificar hasta el más recóndito caserío del Perú



**Figura 2:** Distribución de la Cuenca del Amazonas en América del Sur. Obtenido de (SEIN, 2018)

## II. MARCO TEÓRICO

De acuerdo a lo mencionado en la introducción se describen los antecedentes donde se indican las diferentes investigaciones sobre Turbinas Hidrocinética (TH), que han logrado suministrar fluido eléctrico a los lugares alejados del interconectado eléctrico; dichas turbinas aprovechan el caudal de ríos y canales. Es el caso de Linares (2019) realiza el diseño y construcción de una TH de eje vertical tripala para hacer pruebas hidrodinámicas en el canal de la Universidad Nacional Colombia (UNC), el motivo de la investigación es porque los pueblos alejados no cuentan con suministro de energía donde el propone instalar una turbina hidrocinética aprovechando los recursos naturales y contribuyendo con el medio ambiente, para eso se tiene que tener en cuenta características importantes de un canal o río como son la velocidad y potencia media.

Para la fabricación de los alabes se utilizó fibra de vidrio con resina epóxica para posteriormente hacer el análisis del mismo utilizando el software Q-Blade, su eje principal es seleccionado usando el criterio de falla por fatiga y análisis de resistencia de materiales para las uniones atornilladas; para la selección de la turbina se utilizó el principios de aerogeneradores que estos presentan bases del aprovechamiento de la energía de un fluido en movimiento, el canal de la UNC posee las siguientes dimensiones; ancho de 1.20 m y una profundidad de 1.20 m, con estos datos se hace el diseño del rotor para trabajar bajo las siguientes características; Velocidad del río de 1.1 m/s y su alabe con un diámetro de 0.70 m, también se tomó en cuenta los perfiles NACA para garantizar el mayor aprovechamiento de la transmisión de potencia hacia el eje llegando a una potencia media real de 670 W y a carga aplicada a los alabes corresponden a 119.7 N. dicho proyecto tiene un costo de 8.196.110 pesos dicho monto fue tomado de las cotizaciones de los diferentes almacenes de materia prima y empresas metalmecánicas.

Yachou (2015) desarrolla el diseño y cálculo de una TH para ríos partiendo de los datos de un punto geográfico de España donde se propone como meta generar 3 KW de energía eléctrica; el deseo de realizar este proyecto surge por la inquietud sobre la situación actual en el mundo donde todavía predomina el uso de materias primas fósiles para la producción energética, los cuales están causando el enorme

desequilibrio ambiental en la Tierra, siempre que se quiere instalar una TH se tiene que tener en cuenta anchura y profundidad ya sea de un río o canal Yachou eligió un río que tenía a su alrededor viviendas, hostales y granjas la cual se estaría haciendo el prototipo de una TH de eje horizontal recto con anclaje flotante y generador no sumergido, las dimensiones que cuenta el río; longitud 3 m - 5 m, ancho 1 m- 2.5 m, profundidad 1.50 m – 2.5 m este río tiene una velocidad de 1 m/s – 5 m/s obteniendo una potencia de la turbina de 2 KW – 3,5KW, su generador eléctrico sería del tipo de imanes permanentes sus dimensiones aproximadas son 2.5 m x 5 m x 2,5 m. este tendrá una estructura de polietileno realizada con el proceso de roto moldeado (trabajando a una temperatura de 120 -130°C) estos componentes se analizarán en el software Q-Blade, los perfiles se seleccionaron de acuerdo al perfil NACA 4410. Las palas tendrán un material de plástico ABS debido a sus buenas características y la ventaja de fabricar el diseño propuesto mediante un moldeo por inyección, la turbina está formada por 3 palas con un peso total de 980 kg. (Campos y Vasquez (2017) realizan un análisis técnico – económico, diseño y evaluación experimental de una TH en un canal de riego de la serranía centro norte del Ecuador, el canal tiene las siguientes dimensiones, ancho 2.20 m, profundidad 1.70 m con una velocidad de 1.2 m/s estos datos le permiten elegir la TH más adecuada y rentable, optando por la TH Garlov.

Para este diseño se realizaron dos simulaciones una en Matlab y otra en Ansys, después de los análisis se opta por fabricar los alabes en impresión 3D, para la construcción de los discos se utilizó una plancha de aluminio de 10 milímetros de espesor. Teniendo las impresiones elige el diámetro de la turbina de 0.45 m con una velocidad angular de 11 rad/s es decir 105 RPM, se tiene que tener en cuenta las condiciones físicas del canal como son el caudal, velocidad en este caso se tiene un caudal de 4.5 m<sup>3</sup>/s la turbina Garlov cuenta con 3 alabes analizados bajo los perfiles NACA 0018 con los ángulos de ataque 6°, torcedura 120° y hélice 51.85°, dicho prototipo tubo una inversión de \$7 659,18 considerando todos los gastos pero dadas las circunstancias no es un proyecto económicamente rentable, debido entre otros factores a los todavía altos costos de desarrollo y manufactura. Ventura (2018) diseño una TH en el caserío de pampa bernilla – Lambayeque donde determina

la eficiencia de un sistema de energía eléctrica utilizando una TH para dar energía eléctrica a caseríos alejados de las ciudades dicha turbina no se llegó a construir el motivo de su investigación es que los pueblos alejados no cuentan con energía y quedan en el retraso impidiendo el desarrollo de las localidades, la turbina diseñada genera una potencia de 7.65 KW la cual es eficiente debido a que en el caserío de Salas se tiene una demanda de 6.27 KW este se logra con una velocidad de agua 2.7 m/s, caudal 2.1 m<sup>3</sup>/s, se tiene una velocidad de rotación 77.34 RPM, los alabes tienen un diámetro de 2 m, la turbina es de eje vertical sumergible y cuenta con 3 alabes.

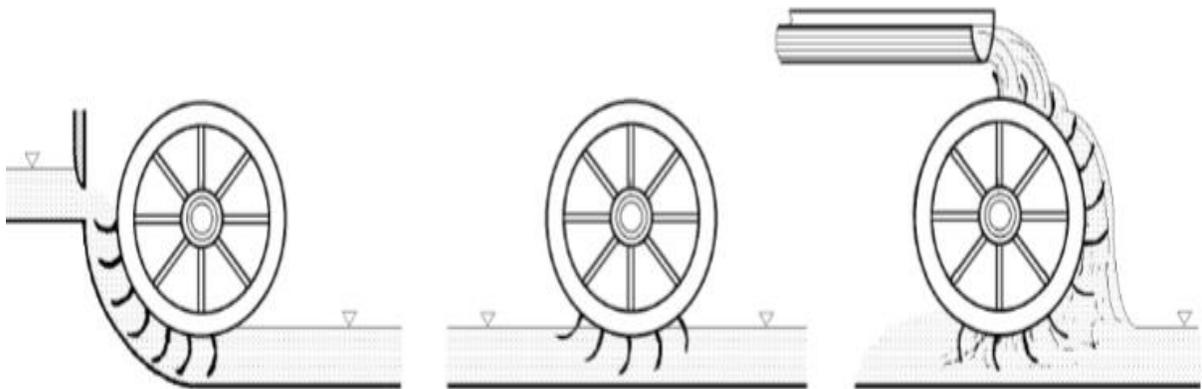
Para dar mayor énfasis a los antecedentes mencionados se tiene en cuenta algunos conceptos que permiten realizar el diseño de una turbina hidrocínética, primero deben seleccionar y analizar las condiciones del canal o río donde se van instalar su turbina para eso se tiene en cuenta lo siguiente: El canal o río no debe presentar turbulencia, ubicar un lugar que tenga una pendiente ponderada para aprovechar la mayor velocidad posible del fluido de esa manera se estaría mejorando el rendimiento de la TH, el ancho del canal o río no debe ser excesivo para anclar la estructura de la turbina hidrocínética para así brindar mayor seguridad, por otro lado la profundidad mínima debe 1.5 metros y no debe acarrear materiales ajenos al fluido (basura). Además, se tiene que hacer el cálculo respectivo del caudal para de esa forma poder calcular el radio de turbina, de esa manera evitar inconvenientes en el diseño y construcción.

Para hacer las mediciones correspondientes se hace uso de instrumentos, como es el Caudalímetro (instrumento para medir caudal), flexómetro (instrumento para medir distancias; ancho, largo y profundidad), tacómetro (instrumento para medir las RPM de ejes). Se realizará cálculos de velocidades en diferentes tramos del canal PECH para hacer comparaciones y elegir el tramo adecuado que permita la instalación de dicha turbina también es necesario calcular el área transversal que será indispensable para el cálculo y dimensionamiento de la estructura o base de la turbina hidrocínética.

Turbomáquinas hidráulicas; dispositivos que convierten la energía hidráulica en energía mecánica y viceversa; pueden ser motrices (turbinas), o generatrices

(bombas), modificando el sentido del flujo de la energía, según Quispe (2015). Por otro lado, Chávez (2014) dice que la turbina es un motor rotativo, que convierte en energía mecánica la energía potencial de una corriente de agua, vapor de agua o gas. Esta es la manera más conocida de aprovechar la energía mecánica y convertirlo en energía eléctrica, el eje de transmisión más conocido como árbol de transmisión es un eje que transmite un esfuerzo o par motor donde está sometido a solicitaciones de torsión debido a la transmisión de un par de fuerzas y puede estar sometido a otros tipos de solicitaciones mecánicas al mismo tiempo estas turbomáquinas se clasifican según su función que desempeñan.

Las Turbomáquinas Hidráulicas Motrices, ganan la energía cinética o potencial cedida por el fluido que las atraviesa y la transforman en energía mecánica pudiendo ser de dos tipos: Dinámicas o cinéticas (Ruedas Hidráulicas o Turbinas Hidráulicas), Estáticas o de Presión Ventura (2018). Como se muestra la figura 3



**Figura 3:** Funcionamiento de una rueda hidráulica. Obtenido de Fernandes (2015).

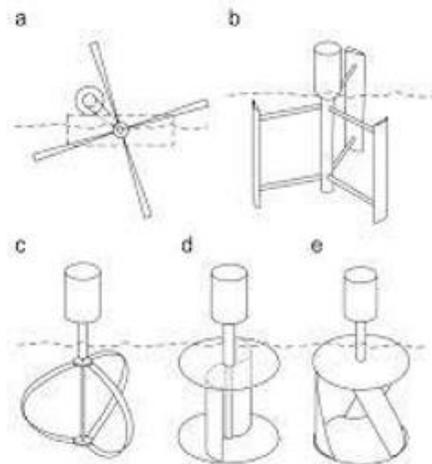
Turbomáquinas generatrices, incrementan la energía del fluido (aumento de presión), o cinética; la energía mecánica que consumen es suministrada por un motor, pudiendo ser: Bombas de álabes (bombas centrífugas y axiales); Hélices marinas; proporcionan un empuje sobre la carena de un buque. Fernandes (2015). Turbomáquinas reversibles, tanto generatrices como motrices, que ejecutan una serie de funciones que quedan aseguradas, mediante un rotor específico, siendo las más importantes: Grupos turbina-bomba (utilizados en centrales eléctricas de acumulación

por bombeo); Grupos Bulbo (utilizados en la explotación de pequeños saltos y centrales mareomotrices). Fernandes (2015).

Las turbinas son máquinas de fluido, a través de las cuales pasa un fluido de forma continua y este le entrega su energía cinética a través de un rotor con alabes siendo este el elemento más importante de la turbina debido que el movimiento del fluido produce un movimiento tangencial que impulsa la rueda. El caudal es la cantidad de fluido que pasa por una sección transversal de un ducto en un tiempo determinado, (tubería, ríos, canales); La Potencia Generada es la proporción de energía eléctrica transmitida por un elemento en un tiempo establecido. La Energía Potencial es La cantidad de energía aportada por este componente que depende de una diferencia de nivel del fluido, al igual que la Energía Cinética es la energía mecánica que aporta la velocidad con la que se transporta el agua. Los sistemas hidrocínicos trabajan con la energía del flujo libre por lo que requieren mucho más volumen de agua para alcanzar la producción eléctrica razonable, Según Mendoza (2017), La Energía Hidrocínica consiste en aprovechar la energía dada por la velocidad de una corriente de agua para producir electricidad. A diferencia de las tradicionales plantas hidroeléctricas en donde se aprovecha la energía potencial del agua almacenada para lo que se requiere la construcción de represas, la energía hidrocínica no necesita grandes infraestructuras ni obras civiles, implicando bajos costos de inversión, operación y mantenimiento. Adicionalmente tiene un impacto mínimo sobre el medio ambiente; las TH se clasifican según la posición del eje con respecto a la corriente que las impulsa, se dividen en dos categorías principales: En las turbinas de flujo Axial, El fluido de trabajo es paralelo al eje de rotación en este caso se encuentran los de tipo anclaje rígido y anclaje flotante, eje inclinado flotante con generador sobre la superficie; Turbina anclada en la parte superior del fluido, pero con eje inclinado, sumergida en su totalidad con un contrapeso de regulación de acuerdo a la cantidad de fluido, anclaje flotante en tipo de anclaje encontramos al de generador sumergido y generador no sumergido. El generador de electricidad se encuentra dentro del agua, mientras que el generador no sumergido se encuentra por encima del límite de fluido.

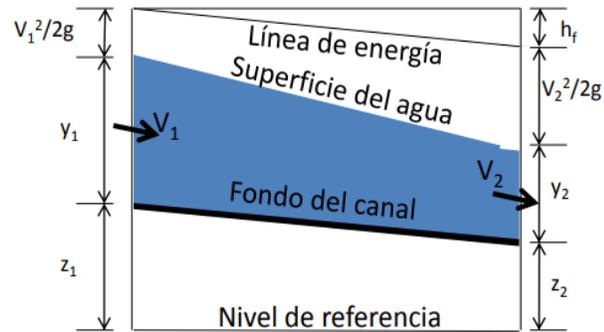
El Flujo Tangencial, tienen la peculiaridad de que la corriente impulsora se mueve perpendicularmente al eje de rotación, en la *figura 4* puede observar que los

álabes de las turbinas de flujo cruzado tienen dos puntos de sujeción al eje rotacional, esto hace que los álabes requieran de menos rigidez estructural, en comparación con las turbinas de eje horizontal. Las máquinas de eje vertical están basadas en dos diseños de turbina eólicas, la turbina Darrieus y la turbina Savonius. Esta última es una turbina de fácil construcción, pero de baja eficiencia, ya que utiliza la fuerza de arrastre como su fuente motriz, lo cual limita su desempeño. Según Ventura (2018)



**Figura 4:** Tipos de turbinas hidrocineéticas de flujo tangencial. Obtenido de Yachou (2015)

Por otro lado, Castellanos, Collazos, Farfan, Pertuz (2017) nos indica que el componente más importante de la turbina hidrocineética es el rotor. Uno de los problemas más significativos en términos de la confiabilidad y larga duración de los rotores es el problema general de la fatiga. Las uniones son particularmente el foco de los problemas de fatiga local acelerados por la vibración que aparece cuando hay embalsamiento. (pág. 12). Canales y Ríos, el flujo en canales abiertos y ríos por el hecho de tener un lado abierto es mucho más complicado realizar su análisis de flujo, debido a que la superficie libre puede variar, un canal puede ser de diferentes formas y puede variar con el tiempo, la rugosidad varía con la posición de la superficie libre (Castellanos, Collazos, Farfan C y Pertuz (2017)



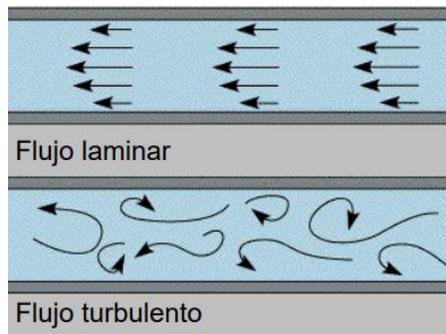
**Figura. 5:** Distribución de las partes aprovechables de un canal o río. Obtenido de (Olavarrieta, Saiz y Saiz (2012)

Estado del flujo, Los comportamientos del flujo en los canales abiertos son gobernados por la viscosidad y la gravedad relativa a las fuerzas de inercia. Por los efectos de la viscosidad el flujo puede ser de tres tipos: Flujo Laminar; Es cuando el gradiente de velocidad es bajo, la fuerza de inercia es mayor que la de fricción, las partículas se desplazan, pero no rotan, o lo hacen con muy poca energía el resultado final es un movimiento en el cual las partículas siguen trayectorias definidas, y todas las partículas que pasan por un punto en el campo del flujo siguen la misma trayectoria. Las partículas se desplazan en forma de capas o láminas. Perez (2019). Flujo Turbulento; al aumentar el gradiente de velocidad se incrementa la fricción entre partículas vecinas al fluido y adquieren una energía de rotación apreciable; la viscosidad pierde su efecto y debido a la rotación las partículas cambian de trayectoria las partículas chocan entre sí y cambian de rumbo en forma errática. (Olavarrieta, Saiz y Saiz (2012)

Flujo Laminar  $Re < 500$

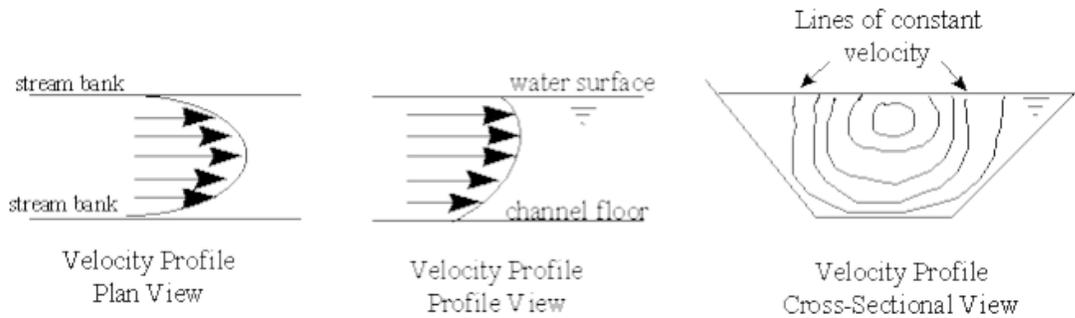
Flujo Turbulento  $Re > 2000$

Flujo en Transición  $500 < Re < 2000$



**Figura. 6:** Comparación de los tipos de flujo. Obtenido de (Olavarrieta, Saiz y Saiz (2012)

Propiedades de los canales abiertos. Un canal abierto es un conducto en el que el agua fluye con una superficie libre. Canal natural, son todos los que existen de manera natural en la tierra: arroyuelos, arroyos, ríos, estuarios de mareas, entre otros. Las propiedades hidráulicas de un canal natural son muy complejas, para su estudio se hacen suposiciones razonables para tratarlos con los principios de la hidráulica teórica, que lo estudia la Hidráulica Fluvial. Y los Canales artificiales son construidos mediante esfuerzo humano; canales de navegación, canales de centrales hidroeléctricas, canales y canaletas de irrigación, cunetas de drenaje, vertederos, canales de desborde, cunetas de carreteras, canales de laboratorio, etc. Las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas hasta un nivel deseado o diseñadas para cumplir requisitos determinados. El canal artificial es un canal largo con pendiente suave, construido sobre el suelo, que puede ser no revestido o no revestido con roca, concreto, madera o materiales bituminosos, entre otros. En este curso se estudiarán canales prismáticos, que se construyen con una sección transversal invariable y una pendiente de fondo constante, la distribución de la velocidad en un canal abierto; la velocidad en un canal no es constante ni la misma en cada punto de una sección del canal. La viscosidad, la rugosidad y la forma del canal, entre otros factores, afectan al flujo. En un canal trapecial, la velocidad sería como se muestra en el esquema siguiente: Perez (2019)



**Figura 7.** Distribución de la velocidad en un canal abierto. Olavarrieta, Saiz y Saiz (2012)

Viendo la realidad en nuestro país, se ve la manera de contribuir con el desarrollo la cual donde nos formulamos la siguiente pregunta. ¿Cómo determinar la performance de la turbina hidrocínética tipo cónica para generar energía eléctrica a partir del potencial hidráulico de un canal de regadío?

