

Diseño y construcción de un prototipo de hidroturbina de río para evaluación de su desempeño.

Autores: José Gregorio Berrio Chiquillo Cód. 23551925720

Fredys Javier Barrios Pacheco Cód. 23551913769

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.

Programa Académico: Tecnología en mantenimiento electromecánico industrial

Universidad Antonio Nariño

Barranquilla, Sede Puerto Colombia Atlántico

e-mail institucional autores

joberrio18@uan.edu.co, fbarrios34@uan.edu.co

Director: Jonathan Fábregas Villegas.

RESUMEN: En este estudio se desarrolla el diseño y construcción de un prototipo de hidroturbina de río con el propósito de evaluar el desempeño energético de la misma. Se estructuran los objetivos necesarios para llevar a cabo el desarrollo del prototipo, partiendo de una revisión bibliográfica de dispositivos existentes y la caracterización fluido dinámica de los mismos. Además, este dispositivo se plantea como uso de banco de laboratorio con el fin de aportar a los conocimientos de la comunidad educativa, y producto de desarrollo tecnológico e innovación.

PALABRAS CLAVE: *hidroturbina, desempeño energético, generación de energía, energías sustentables, conservación del medio ambiente.*

I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Los métodos de generación de energías tradicionales han dejado un impacto medio ambiental negativo causado por el uso de combustibles que generan emisiones contaminantes hacia el ambiente, y otros como la construcción de grandes hidroeléctricas que han afectado a la población habitante de las riveras cercanas. Por ello en investigaciones recientes se ha optado por utilizar métodos de generación de energía a través de fuentes sustentables que vayan a favor del mejoramiento en la condición vital en las poblaciones, así como del medio ambiente circundante. Kirke [1] realizó una investigación exhaustiva sobre el uso de turbinas hidro cinéticas para utilizarse en ríos, en el cual demostró el poco uso que tienen estas en la actualidad como métodos

de generación de energía con el propósito de beneficiar a las poblaciones que habitan cerca de las riveras de estos ríos, como resultado de su investigación propone un diseño optimizado de una turbina hidro cinética para estas necesidades. Mientras en estudios como los de Ramadan et al. [2] donde desarrollaron validaciones experimentales y simuladas de dos tipos de turbinas savonius utilizadas para la generación de energía por medio del movimiento de un afluente dirigido, siendo la segunda turbina una modificación del modelo tradicional, en sus resultados logran estimar que el comportamiento de la segunda turbina presenta valores optimizados. Por otra parte, en el estudio de Silva et al. [3] evaluaron el comportamiento de la estela de un flujo a través del alabe de una turbina hidro cinética aportando datos para estudios relacionados a este tipo de dispositivos. [4] se centraron en una interferencia de turbinas eólicas o hidrocínicas en línea se ha establecieron una salida maximizadora constante después de haber establecido la segunda turbina en la línea consideraron que estas líneas genéricas son las más adecuada para las turbinas de los ríos. Que la estela de su prototipo es única en su medio y que pueden ser de gran aporte para parques eólicos. [5] se basaron en un tipo de turbina Savonius que utiliza un sistema de arrastre prominente que utilizaron para aprovechar energía eólica o hidráulica sin embargo se hace más énfasis en su funcionamiento hidráulico, se puede personalizar de acuerdo al tipo de ubicación que se le quiera dar y considerando su baja eficiencia es considerado el tamaño de sus

palas para mejorar su desempeño, no obstante su diseño le permite más potencia que otras que han estado en estudio y tubo algunas modificaciones para ser re potencializada, es una forma de energía limpia para producir energía a base fuentes fluviales, es decir de fluido de agua.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente existen métodos de generación de energía que se enfocan en el uso de fuentes contaminantes, y otros métodos que presentan afectaciones al medio ambiente. Por lo que en investigaciones recientes se han mostrado el uso de dispositivos como lo son las turbinas hidro cinéticas para evaluar su desempeño y beneficio a poblaciones vulnerables. No obstante, estos dispositivos no son usados como instrumentos en la enseñanza de centros educativos, y en la comercialización masiva para el uso público.

Con el propósito de fomentar el uso razonable de la energía se propone a diseñar un prototipo de hidroturbina capaz de generar energía con bajas velocidades de afluentes, siendo este dispositivo un método de generación amigable con el medio ambiente.

Dentro de las etapas de desarrollo se realiza una revisión de antecedentes de modelos existentes que permitan una selección apropiada, de los componentes constitutivos del dispositivo a construir. Esta clase de prototipos generan ganancia para conocimientos futuros ante la comunidad educativa e investigaciones locales.