Sería una de las posibles soluciones a la problemática que aqueja a los cuidados sin fluido eléctrico donde se plasma los siguientes aspectos. Referido en el aspecto económico, el presente proyecto tiene como finalidad diseñar una TH que sea factible; de fácil instalación y de bajo costo en la cual nos permitirá beneficiar a la población y se estaría mejorando la calidad de vida de las personas con un diseño capaz de generar energía eléctrica a un costo accesible de todos los ciudadanos. En el campo técnico, el contexto internacional se ha demostrado que es posible generar energía a partir de un fluido en movimiento, además siendo conscientes de los altos recursos hídricos con los que contamos en el Perú, se hace necesario investigar posibles soluciones para aprovechar la energía cinética de los ríos, cuya implementación sea factible en el contexto nacional por medio de la adecuación de componentes comerciales, teniendo en cuenta factores críticos relacionados tales como bajo costo y mantenimiento.

En el ámbito medio ambiental, el aprovechamiento de los recursos hídricos para generar energía en pequeña escala presenta un alto impacto ambiental positivo que se motiva. De esta manera el desarrollo de un proyecto que promueva el cuidado del medio ambiente a la vez que genera bienestar para la comunidad, va de la mano del concepto de diseño sostenible asociado al desarrollo económico y social que no afecta

al medio ambiente. En el ámbito social, la imposibilidad del acceso a la energía eléctrica, por parte de un porcentaje representativo de la población peruana hace que este se considere como un problema de impacto social para el país. Si bien el servicio de energía no representa la única solución para el desarrollo, si constituye un factor fundamental para apoyar otras responsabilidades del Estado como la salud y la educación. Por esta razón existe una gran oportunidad en el desarrollo de productos que mejoren la calidad de vida de los habitantes de las zonas no interconectadas y disminuyan la problemática social que implica la ausencia o deficiencia del servicio de energía eléctrica. Asimismo, es un hecho que las necesidades de comunicación, conectividad y entretenimiento hacen parte del desarrollo personal y de la comunidad, y éstas requieren energía eléctrica para realizarse. En el ámbito Personal, el desarrollo de este proyecto significa un reto personal, por medio del cual se busca satisfacer una necesidad latente de no interconexión. Este reto requiere la exploración e integración de nuevas áreas del conocimiento en la búsqueda de una solución práctica que aporte al desarrollo social y tecnológico del país. Proyecto en el que se aplique el conocimiento adquirido en estos años de estudio, así mismo se evidencie el interés de crear productos que contribuyan a la sociedad.

La hipótesis es factible caracterizar la performance de una turbina hidrocínética tipo cónica a partir de un canal de regadío.

objetivo general, Determinar la performance de la turbina hidrocínética tipo cónica aprovechando el potencial hidráulico de un canal de regadío, para lograrlo se trazan los siguientes objetivos específicos.

- Evaluar la configuración geométrica de la turbina.
- Dimensionar el modelo de turbina hidrocínética considerando criterios de semejanza.
- Fabricar el modelo de turbina hidrocínética cónica.
- Experimentación (realizar protocolo de ensayos).
- Determinar el costo de fabricación del prototipo.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

##### Tipo de investigación.

Es una investigación aplicada por que cada método de cálculo y diseño son teorías que ya fueron descubiertas, se conocen y éstas lo usaremos para dar solución a nuestro problema planteado que es generar energía eléctrica en base al potencial hidráulico de los canales y ríos. De acuerdo al tipo de datos usados en la investigación es cuantitativa, Hernandez (2010) nos dice que “la investigación es un conjunto de procesos que mantienen un orden secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos omitir pasos, el orden es significativo ya que parten de una idea, derivando objetivos y preguntas de investigación, determinando las variables y trazando un plan para probarlas y a su vez medir estas variables en un determinado contexto”. Por ejemplo, se medirá la velocidad del fluido en diferentes tramos del canal, además se estimará una demanda de consumo eléctrico de los usuarios, siguiendo un orden secuencial en la investigación. Y según el método de procedimiento que sigue el proyecto es inductivo porque se partirá de teorías de casos particulares para llegar a algo general. Por ejemplo, se iniciará recogiendo ideas, partiendo de un potencial hidráulico y siguiendo cada procedimiento de diseño hasta obtener un sistema general de generación hidrocínética.

Según Hernandez (2010) la investigación es descriptiva porque se busca especificar las propiedades, características y los perfiles para hacer el análisis, ya que únicamente se recogerá información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren. Además, decimos que es descriptiva porque describiremos cada elemento del sistema de generación hidrocínética, debido a que la aplicación de este tipo de generación de energía eléctrica no es muy conocida en el Perú.

##### Diseño de investigación.

Experimental; Hernandez (2010) nos dice que la investigación es experimental debido a que el investigador manipulara una o dos variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas.

Dicho de otra forma, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente) y será transversal porque el estudio se realizará en un tiempo determinado.

### 3.2. Operacionalización de variables.

Variable Independiente: Performance

Variable Dependiente: Potencia eléctrica, Dimensionamiento de la turbina, Potencia generada y costo de implementación.

**Ver tabla 3.** Operacionalización De Variables, en anexos

### 3.3. Población y muestra.

Población. Turbinas hidrocínéticas.

Muestra. Turbina Hidrocínética Cónica (Prototipo).

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Observación. Se hizo una visita al canal de regadío de la empresa Laredo en el sector de la Alameda en un tramo de 40 m. tomando datos. Como velocidad del fluido y medidas hidráulicas del canal.

Instrumentos. Ficha de registro de datos.

### 3.5. Procedimiento

Se inicia con un estudio al comportamiento del fluido y medidas del canal que es el punto de partida para estimar el dimensionamiento de la turbina; para ello se empleará un prototipo de turbina hidrocínética cónica, la cual nos permitirá obtener la velocidad rotacional del eje ( $V$ ) y la sección del canal ( $A$ ), se midió directamente en el canal de regadío de la Alameda el Cortijo, a partir de estos datos obtendremos el caudal ( $Q$ ) que se empleó para el dimensionamiento de la turbina.

el dimensionamiento de la turbina permitió obtener los parámetros de operación y diseño a partir de los cálculos siguientes:

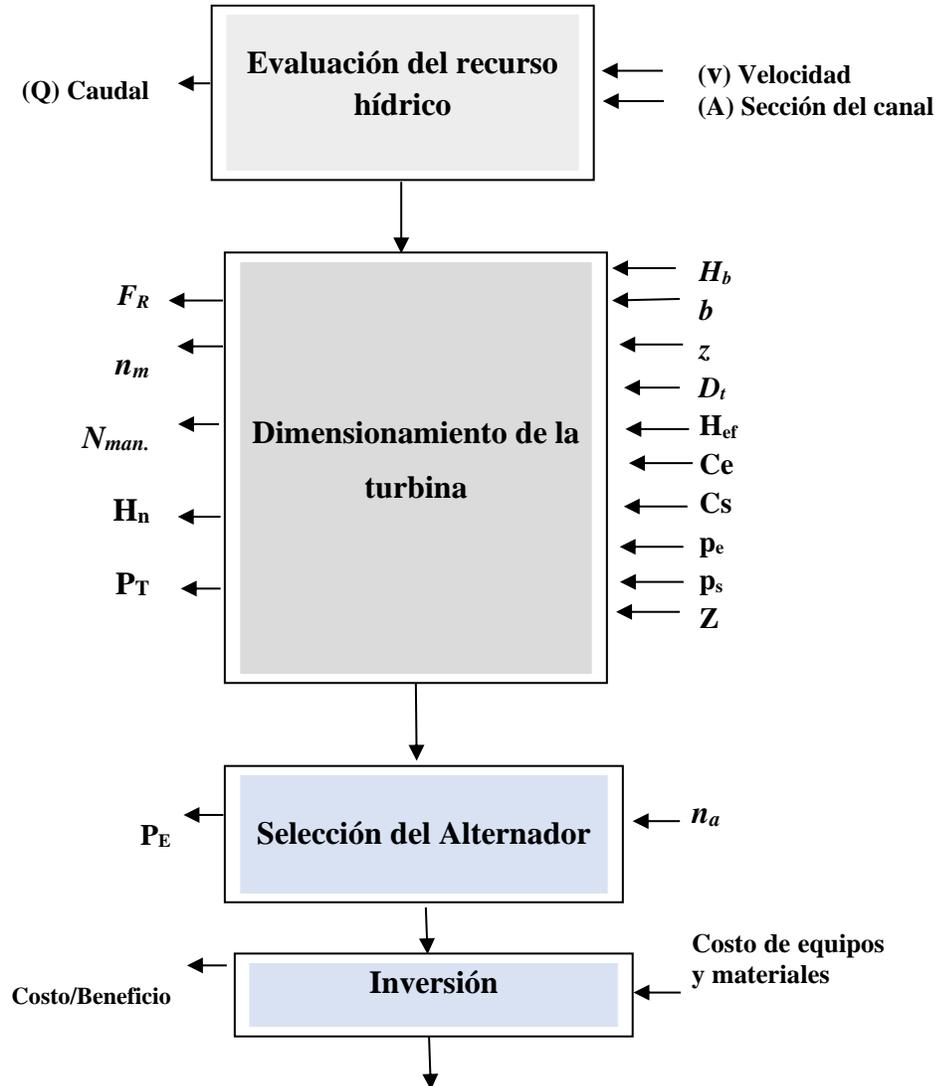
### **Esfuerzos hidráulicos**

$$F_R = 1000H_b \frac{\pi D_t}{z} b$$

$H_b$ : Altura bruta máxima (m)

- $b$ : Altura del álabe (m)
- $z$ : Número de álabes.
- $D_t$ : Diámetro del caracol (m)

El procedimiento seguido se representa en la figura 8.



**Figura 8.** Procedimiento para la evaluación de una turbina hidrocínica cónica para la generación de energía eléctrica. Fuente propia

- **Rendimiento ( $n_m$ )**

$$\eta_{m_{instalación}} = \frac{H_{ef}}{H_b}$$

- **Rendimiento Hidráulico o manométrico**

$$N_{man} = \frac{H_{ef}}{H_n}$$

$H_n$  = Altura neta (m)

$H_n = H_e - H_s$ : Energía disponible (m)

$H_e$  = Energía contenida en el agua por unidad de peso a la entrada de la máquina.

$H_s$  = Energía a la salida

$$H_n = H_e - H_s = \frac{C_e^2 - C_s^2}{2g} + \frac{P_e - P_s}{\gamma} + Z_e - Z_s$$

$C$  = velocidad absoluta

$P$  = Presión

$\gamma$  = Peso específico

$Z$  = Energía potencial (posición)

$H_{ef}$  = Altura efectiva (representa la energía efectiva absorbida por el eje de la turbina, sin considerar pérdidas por roce en cojinetes, fugas etc.).

### 3.6. Método de análisis de datos

Los datos recopilados se procesarán a través de métodos estadísticos y cálculos de medias y varianzas, además se hará formulaciones matemáticas de mecánica de fluidos, maquinas hidráulicas y evaluaciones de costos.

### 3.7. Aspectos éticos

La investigación realizada cumple con todo lo establecido por la universidad, normas APA, con el fin de verificar la veracidad de la información, metodología de la investigación e instrumentos de medición, también los autores mencionados fueron debidamente citados. El enfoque de la investigación es original, cumpliendo con los parámetros establecidos por las normas establecidas por la Universidad Cesar Vallejo.

## IV. RESULTADOS.

Para realizar el diseño de la turbina hidrocínética es importante generalizar los conceptos de energía mecánica que puede obtenerse del comportamiento cinético del fluido. Estos aspectos sirven para determinar la potencia que puede llegar a generar dicha turbina hidrocínética.

- Energía Cinética: Energía mecánica que aporta una velocidad con la que se transporta el agua.
- Energía de diferencial de presión: Energía que se puede extraer de movimientos mecánicos realizados debido a diferencias de presión en un mismo sistema.

Un sistema hidrocínético trabaja con un flujo libre del fluido al que está expuesto, por lo que se requiere de un mayor volumen del fluido para alcanzar la producción de energía eléctrica requerida por la turbina. Como se requiere un volumen de flujo elevado se instalan este tipo de turbinas en ríos o en canales de riego para lograr la generación eléctrica necesaria. (Cardona, 2018)

### 1.1. Datos del canal de riego.

Velocidad del fluido  $v = 2.37 \frac{m}{s}$

Corrección de velocidad (Factor de Corrección),  $F_c = 0.85$  se toma como dato del libro Shigley (2008)

$$V = v \times F_c \qquad V = 2.37 \frac{m}{s} \times 0.85$$

$$V = 2.0145 \frac{m}{s}$$

Área transversal del canal  $A = 0.96 \frac{m^2}{s}$

Caudal  $Q = 1.9339 \frac{m^3}{s}$

Dimensiones del canal

Base  $B = 1.2 \text{ m}$

Altura  $H = 0.8 \text{ m}$

### 1.2. Cálculo de la turbina hidrocínética.

Cálculo del área mojada de la aleta para determinar el caudal con el que hace contacto el fluido

$$A_r = a_1 + a_2 \cong 195 \text{ cm}^2$$

Luego de encontrar las dos incógnitas, los resultados se reemplazan en la Ecuación..... 1

$$Q = (195 \times 10^{-4}) m^2 \times 2.0145 m_s$$

$$Q = 0.0393 m^3/s$$

Encontrado el caudal que cubre el área mojada en la aleta se comprueba teóricamente la cuerda del álabe, con la siguiente fórmula, Seth Hunter (2009):

$$C = \frac{\sigma \pi d}{n}$$

$$\sigma = \frac{8 \times 13.5}{\pi 27.5} = 1.25$$

reemplazando  $\sigma$  en la fórmula anterior

$$C = \frac{\sigma \pi 27.5}{8}$$

$$C = 13.49$$

El número de Reynolds es un parámetro adimensional que da la relación entre fuerzas inerciales y viscosas del flujo según Mukherji (2010)

Donde:

Re = Reynolds

$\rho$  = Densidad

V = Velocidad del fluido corregido

C = cuerda de álabe

$\mu$  = Viscosidad

$$Re = \frac{\rho \times V \times RH}{\mu}$$

$$Re = \frac{1000 \times 2.0145 \times 0.1114}{0.001308}$$

$$Re = 171571.3303$$

El coeficiente de altura o carga para agua ( $\psi$ )

$$\psi = \frac{g * H}{N^2 * D^2}$$

De la fórmula antes mencionada se determina la altura (H) en relación de la velocidad

$$\text{Entonces: } v = \sqrt{2 * g * H}$$

Despejando H, tenemos:

$$2.0145 = \sqrt{2 * 9.81 * H}$$

$$H = 0.2068 \text{ m}$$

Entonces se determina el coeficiente de carga  $\psi$

$$\psi = \frac{9.81 * 0.2068}{13.6135^2 * 0.195^2}$$

$$\psi = 0.2879$$

Coeficiente de Flujo.

$$\phi = \frac{Q}{N * D^3}$$

Reemplazando

$$\phi = \frac{0.0393}{13.6135 * 0.195^3} \cong \phi = 0.3893$$

Se determina la eficiencia

En base a la potencia de prototipo dividida entre coeficiente de carga por el coeficiente de flujo se encuentra la eficiencia, según (García, 2015).

$$\eta = \frac{P}{\psi * \phi}$$

$$\eta = \frac{9}{0.2879 * 0.3893} \cong \eta = 80.3\%$$

Velocidad angular de la turbina (N).

$$N = \frac{V_{rueda}}{R_{rueda}} * \frac{60}{2\pi}$$

$$N = \frac{2.0145}{0.15} * \frac{60}{2\pi} \cong N = 130 \text{ rpm}$$

$$F = \rho * v^2 * A$$

$$F = 1000 * 2.0145^2 * 0.0195$$

$$F = 39.2828 \text{ N}$$

se calcula el perímetro mojado del canal trapezoidal

$$Pm = 70 \text{ cm} \cong 0.7 \text{ m}$$

Radio Hidráulico (RH)

$$RH = \frac{4 * A}{Pm}$$

$$RH = \frac{4 * 195 * 10^{-4}}{0.7}$$

$$RH = 0.1114$$

Coefficiente de potencia (Cp)

$$Cp = \frac{P}{\rho * D^5 * w^3}$$

Diámetro de la turbina cónica

$$D = \frac{33 + 6}{2} \cong 19.5 \text{ cm} \cong 0.195 \text{ m}$$

Velocidad angular (W)

$$W = \frac{2\pi}{60} * F \cong \frac{2\pi}{60} * (130) \cong 13.6135 \text{ rad/s}$$

Se reemplaza la potencia para encontrar el coeficiente de potencia

$$Cp = \frac{3 w}{1000 \text{ kg/m}^3 * (0.195)^5 * (13.6135)^3 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$
$$Cp = 4.2173 * 10^{-3}$$

Cálculo de las fuerzas distribuidas en los álabes

$$Ra = \frac{39.2828 * 9.423}{27.5}$$

$$Ra = 13.4604N$$

$$Rb = \frac{39.2828 * 18.077}{27.5}$$

$$Rb = 25.8124N$$

Calcular el momento

$$M = F * d$$

$$M = 39.2828 * 9.423$$

$$M = 370.1618 \text{ N}$$

Para el perfil el valor de  $Z = 2$ , por lo tanto, el esfuerzo ( $\delta$ ) es:

$$\delta = \frac{M \times C}{Z}$$
$$\delta = \frac{370.1618}{2} \cong \delta = 185.0809 \text{ N}$$

El perfil de las aletas tiene una resistencia de:

Resistencia a la fluencia

Donde:

$F_s$  = Factor de Seguridad

$S_y$  = resistencia a la fluencia

$$F_s = \frac{S_y}{\delta}$$

Por dato

$$F_s = 340 \text{ Mpa}$$
$$F_s = \frac{340 \text{ Mpa}}{185.0809 \text{ N/cm}^2}$$
$$F_s = 1.837 \text{ Mpa}$$

Convertir el  $\tau_{max}$  y los esfuerzos a Mpa para aplicar von misses ver Anexos

$$\tau_{max} = 4080.1466 \text{ psi} = 28.1316 \text{ Mpa}$$
$$\sigma_1 = 1226.7905 \text{ psi} = 8.4584 \text{ Mpa}$$
$$\sigma_2 = -6933.5027 \text{ psi} = -47.8048$$

Determinar el factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma''}$$

Determinar

$$\sigma'' = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 * \sigma_2 - \sigma_2^2}$$

Reemplazando

$$\sigma'' = \sqrt{8.4584^2 - 8.4584 * -47.8048 + 47.8048^2}$$
$$\sigma'' = 52.55$$

Para hallar el factor de seguridad respecto a  $S_y$  de tabla de material del acero

UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia	Resistencia $\sigma$	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
			a la tensión, MPa (kpsi)	la fluencia, MPa (kpsi)			
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179

**Tabla 1:** Resistencia de los aceros 1040 (Shigley, 2008)

$$n = \frac{290}{52.55} \cong 5.5$$

### 1.3. Costos de fabricación de una Turbina hidrocínética.

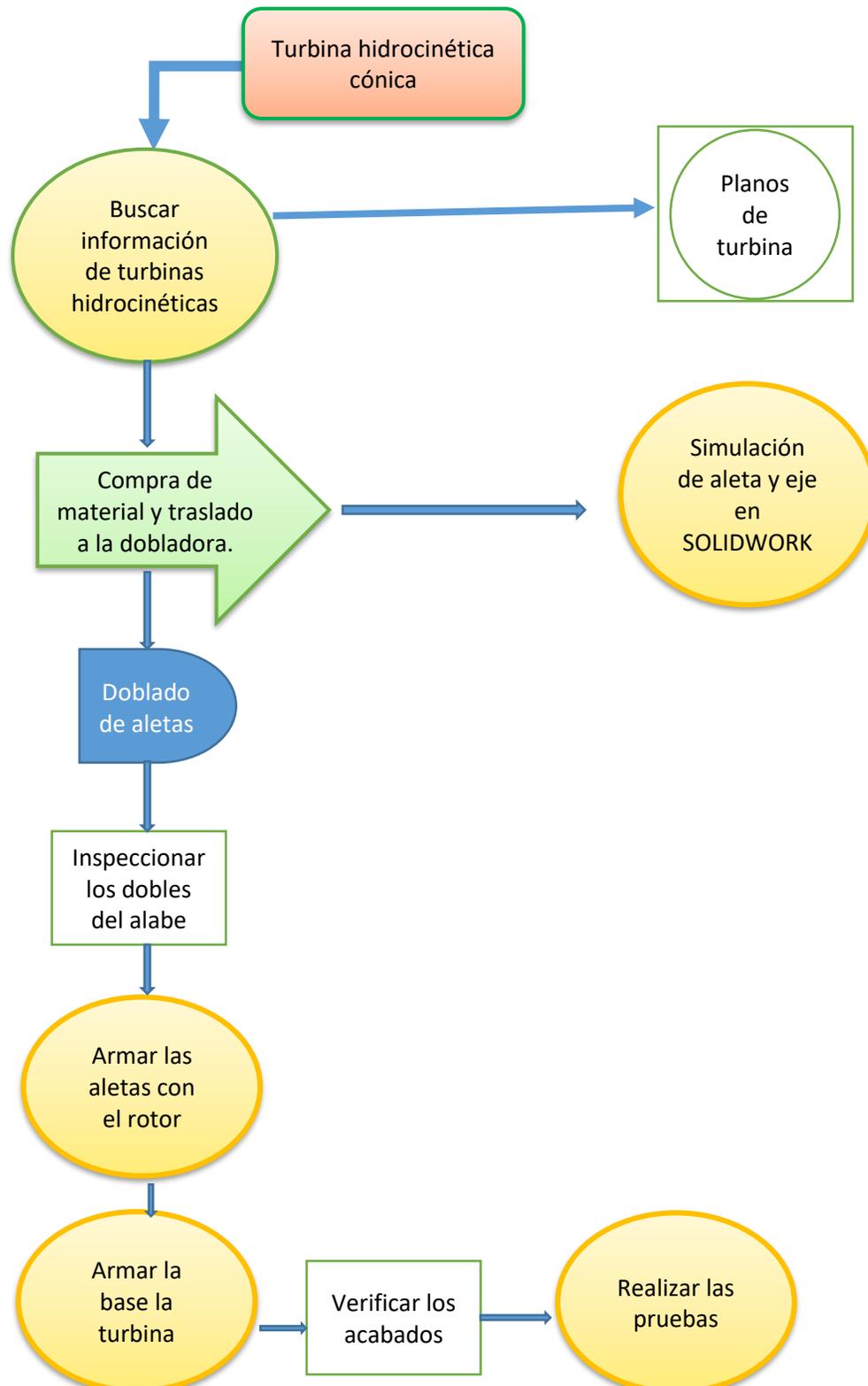
Por sus características, este proyecto presenta un nuevo diseño donde se aprovecha el potencial hidráulico de un río o canal de irrigación es de ahí donde se emprende a realizar un proyecto energético. También se busca tener los más bajos costos para que la población pueda adquirir dicha turbina, es cierto que la cantidad de energía que suministra un sistema como éste no se asimila a ningún tipo de proyecto de generación eléctrica llevado a cabo en los países desarrollados. En vista de que la potencia generada por cada equipo no es muy elevada, para ello sería conveniente la instalación en serie y producir un mayor porcentaje de energía. Los precios de los componentes son aproximados, porque en algunos de los componentes el coste puede variar según el fabricante. Todos los precios están en soles, al ser una de las monedas oficiales de Perú. Ver anexos el cálculo completo de costos

### Costo total de la turbina hidrocínética

CONCEPTO	COSTO
Costo del rotor	159.5
Motor	35
Plataforma	155.5
Costo de montaje	50
Costo por mantenimiento cada 6 meses	50
<b>TOTAL</b>	<b>450</b>

**Tabla 2:** costo total del prototipo. Fuente propia

#### 1.4. Diagrama de bloques de fabricación de la turbina Hidrocinética.



**Figura 9:** Proceso de fabricación de la turbina cónica. Fuente propia

Para la fabricación de una Turbina Hidrocinética Cónica (THC) se tiene en cuenta recolectar información sobre turbinas hidrocinéticas, donde los antecedentes ayudaran a mejorar las situaciones problemáticas para suplir la falta de energía en zonas que no cuenten con flujo eléctrico, los diferentes diseños encontrados de turbinas eje horizontal y eje vertical, permiten buscar un mejor diseño para mejorar la eficiencia de dicha turbina.

Los planos encontrados en las tesis mencionadas de diferentes diseños y perfiles logran definir y darle una forma particular a la turbina hidrocinética cónica, teniendo en cuenta esto se hace la compra correspondiente de los materiales; plancha galvanizada, barra liza, tubo PVC, estos materiales se toman en cuenta por su facilidad de adquisición y resistentes a la corrosión

El diseño realizado en dicha tesis se analizó las partes más críticas de la turbina, para ello se utilizó el programa SOLIDWORKS, verificando su resistencia de Von Mises, factor de seguridad y posteriormente proceder al corte y rolado de álabes, al mismo tiempo se hace un torneado previo al eje que será unido al rodete y luego se asegura los alabes con remaches pop que estos también son resistentes al agua mejorando la durabilidad. Se utilizó remaches debido a que la soldadura debilita las partes galvanizadas perdiendo sus propiedades y haciéndole frágil a la corrosión. Una vez terminado el diseño se hicieron las pruebas correspondientes para verificar la resistencia de estructura y hacer levantamiento de datos que permitió determinar las curvas de la THC.

## V. DISCUSION.

El objetivo principal de esta investigación es determinar la performance de la turbina hidrocíntrica cónica para generar energía eléctrica, utilizando un diseño particular a los perfiles conocidos en las turbinas hidrocíntricas del cual se utilizó diversos cálculos paramétricos para determinar su eficiencia, comparando con otras turbinas hidrocíntricas y ruedas hidráulicas. Como es el caso (Ventura Falla, 2018) en su "Diseño de una Turbina Hidrocíntrica Sumergible para la Generación de Energía Eléctrica en el Caserío Pampa Bernilla, Distritos de Salas, Provincia Lambayeque" obtuvo como resultado que su turbina genera 6.27 Kw con una velocidad de 2.7 m/s teniendo una eficiencia de 55% comparado con nuestro resultado, la turbina hidrocíntrica cónica tiene una eficiencia de 69% con una velocidad de fluido de 2.3 m/s

En esta investigación el diseño de turbina cónica de eje horizontal tiene mayores ventajas de arranque en comparación con una turbina de eje vertical como es el caso de la turbina de eje vertical tripala propuesta en los antecedentes por ejemplo Cardona (2018), además es una turbina que se sumerge parcialmente la cual disminuye las pérdidas y la forma cónica de la aleta le permite cortar con mayor facilidad el flujo la cual le hace más eficiente y también aprovecha la máxima energía disponible del fluido del canal.

Linares (2019) en su "Diseño de una Turbina Hidrocíntrica para Pruebas en el Canal de Ensayos Hidrodinámicos de la Universidad Nacional" también realizó un prototipo en escala de 1 a 3 concluyendo que su turbina es eficiente y rentable para ser implementada en un tamaño real y en cualquier canal pero que su velocidad de fluido debe ser mayor a 1.1 m/s y lo mínimo que puede generar es 0.5 watts. En comparación con la turbina cónica también está delimitada a ser implementada en cualquier canal, en escala real y delimitada a las características del canal (modelo y dimensiones del canal)

Campos y Vasquez (2017) en su tesis de "Análisis Técnico - Económico, Diseño y Evaluación Experimental de la Implementación de una Turbina Hidrocíntrica para Generación Eléctrica" concluye que la implementación de su propuesta no es económicamente rentable debido a que los costos de fabricación debido a la complejidad de los alabes de su turbina tipo gorlov es muy caro sumado los análisis

de pruebas sus costos se elevan considerablemente, entonces al compararlo con la turbina cónica se tiene un diseño conico lo que le hace mas complejo para la fabricacion. Pero al usar materiales existentes en el mercado le hace que sea mas económica en la fabricacion de sus álabes y los analisis de pruebas unicamente usamos el solidworks.

## **VI. CONCLUSIONES.**

En esta tesis se determinó la performance de la turbina hidrocínética tipo cónica aprovechando el potencial hidráulico de un canal de regadío obteniendo el rendimiento y disponibilidad de la turbina que permite brindar una mejor calidad de vida a las personas que no cuentan con fluido eléctrico.

De acuerdo a los diferentes diseños de turbinas encontradas se optó por una turbina realiza en la india que tiene forma cónica la cual permite un mayor rendimiento por contar con materiales ligeros y de fácil mantenimiento, esta turbina es de eje horizontal.

El presente modelo de turbina hidrocínética es una escala de 1:4 de la turbina presentada en la india, el prototipo que se hizo a escala tiene las siguientes características; un radio de 16.5 cm, largo de álabe 27.5 cm, con una velocidad de fluido de 2.0145 m/s y un caudal de  $0.96 \text{ m}^3/\text{s}$

La fabricación de la THC se concluyó satisfactoriamente con los parámetros necesarios para tener un alto rendimiento, superior a las demás turbinas hidrocínéticas comunes planteadas en los antecedentes, esta turbina puede funcionar en canales de riego o ríos sin ningún inconveniente sujetas a previo estudio.

Con el prototipo fabricado se realizaron los ensayos que permitieron obtener la eficiencia, coeficiente de potencia, coeficiente de carga, coeficiente de flujo, rendimiento; siendo las principales curvas que determinan el funcionamiento de la turbina.

El costo del prototipo es accesible para la población por contar con materiales de bajo costo, fácil mantenimiento y una estructura sencilla que se pueda acoplar a canales y ríos.

## **VII. RECOMENDACIONES.**

Para mejorar el diseño se debe hacer diferentes modelos de álabes que permitan tener un mejor rendimiento en la turbina hidrocíntrica cónica, también se podría decir que se pueden analizar otros materiales que sean resistente a la corrosión y lo más importante que estén al alcance de la población para que de esa manera dicha turbina este accesible para el público en general.

Se recomienda utilizar remaches para la fijación de aletas y rotor por el motivo que de esa forma se gana mayor durabilidad en el material, si la plancha es soldada con cualquier tipo de soldadura tiende a perder las propiedades, en esta tesis se recomienda utilizar plancha galvanizada para las aletas, tubo PVC para el rotor y el eje galvanizado de esa manera se está evitando la corrosión y parada en la máquina.

Para mejorar el desempeño de la turbina se sugiere incrementar la cuerda, tomando en cuenta que el aumento de la cuerda varia la solidez del álabe. al aumentar la cuerda se incrementara el rendimiento de la turbina.

En forma similar, se propone tener una alineación de la turbina y el eje con respecto a los álabes. Corregir las imperfecciones en el maquinado del eje para reducir las vibraciones observadas en las pruebas.

En la misma línea de mejoras, se sugiere encontrar un mejor ángulo de ataque del álabe, esto se logra mediante prototipos en la cual se puede variar dicho valor. Se debe tomar en cuenta que este prototipo es un punto de partida para futuras investigaciones.

Durante las pruebas en el canal de riego, se observó presencia de desechos flotantes. se sugiere implementar una malla antes de la turbina para proteger de algún elemento sólido que pueda afectar la integridad de la máquina.

## REFERENCIAS

- Albernaz, L. J. (2015). *An Approach for the Dynamic Behavior of Hydrokinetic*. Guama.
- Anurag kumar, S. (2014). *Development of Hidrokinetic Power Generation System: a Review*. India .
- Burt Hamner, C. (2009). *New Hidrokinetic Technology for Renewable Energy*. India.
- Campos Miranda, R., & Carlos Vasquez, J. (2017). *Análisis Técnico - Económico, Diseño y Evaluación Experimental de la Implementación de una Turbina Hidrocinética para Generación Eléctrica*. Quito.
- Cardona Mancilla, C. C. (2018). *Desarrollo de una turbina hidrocinética de eje horizontal de 1 HP para picogeneración de energía eléctrica en zonas no interconectadas*. Medellin - Colombia.
- Castellanos E., H., Collazos A., C., Farfan C. , J., & Pertuz Melendes, F. (2017). Diseño y Construcción de un Canal Hidráulico de Pendiente Variable. *Scielo*.
- Chávez Mayco, R. J. (2014). *Optimización de los Factores de Operación para Mejorar el Rendimiento de la Pico turbina Michell - Bankin*. Huancayo - Perú.
- Fernandes Diez, P. (2015). *Turbinas Hidráulicas*. <http://www.termica.webhop.info>.
- Hernandez Sampieri, R. (2010). *Metodología de la Investigación*. México.
- IHA, I. H. (2018). *hydropower status report*.
- INEI, I. N. (2017). Perú.
- Josh Mortensen, D. (2017). *Assessing and Testing Hydrokinetic Turbine Performance and Effects on Open Channel Hydrodynamics: An Irrigation Canal Case Study*. United States.
- Kenneth Starcher, V. N. (2013). *Energy and the Environment*. EE.UU.
- Linares Colmenares, K. A. (2019). *Diseño de una Turbina Hidrocinética para Pruebas en el Canal de Ensayos Hidrodinámicos de la Universidad Nacional*. Bogotá.
- Mauro Esquivel, V., Labriola Carlos, V. M., & Moyano Hugo, A. (2009). Sistemas Conversores Fluido - Dinámicos de Energía Renovable para la Patagonia Argentina. *Energy - HYFUSEN*.
- Mendoza Yupanqui, P. Y. (2017). *Diseño de Generador Hidroeléctrico Portable Para Zonas Rurales*. Lima - Perú.