III.JUSTIFICACIÓN

Con base al impacto ambiental que generan los dispositivos como lo son las turbinas hidro cinéticas, realizar pruebas con el fin de la estimación de su potencial de generación de energía disponible, las hacen dispositivos apropiados para pruebas de laboratorio fomentando la educación.

Estos dispositivos generan valor agregado a la innovación de un diseño capaz de generar energía a bajo consumo que sirva como apoyo al uso racional de la energía y en beneficio de poblaciones vulnerables.

Este prototipo es desarrollado a través de materiales de bajo costo permitiendo así que un mayor público pueda acceder a la compra y puesta en servicio del dispositivo aportando así al fomento de energías sustentables.

IV. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Diseño y construcción de un prototipo de hidroturbina de rio para evaluación de su desempeño.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Diseñar las características fluido dinámicas de una turbina de rio a través de una metodología investigativa de tipo procedimental.

Construir un prototipo de hidroturbina como banco de pruebas de laboratorio.

Evaluar el desempeño energético del prototipo de hidroturbina como pruebas de laboratorio.

V. ALCANCE

Se propone como alcance la construcción de una hidroturbina como banco de laboratorio para pruebas y evaluaciones de desempeño.

VI. METODOLOGIA

El desarrollo del presente proyecto se basa en un tipo de metodología experimental, a base de investigación de tipo procedimental en el cual se obtendrán las características de comportamiento del fluido dinámico de una turbina de rio a partir de pruebas de laboratorio, para ello se parte de una situación problema del uso de un dispositivo capaz de generar energía a través del movimiento producido por una corriente de fluido.

Entre sus etapas de diseño se encuentran construir un prototipo de hidroturbina como banco de pruebas de laboratorio de acuerdo con los resultados de las investigaciones realizadas recientes que abarcan la temática de generación de energía, la selección apropiada de modelos y materiales, para la posterior construcción de dicho

prototipo y que este permita evaluar su desempeño a través de pruebas de laboratorio.

Una vez investigados los prototipos de hidroturbinas existentes en el mercado desde su punto de vista energético y productivo, y luego de haber pasado a la etapa de diseño y construcción del prototipo planteado, se pasará a la etapa de laboratorio donde se realizarán las respectivas evaluaciones de desempeño de la hidroturbina de río, tales como rendimiento energético, diagrama de fluido, factibilidad de uso y verificación de que tan amigable sería con el medio ambiente.

Cabe destacar que este proyecto será dejado como banco de pruebas de laboratorio para la universidad Antonio Nariño como aporte al desarrollo de la sociedad.

1. Tipo de estudio

La forma en la que se hará el estudio para la construcción de este proyecto será de tipo investigativo, exploratorio y comparativo ya que se estudiarán las características técnicas de otros prototipos ya existentes en el mercado con el fin de comparar su desempeño y lograr establecer cuál es el mejor diseño para posteriormente elegir el modelo a desarrollar.

2. Fuentes y técnicas de recolección de la información

2.1 Fuentes primarias

Las fuentes primarias que se emplearán para el desarrollo de dicho proyecto es el apoyo del cuerpo de docentes de la universidad y también se consultará con el personal externo en caso que sea necesario, pero dicho personal debe tener experiencia en el tema o en el área de ingeniería o afines con el fin de que la información suministrada sea efectiva y veraz.

a) Técnicas de recolección de información primaria:

los métodos de investigación, las técnicas de recolección primarias a saber serán:

- **Entrevistas:** esta se realiza con el cuerpo de docentes de la universidad en los

espacios diseñados para la asesoría o acompañamiento académico.

- **Observación científica:** esta se realiza a través de medios oficiales de información disponible en medio oficiales de comunicación.
- **Revistas:** este será de tipo científico, en investigación a través de estos medios de actualidad con el fin de recibir información actualizada y confiable

2.2 Fuentes secundarias

Esta será por medio de información recopilada de medios de comunicación, audiovisuales y de más, que permitan complementar la información proveniente de las fuentes primarias.

b) Técnicas de recolección de información secundaria:

- **Libros:** para esto se cuenta con el apoyo de la biblioteca dispuesta en la universidad tanto de modo físico como virtual, para que de este modo sea más viable y factible el momento de búsqueda de la información, que se cuente con todos los medios necesarios para su consecución.
- **Bases de Datos:** Estas pueden ser de la universidad o de medios de suministro de la red de internet o de cualquier otro medio que facilite el acceso a la información.

Alcance y limitaciones en el proyecto de investigación

El presente proyecto está orientado a la comunidad estudiantil con el que se pretende diseñar un sistema para aportarlo como banco de prueba para futuras investigaciones teniendo como objetivo de aportar a las condiciones de estudio en la población, para que las generaciones futuras logren mejores tecnologías donde las energías utilizadas sean limpias y renovables en lo posible y que esto contribuya a la conservación del planeta. El alcance de este proyecto será hasta la etapa de construcción y análisis de la implementación del prototipo de

hidroturbina de río. Adicionalmente, se pretende desarrollar mediante un orden metodológico las etapas consecuentes al diseño de dicho prototipo y que permita a la comunidad mayor conocimiento evolutivo del prototipo, teniendo en cuenta que cumpla con el objetivo y que mejore las formas de generación de energía existente.

VII. RESULTADOS ESPERADOS

La construcción de un prototipo de hidroturbina como banco de prueba de laboratorio capaz de generar energía.

a. ubicación dentro de las líneas de trabajo del programa

El proyecto se encuentra direccionado bajo las líneas de energías renovables, y desarrollo tecnológico e innovación.

b. usuarios directos y formas de utilización de los resultados del proyecto

La construcción del prototipo es propuesta para el uso de la comunidad educativa e investigativa para la evaluación de desempeño energético. Esta propuesta puede generar un punto de partida hacia el registro de un prototipo industrial comercializable.

VIII. MARCO DE REFERENCIA

A. Marco Conceptual

Con el fin de que el lector de este documento tenga una visión más clara del tema se definen algunos de los términos que se utilizarán en el desarrollo del mismo.

- **Prototipo:** Es aquella fabricación que se realiza en primera instancia como objeto de prueba para estudios posteriores de la viabilidad de su puesta en funcionamiento en determinado sector del mercado.
- **Hidro:** Es una palabra compuesta proveniente de Grecia y se utiliza al formar una palabra o sustantivo tomando el sentido de.
Agua; "hidroavión, hidrofilia, hidroelectricidad, hidrocarbonado"
- **Turbina:** es un quipo utilizado para

aprovechar el movimiento proveniente de una rotación para transformación de energía, este movimiento puede ser provocado ya sea por una corriente de fluido líquido o gaseoso.

- **Hidroturbina:** Hace relación a una palabra compuesta que viene de la fusión de la palabra Hidro con la palabra turbina y que quiere decir que es una máquina rotativa que hace una transformación de energía mecánica y cinética por medio de la circulación de un fluido hídrico que para este caso sería (agua). El elemento principal de esta máquina en cuestión, es un elemento rotatorio o rueda el cual está conformado con unas hélices puestas de forma circular a su alrededor y ubicadas con cierto grado de inclinación de tal modo que el fluido que circula por ellas produzca el movimiento del eje de la máquina para que la misma entre en funcionamiento, este movimiento a la vez es aprovechado para su transformación en energía eléctrica.
- **Generación eléctrica:** Es un procedimiento que se lleva a cabo en la transformación de energía que brinda la naturaleza, ya sea de fuentes renovables o no renovables para posteriormente convertirlas en energía eléctrica, a través de procesos físicos o químicos de transformación.
- **Energía:** Es la capacidad que tiene un organismo o cuerpo de realizar una labor ya sea de forma dinámica, lumínica, o calorífica, entre otras. Esta no se crea ni se destruye, solo se transforma.
- **Energía eléctrica:** Esta se genera en centrales eléctricas, luego se transporta por líneas de transmisión para posteriormente ser distribuida al cliente final, existen diferentes métodos para su generación como el aprovechamiento del fluido del agua, gas o petróleo, carbón, el viento y el sol, entre otros.
- **Energía cinética:** Hace referencia a la energía que tiene un objeto con masa por el hecho de estar en movimiento, es decir que si un objeto se mueve tiene energía y entre mayor sea su movimiento mayor energía tendrá, así como también esta dependerá de la masa de dicho cuerpo en movimiento ya que su energía cinética será mayor entre mayor sea su masa.
- **Energía mecánica:** Es una de las tantas

formas que se conocen de energía, esta se divide en dos tipos; la energía cinética y la energía potencial, donde la energía cinética es aquella que está relacionada con el movimiento de un cuerpo, como se mencionó anteriormente, mientras la energía potencial es un poco más abstracta ya que no representa un movimiento, es aquella energía que está guardada en un cuerpo y que puede convertirse en otro tipo de energía.