- MINEM, M. d. (2016). Perú.
- Mukherji, S. S. (2010). *Design and critical performance evaluation of horizontal axis hydrokinetic turbines*. Missouri.
- Olavarrieta Carmona, M. V., Saiz Hernández , J. A., & Saiz Rodriguez, J. A. (2012). *Canales Abiertos*. Sonora - Mexico .
- Olavarrieta Carmona,, M., Saiz Hernandez, J., & Saiz Rodriguez, J. (2012). *Canales Abiertos - Material Didáctico para el curso de Hidráulica I Programa de Ingeniería Civil*. Mexico.
- Osinergmin, O. S. (2018). Perú.
- Peña Garcia, V. (2013). *Diseño de una Turbina Hidrocinética para Aprovechamiento Energético de Ríos no Caudalosos*. Piura - Perú.
- Perez Pasmíño, Á. J. (2019). *Estudio y Simulación de una Turbina Hidrocinética para Generar Energía en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil*. Guayaquil.
- Quispe Maldonado, F. (2015). *Diseño De Una Turbina De Río Para La Generación De Electricidad En El Distrito De Mazán – Región Loreto*. Lima - Perú.
- Roberto Ortiz, E. D. (2017 ). *Diseño de una Turbina Hidrocinética de Eje Horizontal para Microgeneración de Energía Eléctrica*. Bogota.
- SEIN, S. I. (2018). Perú.
- Seth Hunter, P. (2009). *Composite Rotor Design for a Hydrokinetic*. Nashville.
- Shigley, J. (2008). *Diseño de Ingeniería Mecánica* . Mexico D. F: Mc Graw Hill: 8th ed.
- Talavera Contreras, L. D. (2014). *Diseño de una Turbina Hidrocinética para Aprovechamiento Energético de Rios no Caudalosos*. Arequipa.
- Van Dijk, M. (2018). *Technical and Practical Valuation of Hydrokinetic Turbine Integration into Existing Canal Infrastructure in South Africa* . Africa.
- Ventura Falla, D. K. (2018). *Diseño de una Turbina Hidrocinética Sumergible para la Generación de Energía Eléctrica en el Caserío Pampa Bernilla, Distritos de Salas, Provincia Lambayeque*. Pimentel - Perú.
- Yachou filali, A. (2015). *Diseño y Cálculo de Turbina Hidrocinética Para Ríos*. España.

**ANEXOS**  
**Operacionalización.**

<b>VARIABLE</b>	<b>TIPO</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICION OPERACIONAL</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>UNIDAD MEDIDA</b>	<b>ESCALA</b>
<b>Potencial Hidráulico</b>	Independiente	Es la cantidad de fluido que pasa por una sección transversal de un ducto en un tiempo determinado, (tubería, ríos, canales, etc.) (Fernandes, 2015, pág. 10)	Se medirá a partir de caudalímetros o instrumentos de medición de flujo volumétrico	Caudal	$m^3/s$	Razón
<b>Potencia eléctrica</b>	Dependiente	Cantidad de energía a suministrar a los usuarios. (Roberto, 2017, pág. 80)	Se efectuará mediante un estudio de mercado.	Demanda	kw	Nominal
<b>Dimensionamiento de la turbina</b>	Dependiente	Son las medidas de las partes de la turbina. (Peña, 2013, pág. 50)	Se obtendrá mediante cálculos matemáticos de máquinas hidráulicas	Diámetro, espesor y longitudes de la turbina	m	Razón
<b>Potencia Generada</b>	Dependiente	Es el trabajo mecánico por unidad de tiempo que la turbina produce. (Talavera, 2014, pág. 33)	Es la potencia mecánica generada que se calculara en el eje de la turbina	Potencia	w	Razón
<b>Costos de implementación</b>	Dependiente	Son valores monetarios de adquisiciones de los componentes usados en el diseño del sistema de generación, (Ventura, 2018, pág. 108)	Se calculara a partir de proformas de los componentes diseñados	Costo / Beneficio Valor actual neto y taza interna de retorno	s	Razón

**Tabla 3:** Operacionalización De Variables. Elaboración Propia de los autores

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

Autores: Domínguez Roldán Jesús

Quezada Ruiz Roy

***Determinar la performance de una turbina hidrocíntrica cónica a partir del potencial hidráulico del canal PECH – Viru La Libertad***

<b>Problema</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables</b>	<b>Metodología</b>
¿Performance de una turbina hidrocíntrica cónica a partir del potencial hidráulico de un canal de regadío?	Determinar la performance de la turbina hidrocíntrica tipo cónica aprovechando el potencial hidráulico de un canal de regadío	es factible caracterizar la performance de una turbina hidrocíntrica tipo cónica a partir de un canal de regadío	Potencial Hidráulico	<b>Tipo de investigación:</b> Aplicada
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluar la configuración geométrica de la turbina.</li> <li>- Dimensionar el modelo de turbina hidrocíntrica considerando criterios de semejanza.</li> <li>- Fabricar el modelo de turbina hidrocíntrica cónica.</li> <li>- Experimentación (realizar protocolo de ensayos).</li> <li>- Evaluar costos unitarios de energía generada y costos de fabricación del prototipo.</li> </ul>			<b>Nivel de investigación:</b> Descriptiva <b>Método:</b> Deductivo (análisis - Síntesis) <b>Diseño de la investigación:</b> Experimental (Transversal) <b>Población:</b> Turbinas hidrocíntricas
			<b>Variable dependiente:</b> potencia eléctrica dimensionamiento de la turbina potencia generada costos de implementación	<b>Muestra:</b> Turbina Hidrocíntrica Cónica <b>Técnica:</b> Observación <b>Instrumento:</b> Ficha de registro de datos <b>Indicadores:</b> equipos de medición - multímetro, Tacómetro y Caudalímetro.

**Tabla 4:** Matriz de consistencia. Elaboración Propia de los autores

## Cálculo de resultados

Corrección de velocidad (Factor de Corrección),  $F_c = 0.85$  se toma como dato del libro Shigley (2008)

$$V = v \times F_c \qquad V = 2.37 \text{ m/s} \times 0.85$$

$$V = 2.0145 \text{ m/s}$$

Caudal entrante

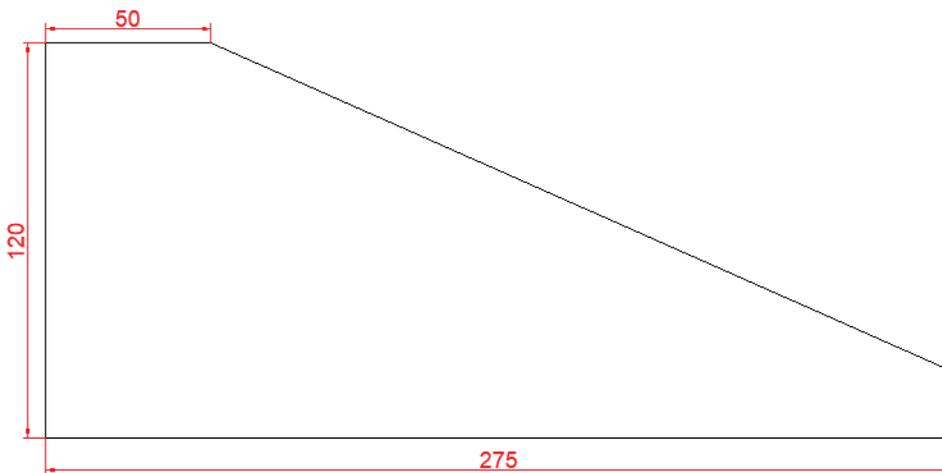
$$Q = A_r \times V \qquad \text{Ecuación..... 1}$$

Q = Caudal

$A_r$  = Área resultante de la aleta

V = Velocidad del fluido corregida

Datos de diseño del prototipo en pequeña escala (perfil de aleta)



**Figura 10.** Área mojada de la aleta de la turbina. Fuente propia  
Cálculo del área mojada de la aleta para determinar el caudal con el que hace contacto el fluido

$$A_r = a_1 + a_2 \qquad \text{Ecuación..... 2}$$

$$a_1 = 12 \times 5 \qquad a_1 = 60$$

$$a_2 = \frac{22.5 \times 12}{2} \qquad a_2 = 130$$

reemplazando en la Ecuación..... 2

$$A_r = a_1 + a_2 \cong 195 \text{ cm}^2$$

Luego de encontrar las dos incógnitas, los resultados se reemplazando en Ecuación..... 1

$$Q = (195 \times 10^{-4}) m^2 \times 2.0145 m_s$$

$$Q = 0.0393 m^3/s$$

Encontrado el caudal que cubre el área mojada en la aleta se comprueba teóricamente la cuerda del álabe, con la siguiente fórmula, Seth Hunter (2009):

$$C = \frac{\sigma \pi d}{n}$$

$$C = \frac{\sigma \pi 27.5}{8}$$

Donde:

C = cuerda de álabe

$\sigma$  = solidez

d = diámetro de la aleta de la turbina

n = número de aletas de la turbina

Solidez expresada en función de la cuerda de diseño del prototipo Cordova (2006)

$$\sigma = \frac{n \times c}{\pi \times d}$$

$$\sigma = \frac{8 \times 13.5}{\pi \times 27.5}$$

$$\sigma = 1.25$$

reemplazando  $\sigma$  en la fórmula anterior

$$C = \frac{\sigma \pi 27.5}{8}$$

$$C = \frac{1.25 \pi 27.5}{8}$$

$$C = 13.49$$

Posterior a la comprobación teórica de la cuerda del alabe se calcula el número de Reynolds.

El número de Reynolds es un parámetro adimensional que da la relación entre fuerzas inerciales y viscosas del flujo según Mukherji (2010)

Donde:

Re = Reynolds

$\rho$  = Densidad

V = Velocidad del fluido corregido

C = cuerda de álabe

$\mu$  = Viscosidad

$$Re = \frac{\rho \times V \times RH}{\mu}$$

$$Re = \frac{1000 \times 2.0145 \times 0.1114}{0.001308}$$

$$Re = 171571.3303$$

Con el resultado de Reynolds determinamos que el canal PECH es turbulento.

Velocidad Tangencial de la turbina cónica. Cardona (2018) Para calcular la velocidad tangencial de la rueda, hace uso del coeficiente de velocidad, determinado en las pruebas del prototipo construido (ver anexos)

$$\varphi = \frac{V_{turbina}}{V_{agua}}$$

Vturbina = velocidad de turbina

Vagua = Velocidad del agua

$$\varphi = \text{coeficiente de velocidad} = 0.85$$

Calculo de la velocidad de la turbina

$$V_{turbina} = V_{agua} \times \varphi$$

$$V_{rueda} = 2.37 \times 0.85$$

$$V_{rueda} = 2.0145 \text{ m/s}$$

El coeficiente de carga o altura ( $\psi$ )

$$\psi = \frac{g * H}{N^2 * D^2}$$

De la fórmula antes mencionada se determina la altura (H) en relación de la velocidad

$$\text{Entonces: } v = \sqrt{2 * g * H}$$

Despejando H, tenemos:

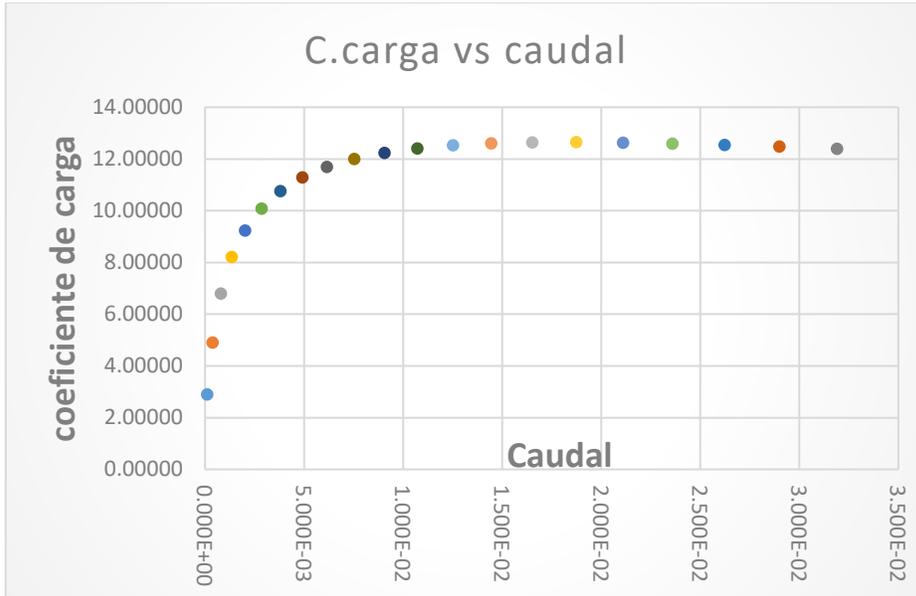
$$2.0145 = \sqrt{2 \times 9.81 \times H}$$

$$H = 0.2068 \text{ m}$$

Entonces se determina el coeficiente de carga  $\psi$

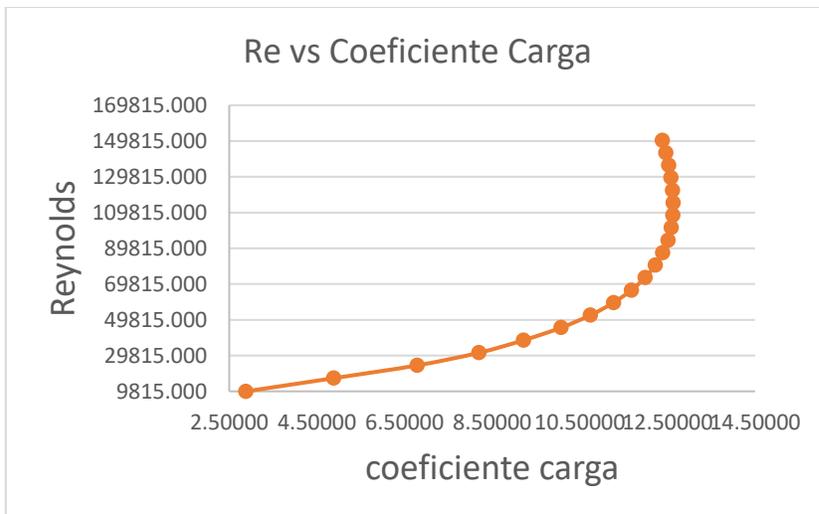
$$\psi = \frac{9.81 \cdot 0.2068}{13.6135^2 \cdot 0.195^2}$$

$$\psi = 0.2879$$



**Gráfico 1:** Coeficiente de carga vs Caudal fuente propia

Esta grafica nos indica que de acuerdo a la aleta de la turbina a menor área mojada el coeficiente de carga es menor, pero si variamos el área el coeficiente de carga se incrementa, pero a un radio de 0.12 m de sumergida la aleta es su punto máximo de carga que alcanza dicha turbina. Si se sumerge más la velocidad de rotación empieza a decrecer



**Gráfico 2:** Reynolds vs coeficiente de carga. Fuente propia

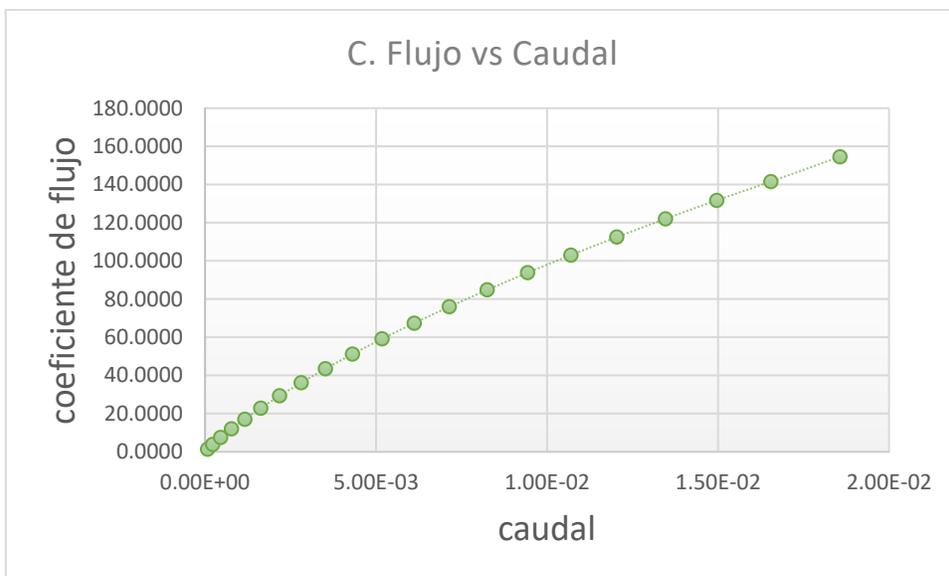
El Reynolds vs el coeficiente de carga son directamente proporcionales a mayor Reynolds tenemos mayor coeficiente de carga

Coeficiente de Flujo.

$$\phi = \frac{Q}{N * D^3}$$

Reemplazando

$$\phi = \frac{0.0393}{13.6135 * 0.195^3} \cong \phi = 0.3893$$



**Gráfico 3:** Reynolds vs coeficiente de carga. Fuente propia

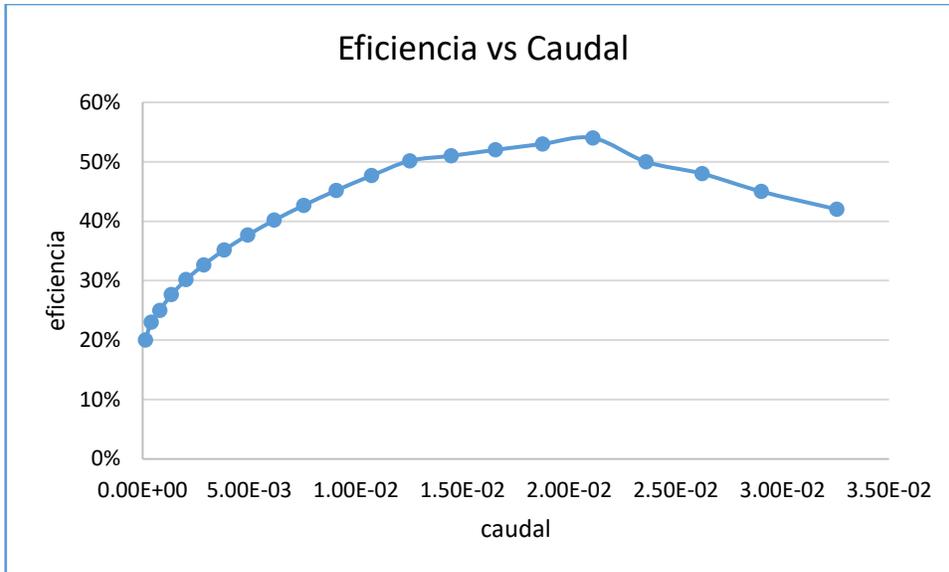
En esta grafica nos indica que a mayor flujo tenemos mayor caudal, están relacionadas con la velocidad de flujo

### Se determina la eficiencia

En base a la potencia de prototipo dividida entre coeficiente de carga por el coeficiente de flujo.

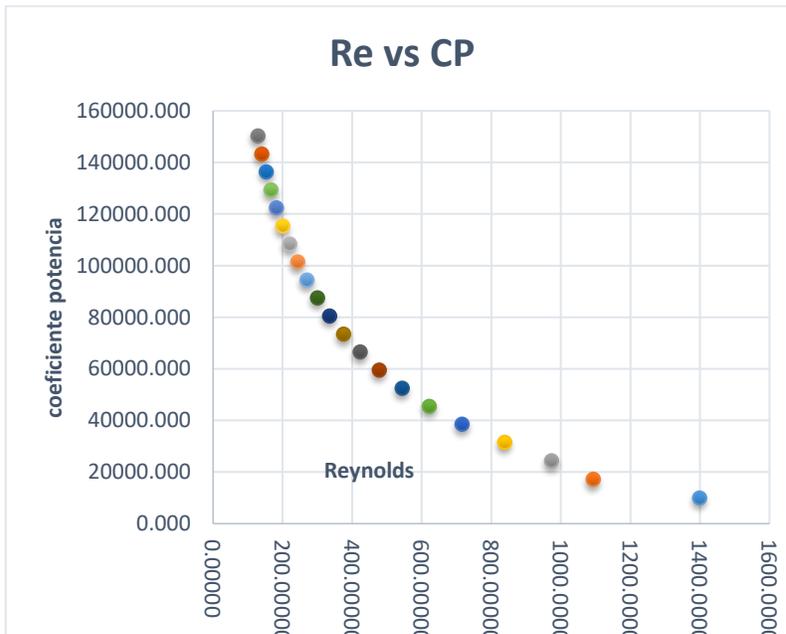
$$\eta = \frac{P}{\psi * \phi}$$

$$\eta = \frac{9}{0.2879 * 0.3893} \cong \eta = 69\%$$



**Gráfico 4:** Eficiencia. Fuente propia

De acuerdo al caudal se mide la eficiencia de la turbina alcanzando una eficiencia de 54% y luego empieza a decrecer debido a que si incrementamos el área la turbina pierde velocidad de giro



**Gráfico 5:** Coeficiente de potencia vs Reynolds

Esta grafica nos indica que cuanto más baja el Reynolds el coeficiente de potencia (cp) es mayor

Con la siguiente formula permite comprobar las RPM de la turbina hidrocínética, que también sería como una comprobación, porque dichas RPM se llegaron a medir, Velocidad angular de la turbina (N).

$$N = \frac{V_{rueda}}{R_{rueda}} \times \frac{60}{2\pi}$$

$$N = \frac{2.0145}{0.15} \times \frac{60}{2\pi}$$

$$N = 130rpm$$

Numero de vueltas por minuto (RPM) con que gira la turbina, de dichos cálculos se calcula la fuerza del agua con la que llega a los alabes de la turbina, este nos permitirá comprobar si los alabes están en las condiciones de soportar la fuerza ejercida.

De fórmula:

$$F = P \times A$$

$$\text{Donde } P = \rho \times V^2$$

F = Fuerza

P = Presión

A = Área de aleta mojada

V = Velocidad del agua

$\rho$  = Densidad

Densidad del agua, tomado de tabla a una temperatura de 10°C,  $\rho = \frac{1000 \text{ kg}}{m^3}$

$$F = \rho \times V^2 \times A$$

$$F = 1000 \times 2.0145^2 \times 0.0195$$

$$F = 39.2828 \text{ N}$$

se calcula el perímetro mojado del canal trapezoidal

Donde:

Pm = perímetro mojado

b = base menor del canal

y = altura

*Pm = suma de todo los lados de la aleta*

$$Pm = 70 \text{ cm} \cong 0.7 \text{ m}$$

Radio Hidráulico (RH)

$$RH = \frac{4 * A}{Pm}$$

$$RH = \frac{4 * 195 * 10^{-4}}{0.7}$$

$$RH = 0.1114$$

Coeficiente de potencia (Cp)

$$Cp = \frac{P}{\rho * D^5 * w^3}$$

Donde:

Cp = Potencia

P = potencia

w = Velocidad angular

D = promedio de la suma de los dos diámetros de la turbina cónica

v = Voltaje

I = Intensidad

Teniendo los datos de la potencia total, se determina en base al voltaje medido de las pruebas del prototipo y datos del motor empleado.

$$P = v * I$$

Se sabe que  $1mv = 10^{-3}v$

Datos del motor P = 3w

Dato medido = 168 mv

$$I = \frac{\text{Potencia Motor (w)}}{\text{voltaje (V)}}$$

$$I = \frac{3 (w)}{0.168 (V)} \cong 17.857 \text{ Amp.}$$

Con la intensidad encontramos la potencia para encontrar el Cp

$$\rightarrow P = 0.168 v * 17.857 \cong 3 \text{ watts}$$

Diámetro de la turbina cónica

$$D = \frac{33 + 6}{2} \cong 19.5 \text{ cm} \cong 0.195 \text{ m}$$

Velocidad angular (W)

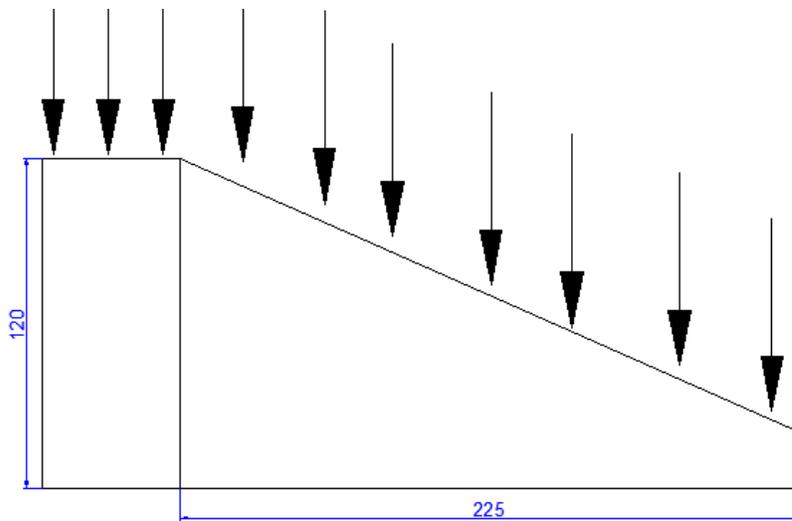
$$W = \frac{2\pi}{60} * F \cong \frac{2\pi}{60} * (130) \cong 13.6135 \text{ rad/s}$$

Se reemplaza la potencia para encontrar el coeficiente de potencia

$$Cp = \frac{3 w}{1000 \text{ kg/m}^3 * (0.195)^5 * (13.6135)^3 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$Cp = 4.2173 * 10^{-3}$$

Cálculo de las fuerzas distribuidas en los álabes



**Figura 11.** Distribución de cargas sobre la aleta de la turbina. Fuente propia

Para poder determinar la fuerza total sobre el alabe se hace el siguiente procedimiento.

Se encuentra el área y el centro de gravedad de la figura que se puede visualizar.

En el eje X

$$X = \frac{1}{3} l$$

$$X = \frac{1}{3} 22.5$$

$$X = 7.5$$

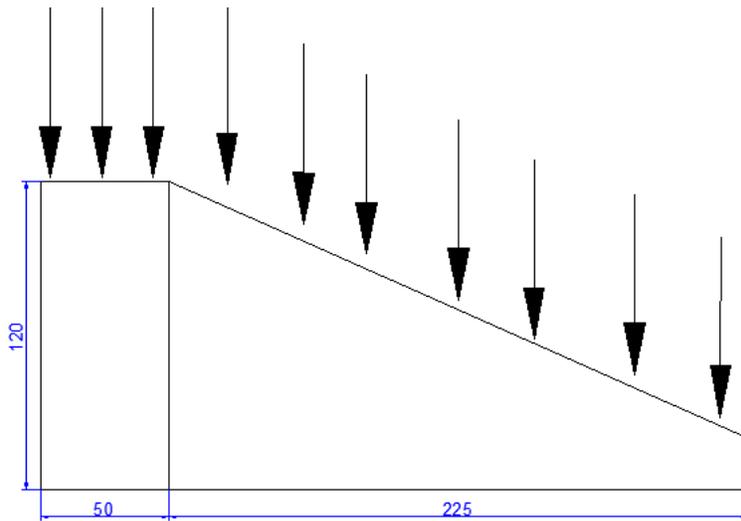
$$X = \frac{1}{3} l$$

En el eje Y

$$Y = \frac{1}{3} h$$

$$Y = \frac{1}{3} 12$$

$$Y = 4$$



**Figura 12.** Distribución de cargas por áreas de la aleta de la turbina. Fuente propia

Cálculo de áreas

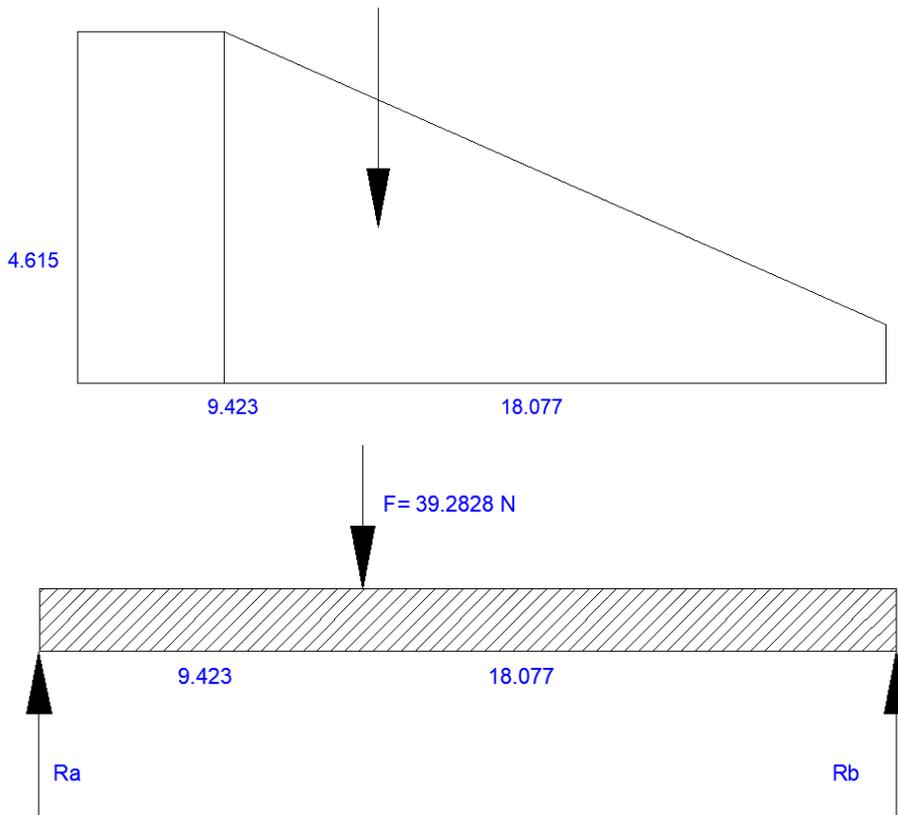
A	X	Y	XA	YA
B x H = 60	2.5	6	150	360
(B x H)/2 = 135	12.5	4	1687.5	540
∑ A = 195			1837.5	900

**Tabla 5.** Áreas de la aleta mojada. Fuente propia

$$\dot{X} = \frac{\epsilon X A}{\epsilon A} = 9.423$$

$$\dot{Y} = \frac{\epsilon Y A}{\epsilon A} = 4.615$$

Con los datos obtenidos se demuestra el centro de gravedad de las aletas.



**Figura 13.** Centro de gravedad de la aleta. Fuente propia

Ra, Rb = Reacciones

L = longitud del álabe

M = momento

$$Ra = \frac{F \times d}{L}$$

$$Ra = \frac{39.2828 \times 9.423}{27.5}$$

$$Ra = 13.4604N$$

$$Rb = \frac{39.2828 \times 18.077}{27.5}$$

$$Rb = 25.8124N$$

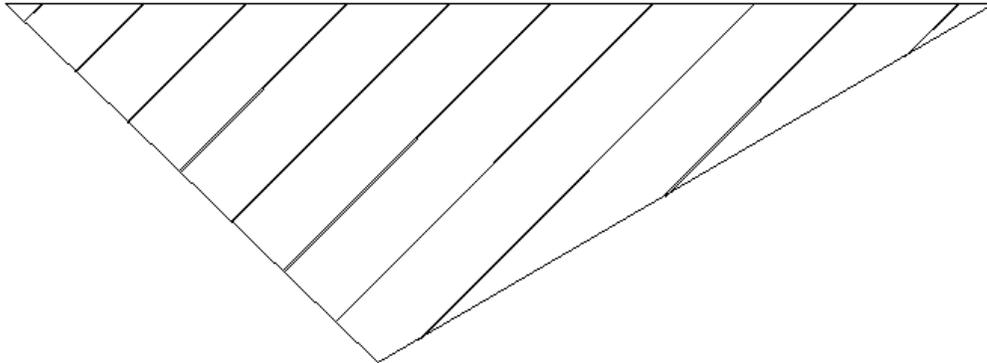
Calculamos el momento

$$M = F \times d$$

$$M = 39.2828 \times 9.423$$

$$M = 370.1618 \text{ N}$$

Diagrama de momento



**Figura 14.** Diagrama de momento. Fuente propia

Para el perfil el valor de  $Z = 2$ , por lo tanto, el esfuerzo ( $\delta$ ) es:

$$\delta = \frac{M \times C}{Z}$$

$$\delta = \frac{370.1618}{2}$$

$$\delta = 185.0809 \text{ N}$$

El perfil de las aletas tiene una resistencia de:

Resistencia a la fluencia

Donde:

$F_s$  = Factor de Seguridad

$S_y$  = resistencia a la fluencia

$$F_s = \frac{S_y}{\delta}$$

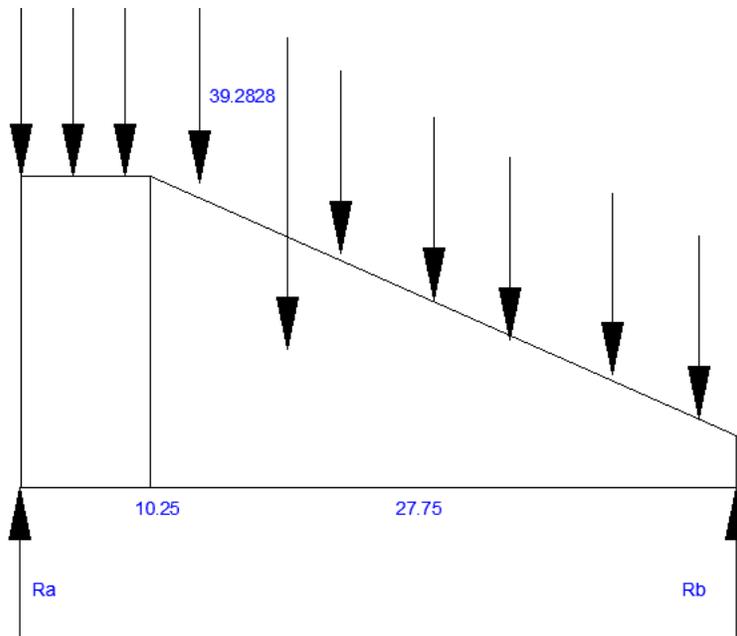
Por dato

$$F_s = 340 \text{ Mpa}$$

$$F_s = \frac{340 \text{ Mpa}}{185.0809 \text{ N/cm}^2}$$

$$F_s = 1.837 \text{ Mpa}$$

Por dato de tabla  $S_{uc} = 470 \text{ Mpa}$  según Shigley (2008)



**Figura 15.** Distribución de cargas en el eje. Fuente propia

Cálculo de las reacciones en los apoyos Ra y Rb

$$F1 = 39.2828 \text{ N} \times 0.1025 \quad F1 = 4.0058 \text{ N}$$

$$F2 = \frac{39.2828 \text{ N} \times 0.2775}{2} \quad F2 = 5.4225 \text{ N}$$

Sumatoria de fuerzas en el eje X

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = R_a - F1 - F2 + R_b = 0$$

$$-4.0058 - 5.4225 + R_b + R_a = 0$$

Se encuentra la sumatoria de fuerzas de los momentos y se determina las reacciones.

$$\sum M_a = -F1 \times 0.05125 - F2 \times 0.195 + R_b \times 0.38 = 0$$

$$\sum M_a = -4.0058 \times 0.05125 - 5.4225 \times 0.195 + R_b \times 0.38 = 0$$

$$R_b = 9.3127 \text{ Nm}$$

Reemplazando Rb

$$-11.2268 - 15.1973 + 9.3127 + R_a$$

$$R_a = 17.1114 \text{ Nm}$$

## Diseño y cálculo del eje

Datos:

$$\text{Área de la aleta} = 195 \text{ cm}^2$$

$$F = P \times A$$

$$\rightarrow P = \rho \times v^2$$

$$F = \rho \times v^2 \times A$$

$$F = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (2.0145 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \times 0.0195 \text{ m}^2$$

$$F = 79.135 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2}$$

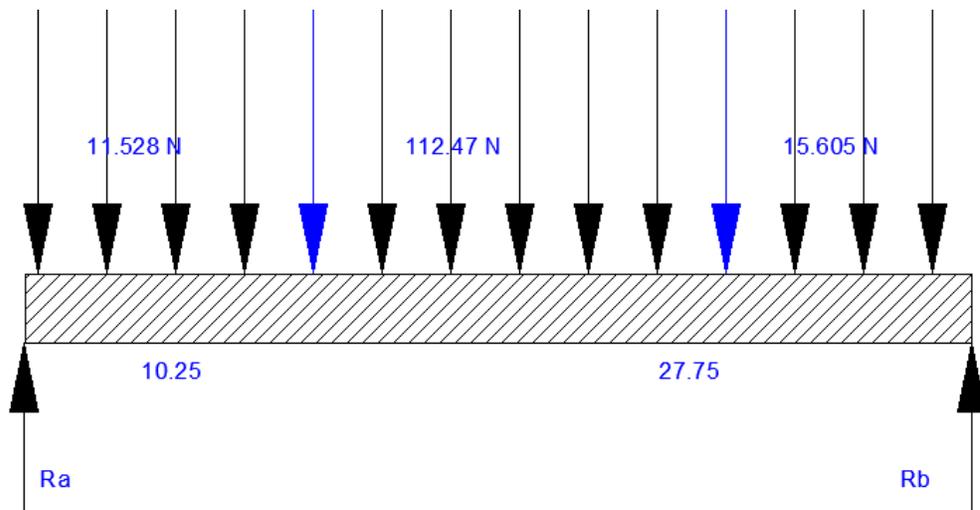
$$1 \text{ N} = \frac{1 \text{ kg m}}{\text{s}^2} \quad \rightarrow F = 79.135 \text{ N}$$