- **Energía eólica:** Es la energía renovable que más extendida está en la actualidad, esta energía aprovecha de forma efectiva la fuerza del viento para la transformación en otro tipo de energía, es una de las fuentes de obtención de energía más limpias que existe.

B. Marco Teórico

En este apartado se entra un poco en detalle de lo que son los conceptos utilizados para la realización del prototipo de hidro turbina de río.

Se ha tomado como base el funcionamiento de las turbinas que trabajan con fluidos gaseoso o viento o más específicamente la energía eólica, por ello se hace énfasis en información relacionada con el tema.

Por otro lado, se tendrá en cuenta el tipo de hidroturbinas ya existentes, con el fin de estudiar su comportamiento o desempeño y poder así lograr obtener el prototipo de hidroturbina mas optimo posible.

1. EL PROCESO DE DISEÑO EN INGENIERÍA.

Este tipo de proceso destaca las habilidades humanas en el desarrollo de actividades tecnológicas, como lo ha venido siendo desde tiempos primitivos, solo que en la actualidad se cuenta con la ventaja del desarrollo tecnológico alcanzado hasta el día de hoy, que nos permite gozar de mejores herramientas a la hora de proceder con la ejecución de dichos proyectos.

PASOS PARA LA ETAPA DE DISEÑO

- Identificación del tema a abordar.
- Indagación sobre temática a desarrollar.
- Modelación del prototipo a realizar.
- Consenso para la modelación.
- Fabricación del prototipo.

- Análisis de funcionamiento.
- Divulgación del proyecto. [6]:

2. GENERALIDADES DEL PROYECTO

Número de Reynolds (Re)

Expresa un número dimensional que sirve para definir las características del flujo, por ejemplo, dentro de una tubería, pero en términos generales el número de Reynolds permite identificar la naturaleza del flujo es decir si se trata de un flujo laminar, transicional o de un flujo turbulento además nos indica la tendencia del flujo hacia un régimen turbulento respecto de uno laminar y la posición de su estado dentro de una longitud determinada.

Este Numero está dado por la expresión:

$$R_e = \frac{\rho V L}{\mu}$$

Donde:

ρ : Densidad de flujo.

V : Velocidad de flujo.

L : longitud o diámetro de la tubería.

μ : Fuerzas viscosas.

Esto quiere decir que si se hace el análisis dimensional para esta ecuación se obtiene que es un numero adimensional, además lo que nos demuestra esta ecuación es que el número de Reynolds proporciona una indicación de la pérdida de energía causada por efectos viscosos.

El número de Reynolds es un aspecto muy importante en la mecánica de fluidos es por eso que se recomienda estudiar a fondo lo que se refiere a este número.

Flujo laminar y turbulento

Un flujo laminar son partículas de fluido que se mueven sin perturbarse unas a otras mientras que el flujo turbulento es todo lo contrario, en este caso las partículas se están cruzando o chocando de forma desordenada. Hay otro flujo que es el intermedio entre estos y se le conoce como transición, se puede considerar que el flujo laminar está por debajo de 2000 mientras que el turbulento está por encima de 4000 y el flujo de transición está comprendido en

medio de estos dos.

Para una mejor comprensión de estos, a continuación, se ilustra en la figura N° 2.

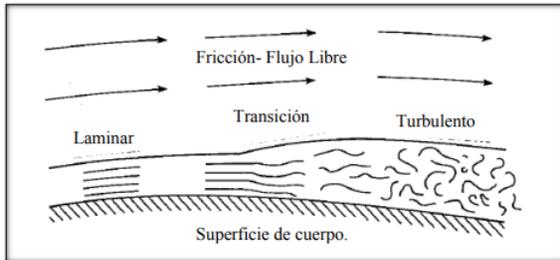


Fig. 2 Comportamiento de la capa límite sobre un cuerpo

Gradientes de presión

El gradiente de presión es el que permite determinar el tipo de fluido si es laminar o turbulento dado a que las presiones varían de acuerdo a la profundidad del fluido, este se puede dar dentro de un fluido o en la capa límite, es también considerado como la fuerza ejercida por unidad de área de un fluido dentro del recipiente o materia que lo contiene.

Para que este se dé no importa si el fluido o el conducto o recipiente es estacionario o está en movimiento, este dependerá de los niveles que se manejen, pero de cualquier forma estará presente y es parte fundamental en la determinación de un fluido.

La determinación de si el fluido es laminar o turbulento dependerá del gradiente de presión en el sentido en que este se dé sobre determinado fluido, se considera que es favorable cuando va a favor de la circulación del fluido y desfavorable cuando ocurre lo contrario, es decir cuándo va en contra del fluido.

Teniendo en cuenta la ecuación de Bernoulli ($P + \frac{1}{2} \rho V^2$) la velocidad del flujo aumenta cuando es favorable y disminuye cuando es desfavorable, y se representa del siguiente modo:

$$P_1 - P_2 = -\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_1^2 - v_2^2)$$

Si P aumenta desde 1 a 2 ($P_1 < P_2$), la velocidad disminuye ($V_1 > V_2$) (el gradiente de presión sería desfavorable), y si P disminuye desde 1 hasta 2 ($P_1 > P_2$) la velocidad aumenta ($V_1 < V_2$) (entonces el gradiente de presión es favorable). Fig. 3

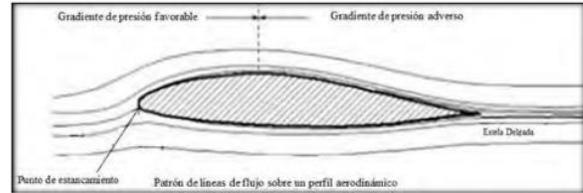


Fig. 3 Gradientes de presión favorable y desfavorable [7]

Teoría aerodinámica

La aerodinámica es la ciencia encargada del estudio del movimiento del aire y de las acciones que este ejerce sobre los cuerpos que se mueven inmersos en él.

Para entender esta teoría es necesario tener conocimiento de algunos conceptos relacionados con las mismas los cuales se expresan a continuación.

C: Cuerda: Es un tramo longitudinal de una circunferencia u objeto circular el cual se utiliza para objeto de estudio en el sentido en el cual interactúa con la dinámica del movimiento del fluido.

t: espacio longitudinal comprendido entre el inicio y fin de una cuerda.

l: distancia longitudinal de la hélice.

Intradós: parte inferior de forma cóncava de una superficie curva.

Extradós: parte superior de forma convexa de una superficie curva.

Borde ataque: Es la parte donde inicialmente el fluido hace contacto antes de ser repartido entre el intradós y el extradós.

Borde de salida: es la parte opuesta al borde de ataque y es donde el fluido abandona el contacto con el ala.

Ángulo de ataque[α]: es el ángulo formado entre la cuerda del ala y la dirección del flujo de aire circunstancial.

Ángulo de calado[δ]: es el ángulo formado por la cuerda con respecto al plano rotacional del eje.

Espesor del alabe o hélice: es la distancia formada entre la superficie y la parte inferior del ala.

L: es la fuerza generada por el motor y las hélices que producen el flujo del fluido.

W: es la fuerza que opone resistencia al fluido.

En la figura 4 se ilustran algunos de los parámetros antes mencionados.

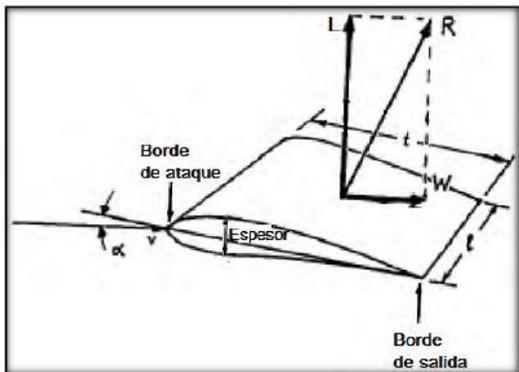


Fig. 4 partes del ábabe.

Relación de aspecto "aspect ratio"

Es la relación que existe entre el largo y el ancho del ábabe, esta se obtiene al dividir la longitud del ábabe entre la cuerda del mismo.

$$\Lambda = \frac{1}{c}$$

Otra forma de hallar dicha relación es dividiendo la longitud de la cuerda al cuadrado entre el área del ábabe, esto se da en aquel caso en el que la longitud de la cuerda no es continua.

$$\Lambda = \frac{1^2}{A}$$

Espesor del ábabe

Es la variación que puede tener el ábabe de espesor a lo largo, se puede dar de diferentes formas, aunque cuente con el mismo espesor, todo depende de la forma o diseño del mismo. Como se puede apreciar en la figura N° 5