A esta fuerza se suma el peso de la aleta.

$$F_{\text{total}} = F + (m \times g)$$

$$F_{\text{total}} = 79.135 + (3.40 \times 9.8067)$$

$$F_{\text{total}} = 112.47 \text{ N}$$



**Figura 16.** Diagrama de distribución de fuerzas en el eje. Fuente propia

$$F1 = 112.47 \times 0.1025 \cong F1 = 11.528$$

$$F2 = \frac{112.47 \times 0.2775}{2} \cong F2 = 15.6052$$

Sumatoria de fuerzas en el eje X

$$\sum Fx = 0$$

$$\sum Fy = Ra - F1 - F2 + Rb = 0$$

reemplazando  $Ra = 11.528 + 15.6052 - 9.5626$

$$Ra = 17.5706$$

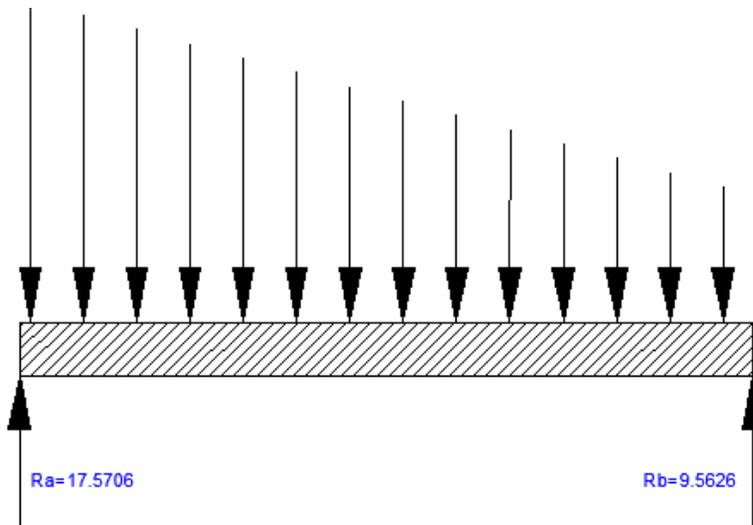
Sumatoria de momentos

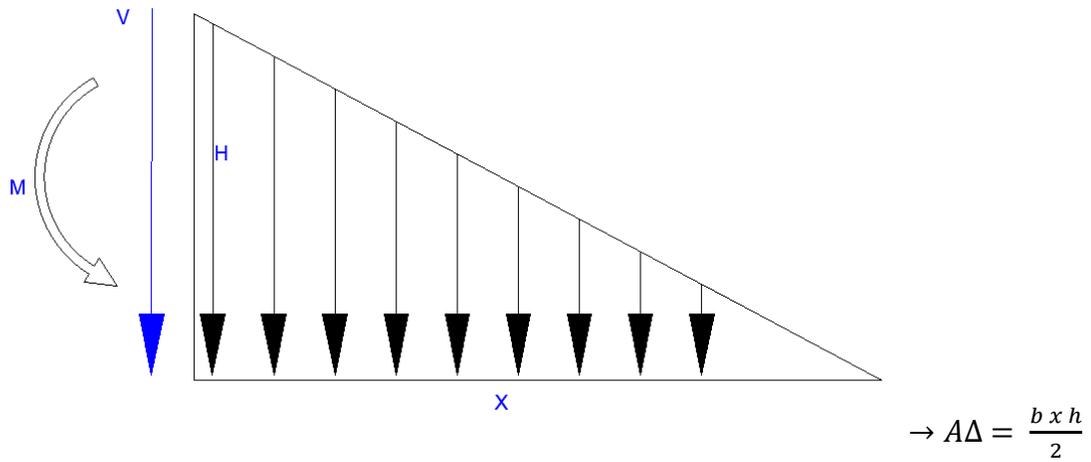
$$\sum m = (-F1 \times D1) - (F2 \times D2) + (Rb \times 0.38)$$

$$\sum m = (-11.528 \times 0.05125) - (15.6052 \times 0.195) + (Rb \times 0.38)$$

$$Rb = \frac{3.6338}{0.38} \cong Rb = 9.5626$$

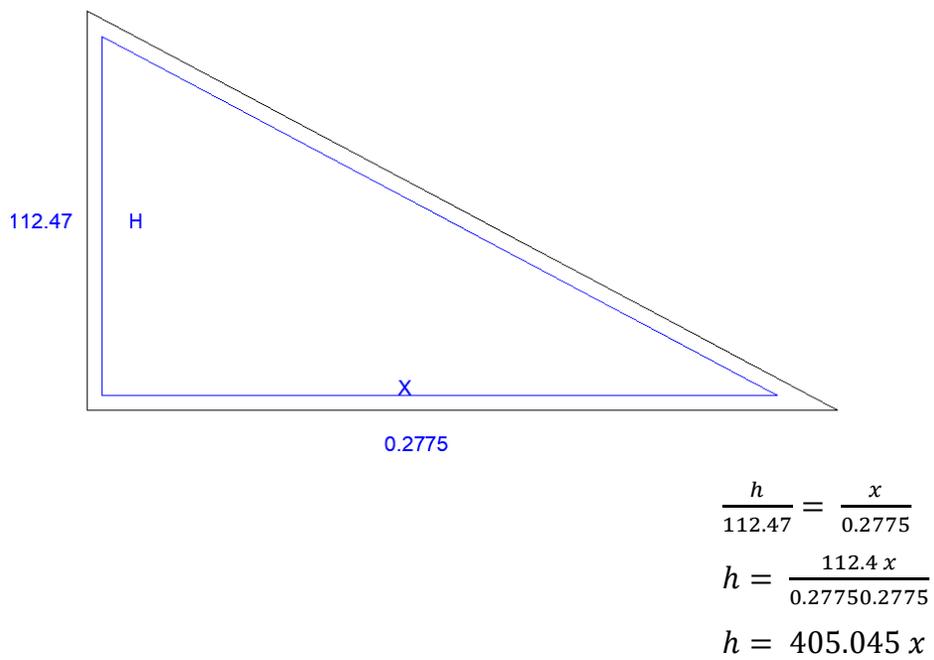
Cortante y momento flector





**Figura 17.** Diagrama de corte a una distancia x. Fuente propia

Relación de triángulos

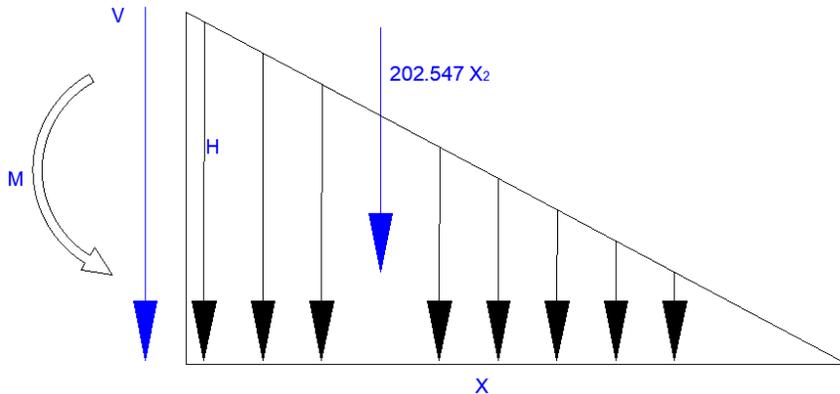


**Figura 18.** Relación de triángulos. Fuente propia

carga equivalente del triángulo

$$A\Delta = \frac{x * 405.045x}{2} \cong \frac{405.045x^2}{2}$$

$$A\Delta = 202.547x^2$$



$$\rightarrow \sum Fx = 0$$

**Figura 19.** Diagrama de fuerza concentrada. Fuente propia

$$\rightarrow \sum Fx = Rb - 202.547x^2 - V = 0$$

$$9.5626 - 202.547x^2 - V = 0$$

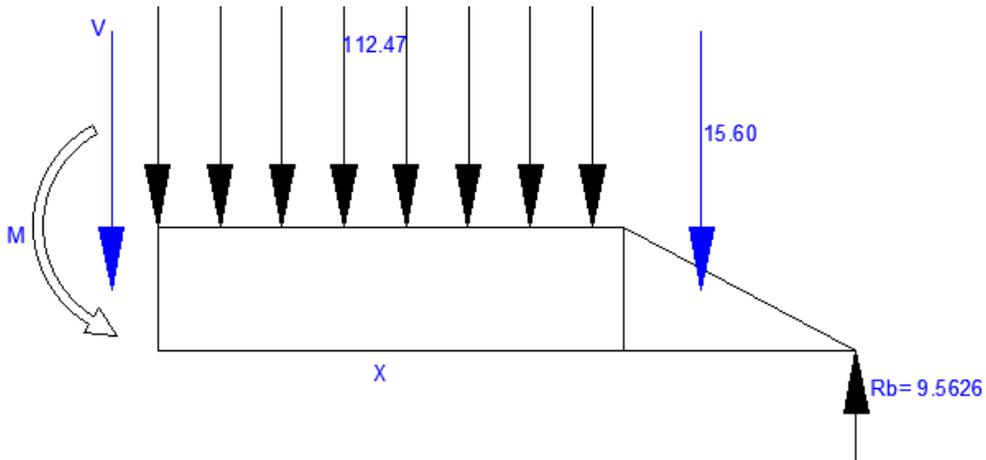
$$V = 9.5626 - 202.547x^2 \dots \dots (Ec.)$$

$$\rightarrow \sum m = Rb * x - 202.547x^2 * 1/3x + m = 0$$

$$9.5652x - 202.547x^2 * 1/3x + m = 0$$

$$\rightarrow m = 9.5652x + \frac{202.547x^3}{3}$$

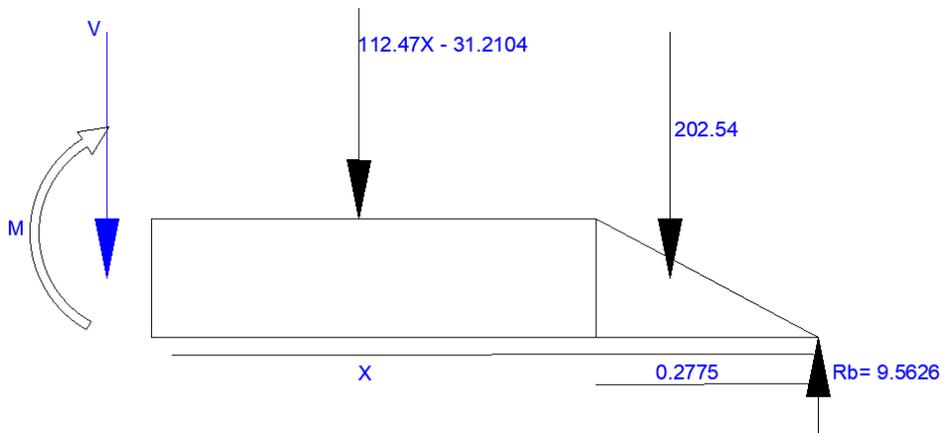
Análisis de fuerzas en el rectángulo para determinar su momento flector y la cortante V



**Figura 20.** Segundo diagrama de fuerzas distribuidas. Fuente propia

$$A_{\blacksquare} = b x h \cong (x - 0.2775) * 112.47$$

$$A_{\blacksquare} = 112.47x - 31.2104$$



**Figura 21.** Segundo diagrama de fuerzas concentradas. Fuente propia

$$\rightarrow \sum F_x = 0$$

$$\rightarrow \sum F_y = -9.5626 - 202.54 - (112.47x - 31.2104) - V = 0$$

$$V = 9.5626 - 202.54 - 112.47x - 31.2104 = 0$$

$$V = -161.7679 - 112.47x$$

$$\rightarrow \sum m = 0 \cong (9.5626 * x) - (202.54 * 15x)$$

$$-(112.47x - 31.21) \left( \frac{x-3}{2} \right) + m = 0$$

$$-(112.47x - 31.21) \left( \frac{x-3}{2} \right) + m = 0$$

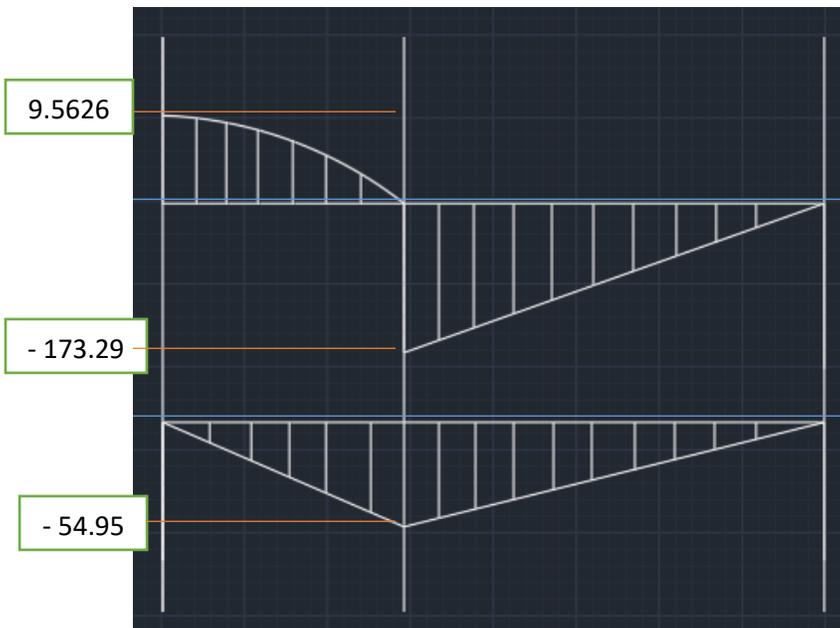
$$\rightarrow m = (9.5626 * x) - (202.54(x - 0.0925)) - (112.47x - 31.2) \left( \frac{x - 0.2775}{2} \right)$$

$$9.5626x - 202.5 + 18.7349 - (56.235x - 15.6)(x - 0.2775)$$

$$9.5626x - 202.5 + 18.7349 - (56.235x^2 + 15.6052x + 15.6x - 4.329)$$

$$m = 56.235x^2 - 161.7322 - 14.4059$$

Diagrama del momento y la cortante



**Figura 22.** diagrama de momento y cortante en el eje. Fuente propia

Para encontrar los esfuerzos pasamos de newton a libras y la distancia a pulgadas

Dato de conversión. 1 lb = 4.448222 N

Entonces 173.29 N = 38.9571 lb

M = T = 54.95 = 12.2522 lb

La distancia de donde se aplica la fuerza hacia el punto reacción es de 14.375 cm = 5.6594 in

Según (Shigley, 2008) para encontrar los esfuerzos y encontrar el factor de seguridad aplicamos las siguientes fórmulas.

$$\sigma = \frac{N}{A} \text{ donde el área } A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * \left(\frac{5}{8}\right)^2}{4} \cong A = 0.3068 \text{ in}^2$$

$$\sigma = \frac{38.9571 \text{ lb}}{0.3068 \text{ in}} \cong 126.9788 \text{ psi}$$

El esfuerzo normal debido al momento flector

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \text{ donde } I = \frac{\pi * D^4}{64}$$

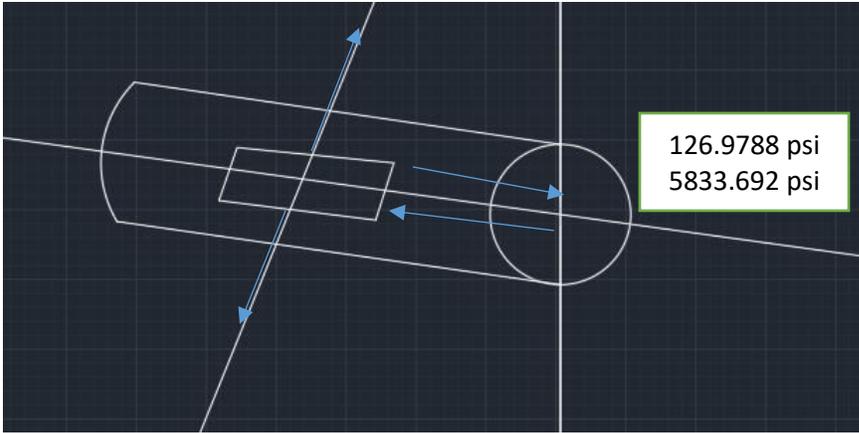
reemplazando

$$\sigma = \frac{(12.3533 * 5.6594) * \frac{5}{8}}{\frac{\pi * \left(\frac{5}{8}\right)^4}{64}} \cong 5833.691 \text{ psi}$$

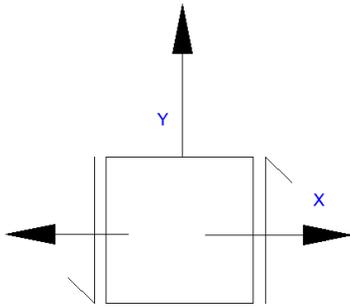
El esfuerzo cortante o momento torsor

$$T = \frac{Tc}{J} \text{ donde } J = \frac{\pi * D^4}{32}$$

$$T = \frac{(12.3533 * 5.6594) * \frac{5}{8}}{\frac{\pi * \left(\frac{5}{8}\right)^4}{32}} \cong 2916.8455 \text{ psi}$$



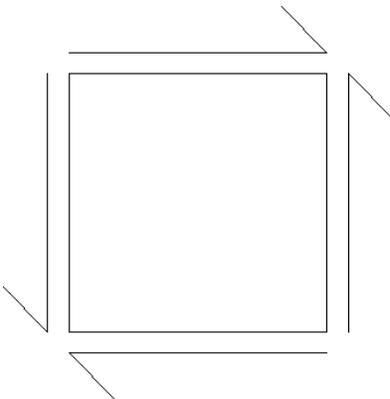
**Figura 23.** diagrama de momento torsional en el eje. Fuente propia



$$\tau_{xy} = T = 2916.8455 \text{ psi}$$

$$\sigma_1 - \sigma_2 = -5706.7122$$

Circulo de Mohr



$$\tau_{xy} = 2916.8455 \text{ psi}$$

$$\sigma_x = -5706.7122 \text{ psi}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$$

El esfuerzo en  $y = 0$

$$\rightarrow \sigma_m = \frac{-5706.7122 + 0}{2}$$

$$\rightarrow \sigma_m = -2853.3561 \text{ psi}$$

Por fórmula

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{5706.7122 + 0}{2}\right)^2 + (2916.8455)^2} \cong R = 4080.1467 \text{ psi}$$

Calcular los esfuerzos 1 y 2

$$\rightarrow \sigma_1 = \sigma_m + R$$

$$\sigma_1 = -2853.3561 + 4080.1466$$

$$\sigma_1 = 1226.7905 \text{ psi}$$

$$\rightarrow \sigma_2 = \sigma_m - R$$

$$\sigma_2 = -2853.3561 - 4080.1466$$

$$\sigma_2 = -6933.5027 \text{ psi}$$

$$\tau_{max} = R = 4080.1466 \text{ Psi}$$

Convertir el  $\tau_{max}$  y los esfuerzos a Mpa para aplicar von misses

$$\tau_{max} = 4080.1466 \text{ psi} = 28.1316 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_1 = 1226.7905 \text{ psi} = 8.4584 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_2 = -6933.5027 \text{ psi} = -47.8048$$

Determinar el factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma''}$$

Determinar

$$\sigma'' = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 * \sigma_2 - \sigma_2^2}$$

Reemplazando

$$\sigma'' = \sqrt{8.4584^2 - 8.4584 * -47.8048 + 47.8048^2}$$

$$\sigma'' = 52.55$$

Para hallar el factor de seguridad respecto a  $S_y$  de tabla de material del acero

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS NÚM.	SAE Y/O AISI NO.	PROCESAMIENTO	RESISTENCIA ÚLTIMA, MPa (kpsi)	RESISTENCIA DE FLUENCIA, MPa (kpsi)	ELONGACIÓN EN 2 in, %	REDUCCIÓN EN ÁREA, %	DUREZA BRINELL
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

**Tabla 5:** Resistencia de los aceros (Shigley, 2008)

$$n = \frac{290}{52.55} \cong 5.5$$

### Costos de fabricación de una Turbina hidrocínética.

Por sus características, este proyecto presenta un nuevo diseño donde se aprovecha el potencial hidráulico de un río o canal de irrigación es de ahí donde se

emprende a realizar un proyecto energético. También se busca tener los más bajos costos para la población y pueda ser factible, sí que es verdad que la cantidad de energía que suministra un sistema como éste no se asimila a ningún tipo de proyecto de generación eléctrica llevado a cabo en los países desarrollados. En vista de que la potencia generada por cada equipo no es muy elevada, para ello sería conveniente la instalación en serie y producir un mayor porcentaje de energía. Los precios de los componentes son aproximados, porque en algunos de los componentes el coste puede variar según el fabricante. Éstos están en soles, al ser una de las monedas oficiales de Perú.

**Rotor.** En las investigaciones realizadas para poder fabricar el rotor y obteniendo una guía de una turbina en la india se procede a utilizar PVC teniendo un bajo peso y fácil de adquirir, de esa manera también estaríamos facilitando el montaje de los alabes que se fabricó de plancha galvanizada, dichos componentes tienen buen comportamiento frente a la corrosión, por lo tanto, se pueden emplear en esta aplicación. Una vez diseñada el alabe con la ayuda del programa SOLIDWORKS se procede a fabricar y llevar a la dobladora para que se haga el detalle correspondiente, los costos de fabricación de los álabes se han calculado teniendo en cuenta la plancha galvanizada, corte y dobles.

El rotor está compuesto de los siguientes elementos:

- seis álabes de 135 cm teniendo una curvatura la cual se hace en la dobladora.
- El eje, compuesto de acero SAE 1040, remaches, arandelas y tuercas.

### **Coste de la instalación del equipo piloto**

Uno de los objetivos del proyecto es llevar a cabo la instalación de un equipo piloto en un canal, para monitorear su comportamiento y determinar si es una buena solución a la falta de energía en las comunidades de la cuenca amazónica. Para esta experiencia piloto se ha seleccionado el canal de regadío de la Alameda el Cortijo.

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Plancha galvanizada	1	119.2829	119.2829
Plancha gal. Para las tapas	2	8	16
PVC de 2"	1	30	30
Tubo cuad. Galv. 3/4"x2,0 mm	1	35	35
Soldadura	5	0.5	2.5
Remaches pop	20	0.15	3
Plancha para base	1	10	10
Chumaceras	2	20	40
Eje	1	15	15
Seguro de eje	4	2	8
		<b>TOTAL</b>	<b>278.7829</b>

**Tabla 6:** costo de materiales. Fuente propia

**Transmisión.** Se hizo mediante acople directo

**Sistema de generación.**

Para simplificar la construcción se ha optado por emplear un Dinamo como generador para hacer las pruebas correspondientes en el prototipo se ha optado por un dinamo que nos permite generar energía y ver el funcionamiento de la turbina hidrocínética, este estará montado encima de la plataforma de flotación permitiendo de una manera fácil el montaje y desmontaje.

<p><b>Descripción</b></p> <p>Dinamo generador 12V 6W bicicleta luz parte bicicleta lightpart Tartana playa.          Tipo: STZVO 12 V / 6 W bicicleta apto para: Bicicleta.          Aftermarket de bicicleta Dinamo 12V/6W.          Paquete incluido: 1 * Dinamo de bicicleta.          Por favor, compruebe el tamaño de la bicicleta y la muestra antes de su compra.</p>							
<p><b>Funciones y detalles</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bicicleta Bicicleta Dinamo Generador de luz 12V 6W / 6V 3W Corriente alterna impermeable AC.</li> <li>• Tipo: STZVO 12 V / 6 W bicicleta apto para: Bicicleta.</li> <li>• Paquete incluido: 1 * Dinamo de bicicleta.</li> <li>• Aftermarket de bicicleta Dinamo 12V/6W.</li> <li>• Por favor, compruebe el tamaño de la bicicleta y la muestra antes de su compra.</li> </ul>							
<p><b>Información de producto</b></p> <table border="1"> <tr> <td>Marca</td> <td>Wai Danie</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones del paquete</td> <td>16 x 14.5 x 5 cm</td> </tr> <tr> <td>Referencia del fabricante</td> <td>ME217</td> </tr> </table>		Marca	Wai Danie	Dimensiones del paquete	16 x 14.5 x 5 cm	Referencia del fabricante	ME217
Marca	Wai Danie						
Dimensiones del paquete	16 x 14.5 x 5 cm						
Referencia del fabricante	ME217						

**Figura 24:** especificaciones técnicas del generador.

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Dinamo	1	15	15
Sistema de anclaje	1	20	20
<b>TOTAL</b>			<b>35</b>

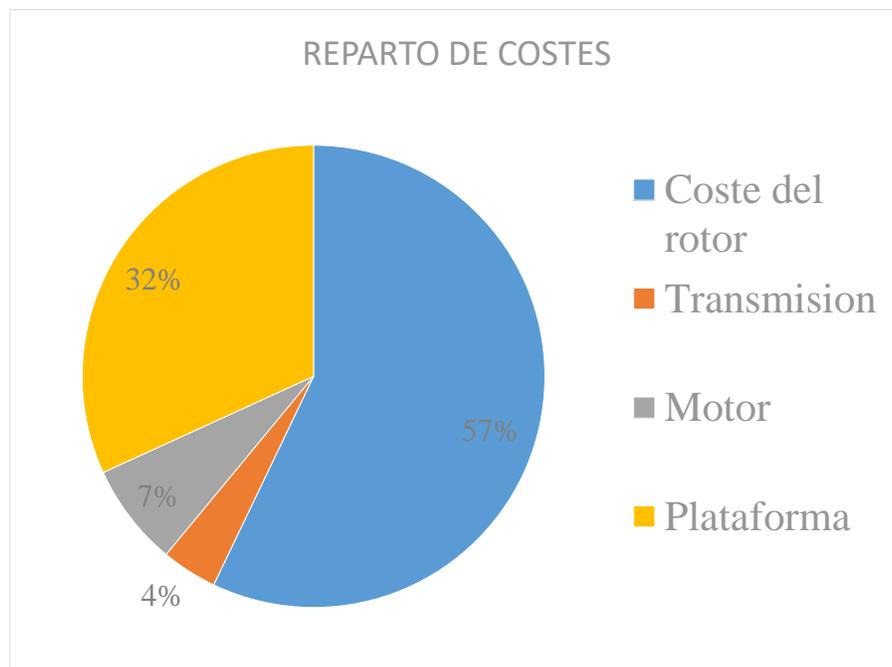
**Tabla 7:** costo de dinamo. Fuente propia

## Plataforma de flotación y sistema de anclaje

La plataforma de flotación estará constituida a base de madera. Sin embargo, si se considera adecuado, se puede situar bajo la plataforma de madera una serie de barriles de plástico, que faciliten la flotación del equipo.

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Madera 6 m	1	50	50
madera tronco de 4,5 m	4	20	80
Plastico	2	10	20
Tornillos M20x150	8	0.674	5.392
<b>TOTAL</b>			<b>155.5</b>

**Tabla 8:** costo de materiales de anclaje. Fuente propia



**Figura 25:** diagrama de porcentaje con mayor costo. Fuente propia

Es necesario tener en cuenta que este coste solo incluye los materiales, excluyendo la mano de obra, los moldes de fabricación de las palas e instalación del equipo.



Vigas - Planchas - Tubos - Angulos - Canales - Válvulas - Filtros

## PLANCHAS Y BOBINAS GALVANIZADAS ASTM A 653/A 653M

### Descripción

Planchas y bobinas laminadas en frío, revestidas por ambas caras con una capa de zinc, mediante un proceso de inmersión en caliente.

### Usos

Ductos de aire acondicionado, cobertura para techos planos o parabólicos, perfiles plegados, canaletas, bandejas porta cables, hojalatería en general y partes de electrodomésticos, etc.

### Normas Suministradas y Composición Química

NORMA TECNICA		C	Mn	Si	P	S
DEL PRODUCTO	DEL ACERO	%	%	%	%	%
ASTM A 653/A 653M	JIS G 3141 SPCC SD	0.12 máx	0.50 máx	-	0.04 máx	0.045 máx

### Propiedades Mecánicas Referenciales

NORMA TECNICA DEL ACERO	Limite de Fluencia			Resistencia a la Tracción			Elongación Probeta 2"
	Kg/mm <sup>2</sup>	ksi	Mpa	Kg/mm <sup>2</sup>	ksi	Mpa	
JIS G 3141 SPCC SD	-	-	-	27 mín	38 mín	270 mín	32 % mín

### Recubrimiento de Zinc

G 60 (180 gr/m<sup>2</sup>); G 40 (120 gr/m<sup>2</sup>) en Ambas Caras

### Dimensiones y Pesos Teóricos

SISTEMA METRICO			SISTEMA INGLÉS, REFERENCIAL			PESOS TEÓRICOS			AREA DE PLANCHA	
Espesor mm	Ancho mm	Largo mm	Espesor pla	Ancho pla	Largo pla	kg/plancha	kg/m <sup>2</sup>	kg/pla <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	pl <sup>2</sup>
0.40	1200	2400	1/64"	4	8	9.862	3.320	0.308	2.88	31.0
0.45	1200	2400	1/57"	4	8	10.662	3.713	0.345	2.88	31.0
0.50	1200	2400	1/54"	4	8	11.822	4.105	0.381	2.88	31.0
0.55	1200	2400	1/48"	4	8	12.953	4.498	0.418	2.88	31.0
0.80	1200	2400	1/40"	4	8	14.053	4.880	0.454	2.88	31.0

**Tabla 9:** Ficha técnica de planchas galvanizadas

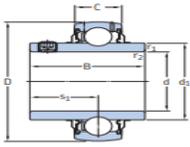
Dimensiones y Pesos Teóricos

SISTEMA METRICO			SISTEMA INGLES REFERENCIAL			PESOS TEORICOS			AREA DE PLANCHA	
Espesor mm	Ancho mm	Largo mm	Espesor	Ancho pie	Largo pie	kg/plancha	kg/m <sup>2</sup>	kg/pie <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	pie <sup>2</sup>
0.60	1200	2400	1/16"	4	8	14.063	4.890	0.454	2.88	31.0
0.85	1200	2400	1/16"	4	8	15.214	5.283	0.491	2.88	31.0
0.70	1200	2400	1/16"	4	8	16.344	5.675	0.527	2.88	31.0
0.75	1200	2400	1/16"	4	8	17.474	6.068	0.564	2.88	31.0
0.80	1200	2400	1/16"	4	8	18.605	6.460	0.600	2.88	31.0
0.85	1200	2400	1/16"	4	8	19.735	6.853	0.637	2.88	31.0
0.90	1200	2400	1/16"	4	8	20.866	7.245	0.673	2.88	31.0
1.00	1200	2400	1/16"	4	8	23.126	8.030	0.748	2.88	31.0
1.15	1200	2400	1/16"	4	8	26.518	9.208	0.855	2.88	31.0
1.20	1200	2400	1/16"	4	8	27.648	9.600	0.902	2.88	31.0
1.45	1200	2400	1/16"	4	8	33.300	11.563	1.074	2.88	31.0
1.50	1200	2400	1/16"	4	8	34.430	11.955	1.111	2.88	31.0
1.90	1200	2400	3/16"	4	8	43.474	15.095	1.402	2.88	31.0
2.00	1200	2400	5/64"	4	8	45.734	15.880	1.475	2.88	31.0

**Tabla 10:** Ficha técnica de planchas galvanizadas

- El eje, compuesto de acero SAE 1040 de 50 cm de largo por 5/8" de diámetro.
- Tubo pvc de 2"
- 2 Chumaceras de 5/8 Skf

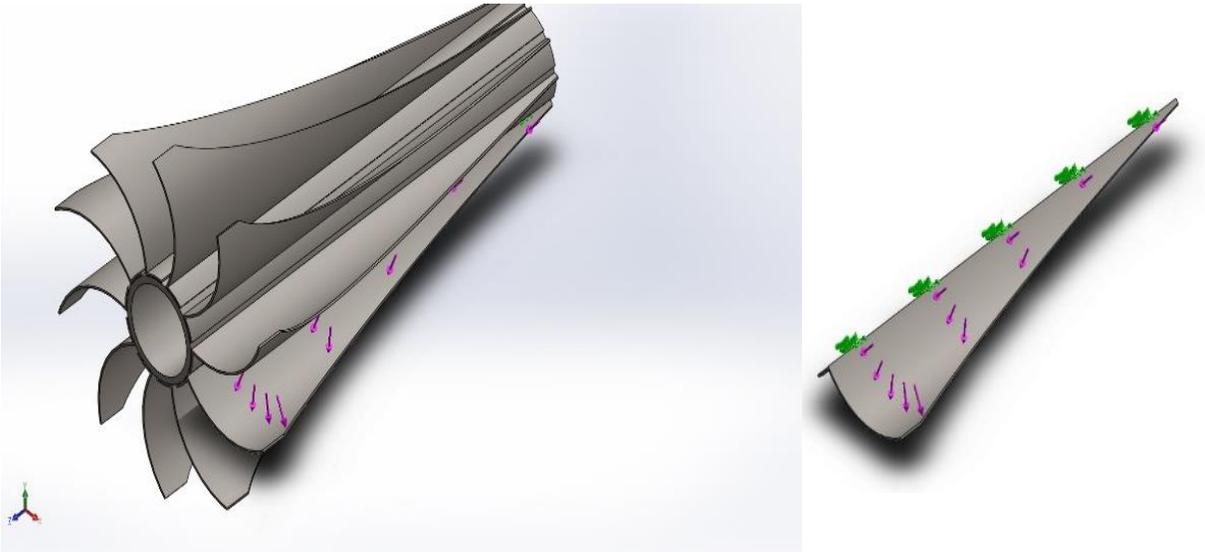
**Rodamientos Y SKF E2 con prisioneros, ejes en pulgadas**  
d 3/4 - 1 3/4 pulg.



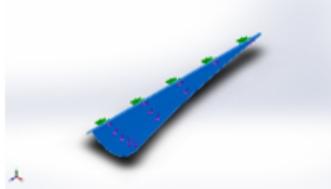
Dimensiones			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidad límite con tolerancia de eje h6	Masa	Designación				
d	D	B	C	d <sub>1</sub>	s <sub>1,2</sub>	r <sub>1,2</sub>	C	C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	v	m	
pulg./mm	mm					min.	kN		kN	r. p. m.	kg	-
3/4 19.05	47	31	14	28.2	18.3	0.6	12.7	6.55	0.28	8 500	0.14	E2.YAR 204-012-2F
7/8 22.225	52	34.1	15	33.7	19.8	0.6	14	7.8	0.335	7 000	0.21	E2.YAR 205-014-2F
15/16 23.813	52	34.1	15	33.7	19.8	0.6	14	7.8	0.335	7 000	0.2	E2.YAR 205-015-2F
1 25.4	52	34.1	15	33.7	19.8	0.6	14	7.8	0.335	7 000	0.18	E2.YAR 205-100-2F
1 1/16 26.988	62	38.1	18	39.7	22.2	0.6	19.5	11.2	0.475	6 300	0.34	E2.YAR 206-101-2F
1 1/8 28.575	62	38.1	18	39.7	22.2	0.6	19.5	11.2	0.475	6 300	0.32	E2.YAR 206-102-2F
1 3/16 30.163	62	38.1	18	39.7	22.2	0.6	19.5	11.2	0.475	6 300	0.29	E2.YAR 206-103-2F

**Figura 26:** ficha técnica de chumaceras skf recuperado de; SKF-Energy-Efficient-Y-bearing

## Análisis en SolidWorks Modelo de turbina en isométrico

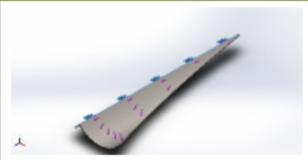


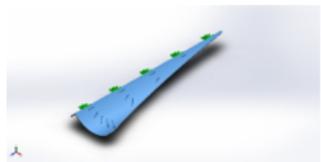
**Figura 27:** Modelo de turbina. Fuente propia

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: <b>AISI 1010 Barra de acero laminada en caliente</b></p> <p>Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b></p> <p>Criterio de error predeterminado: <b>Desconocido</b></p> <p>Límite elástico: <b>180 N/mm<sup>2</sup></b></p> <p>Límite de tracción: <b>325 N/mm<sup>2</sup></b></p> <p>Módulo elástico: <b>200000 N/mm<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficiente de Poisson: <b>0.29</b></p> <p>Densidad: <b>7.87 g/cm<sup>3</sup></b></p> <p>Módulo cortante: <b>80000 N/mm<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: <b>1.2e-05 /Kelvin</b></p>	<p><b>Sólido 11(MatrizC1[7])(C UERPO)</b></p>
<p>Datos de curva: <a href="#">N/A</a></p>		

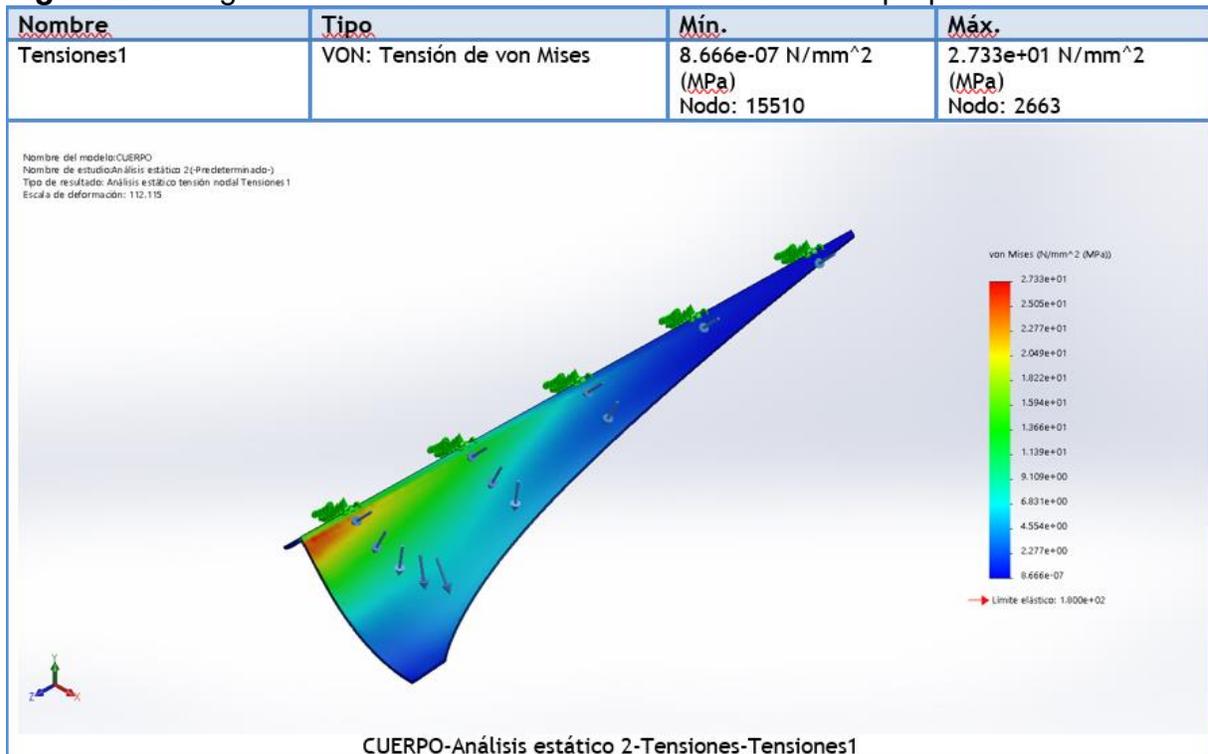
**Figura 28:** Propiedades de material. Fuente propia

## Cargas y sujeciones

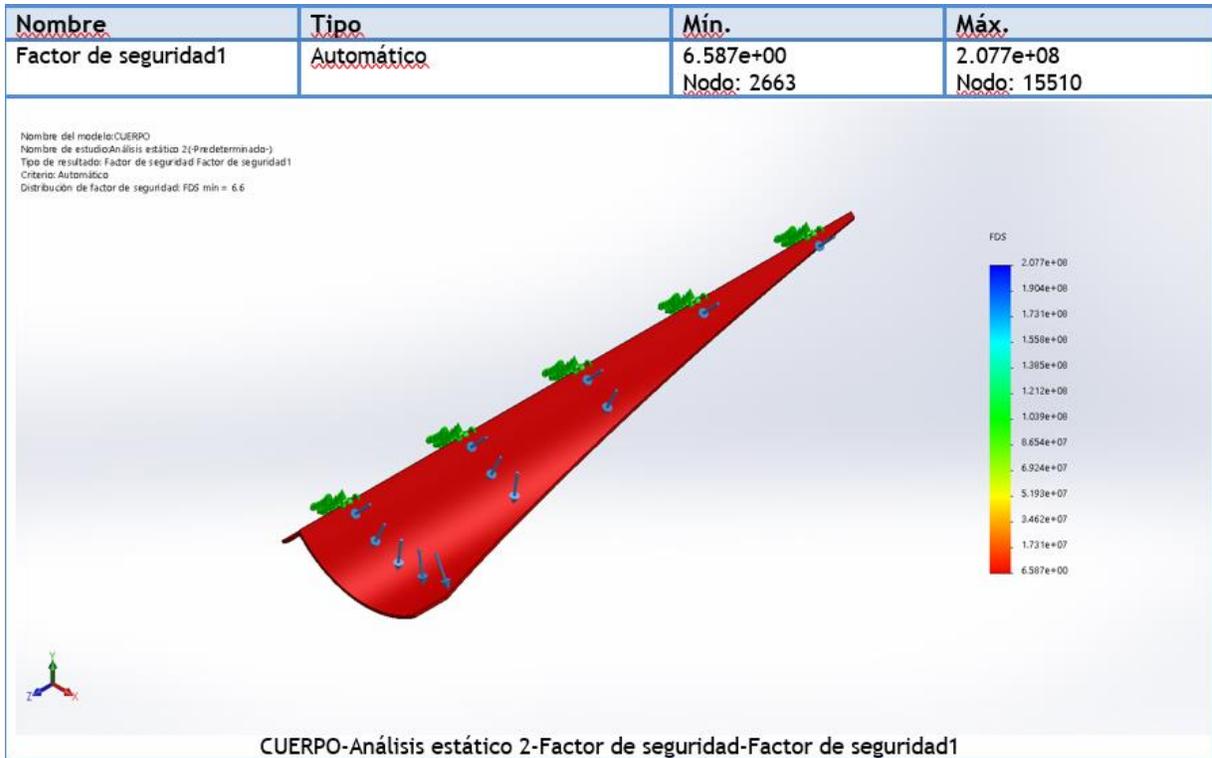
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	43.2609	96.0748	0.0257138	105.365
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 112 N		

**Figura 29:** Carga del alabe de acuerdo a SolidWorks. Fuente propia



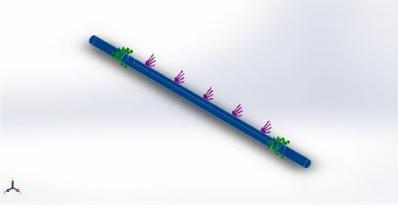
**Figura 30:** Tensión de Von Mises en SolidWorks. Fuente propia



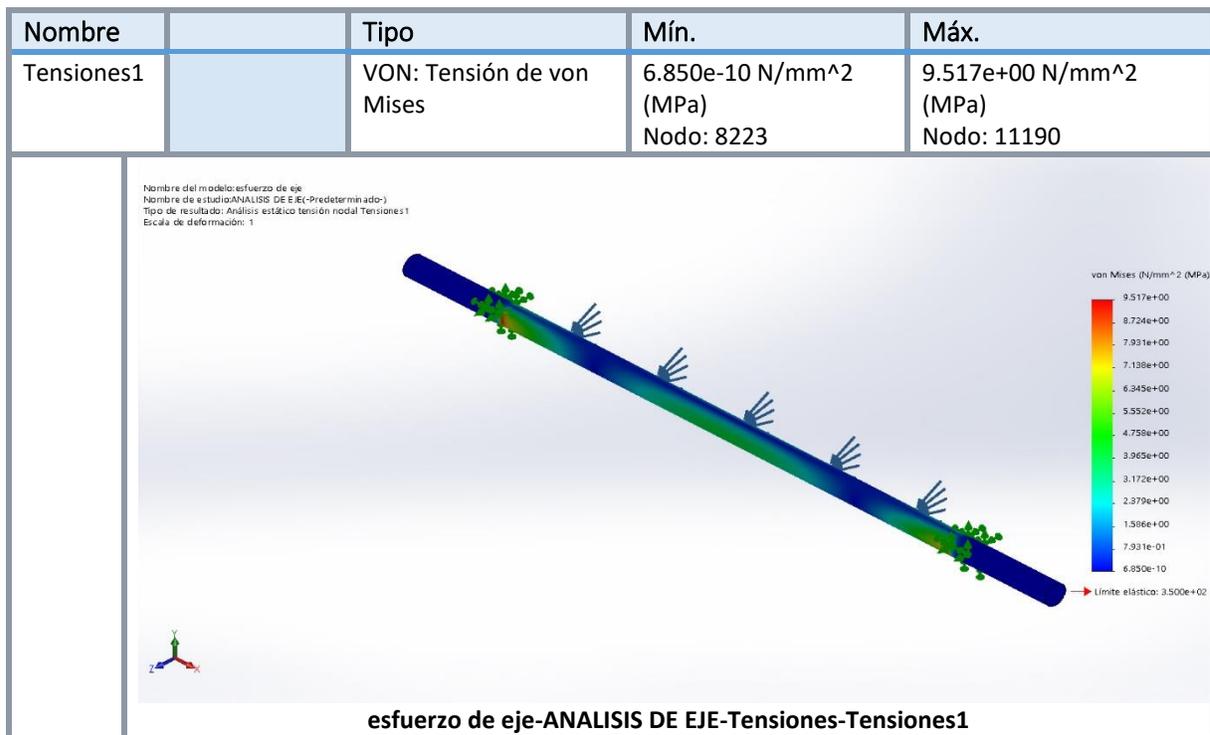
**Figura 31:** factor de seguridad en SolidWorks. Fuente propia



**Figura 32:** Análisis de esfuerzos de acuerdo a SolidWorks. Fuente propia

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: <b>AISI 1020 Acero laminado en frío</b></p> <p>Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b></p> <p>Criterio de error predeterminado: <b>Desconocido</b></p> <p>Límite elástico: <b>350 N/mm<sup>2</sup></b></p> <p>Límite de tracción: <b>420 N/mm<sup>2</sup></b></p> <p>Módulo elástico: <b>205000 N/mm<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficiente de Poisson: <b>0.29</b></p> <p>Densidad: <b>7.87 g/cm<sup>3</sup></b></p> <p>Módulo cortante: <b>80000 N/mm<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: <b>1.2e-05 /Kelvin</b></p>	<p><b>Sólido 1(Envolver1)(esfuerzo de eje)</b></p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		

**Figura 33:** Propiedades del material. Fuente propia

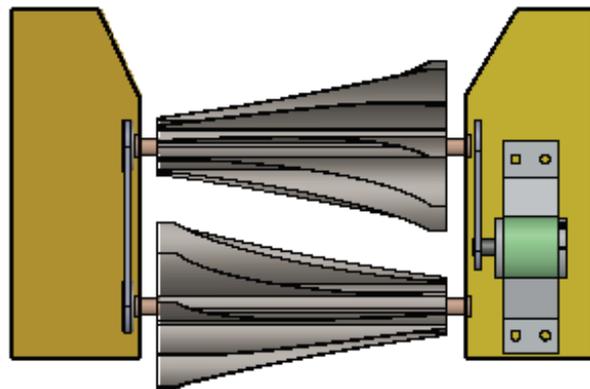
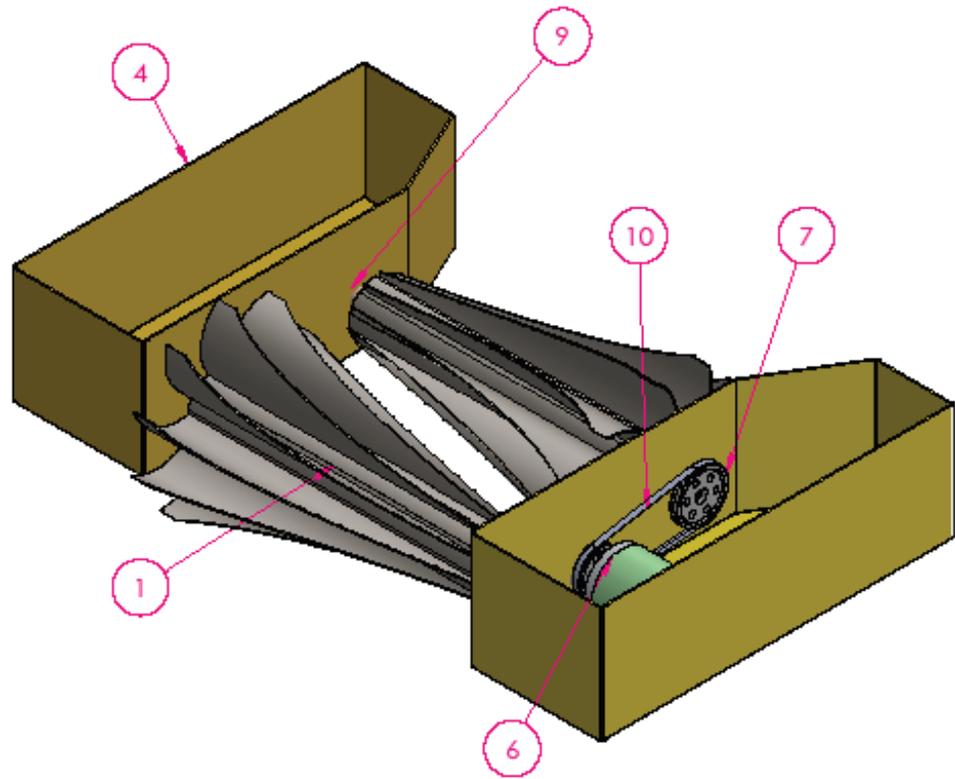


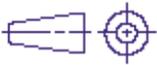
**Figura 34:** Análisis de tensión de Von Mises en el eje. Fuente propia

		<b>FICHA DE REGISTRO DE DATOS</b>	
“Performance de una turbina hidrocínética cónica a partir del potencial hidráulico de un canal de regadío”.			
<b>ALUMNOS</b>		<b>DOMÍNGUEZ ROLDÁN JESÚS</b>	
		<b>QUEZADA RUIZ ROY</b>	
<b>Rpm (revoluciones por minuto)</b>	<b>Voltaje (mili voltios)</b>	<b>Velocidad angular (W)</b>	
70	0.0600	7.33	
76	0.0630	7.96	
79	0.0670	8.27	
83	0.0690	8.69	
87.5	0.0725	9.16	
91.7	0.0756	9.60	
95.9	0.0787	10.04	
100.10	0.0818	10.48	
104.30	0.0849	10.92	
108.50	0.0880	11.36	
112.70	0.0911	11.80	
116.90	0.0942	12.24	
121.10	0.0973	12.68	
125.30	0.1004	13.12	
129.50	0.1035	13.56	
133.70	0.1066	14.00	
137.90	0.1097	14.44	
142.10	0.1128	14.88	
146.30	0.1159	15.32	
150.50	0.1190	15.76	
154.70	0.1221	16.20	

**Tabla 11:** ficha de registro de datos. Fuente propia.

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	TURBINA CONICA	2
4	CAJA PARA MOTOR	1
6	MOTOR DE 12 V	1
7	POLEADE TURBINA	3
9	EJE	2
10	FAJA DE DISTRIBUCION	2



 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	NOMBRE	FECHA	PROYECTO
	DEB. CAD.	ROQUEZADA	TURBINA HIDROKINETICA
	REVISADO		DESCRIPCION
APROBADO			TURBINA HIDROKINETICA
SALVO OTRA INDICACION LAS MEDIDAS ESTAN EN MILIMETROS			
PROPIEDAD Y CONFIDENCIALIDAD	ANGULO	X 2:5	XX 2:3
ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE ETAL S.A.C. Y SU REPRODUCCION, DIFUSION, COMERCIALIZACION O USO DE CUALQUIER TIPO SIN UNA AUTORIZACION ESCRITA DE SUS PROPIETARIOS ESTÁ PROHIBIDA POR LEY.			TAMAÑO
	PROYECCION EN PRIMER ANGULO		NRO. SERIE
			A4
			ESCALA 1:20
			PCSD
			HOJA 1 DE 1



**Figura 35:** Prototipo de turbina Hidrocinética de palas cónicas. Fuente propia



**Figura 36:** Medición del voltaje de la Turbina Hidrocinética Cónica. Fuente propia