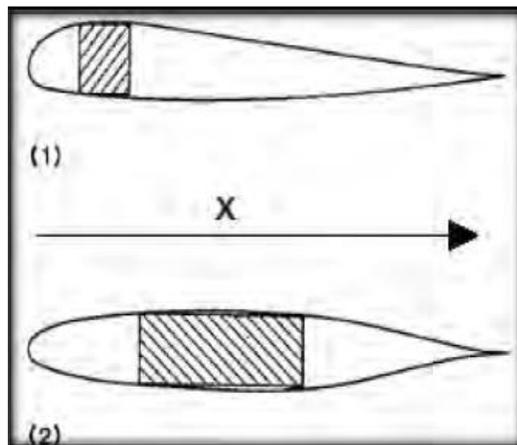


Fig. 5 Distribución de espesor en los perfiles aerodinámicos

Rugosidad del perfil

Este es un aspecto muy importante a tener en cuenta dado que la variable de araste aumenta cuando mayor sea el espesor del ábabe, así como también influye en el número de reinols que tiene inferencia directa sobre dicho funcionamiento ya que este actúa de forma inversa al espesor de la capa limite que a su vez también se vería afectada por dicho espesor.

Fuerza de sustentación, arrastre y momento

Las condiciones de un ábabe sometido a un flujo, depende de algunas fuerzas variables que influyen en su comportamiento, dichas fuerzas son: la fuerza de presión, tangenciales o sustentación o (F_L), la fuerza de flujo o de arrastre (F_D), el momento aerodinámico (M), el coeficiente de sustentación (C_L), el coeficiente de arrastre (C_W) y el coeficiente de momento aerodinámico (C_M). En la figura N° 6 se puede apreciar la ilustración de estas.

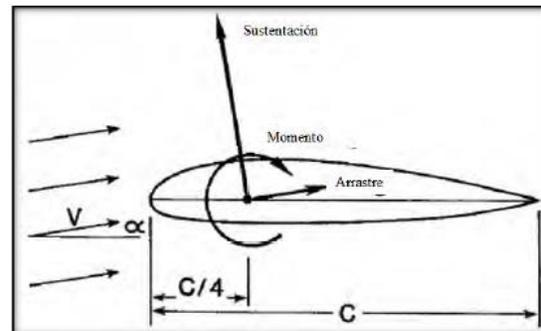


Fig. 6 Sustentación, arrastre y momento sobre el perfil [8]

Tipos de turbinas hidro-cinéticas

Las hidroturbinas de río, turbinas hidro-cinéticas, turbinas de corriente de agua, turbinas de río, turbina de corriente de flujo libre, o cualquier otro nombre que se les pueda dar, son pequeñas máquinas inspiradas generalmente, en la necesidad creciente de preservación del medio ambiente, surgen como una alternativa de generación de energía, amigables con el mismo, en la actualidad se ha optado por producir prototipos de hidroturbinas capaces de trabajar en afluentes de bajo caudal y sacar de ellas el máximo provecho posible con el fin de entregar a la comunidad un recurso sostenible y eficiente que les permita mejorar su calidad de vida, pero sin causar deterioros al medio ambiente.

Turbinashidro-cinéticas

Es un tipo de turbina que aprovecha la energía cinética producida por las corrientes de agua, sin que estas tengan necesidad de venir de represa o medios de estancamiento con flujos controlados, su importancia radica en la potencia que pueden desarrollar de acuerdo al flujo de agua que pase por ellas y por supuesto dependiendo también de su diseño. A continuación, se describen algunas de las más conocidas en la actualidad, en el mercado.

Turbina de eje horizontal

Este tipo de turbina no necesitan represas y pueden ser utilizadas en mares, ríos, canales o cualquier otro afluente que produzca una corriente de agua suficiente para su funcionamiento. El eje de rotación de la hidroturbina está posicionado sentido lineal en la misma dirección de flujo del fluido hídrico. En la figura N° 7 se tiene una imagen de turbina de eje horizontal. [9]



fig. N° 7 Turbina de eje horizontal.

Turbina de eje vertical

Esta fue diseñada para generar electricidad a partir de un flujo de agua aprovechando la energía cinética que el movimiento de esta produce, se construye con diques o canales de conducción del agua para llevarle la cantidad de flujo suficiente para su movimiento o trabajo. El eje de rotación de la hidroturbina se posiciona formando un ángulo recto de 90° en relación a la dirección del flujo del fluido hídrico. En la figura N° 8 se tiene una imagen de turbina de eje vertical. [10]



Fig. N° 8 Turbina de eje vertical

Turbinas Savonius: Fueron inspiradas en la preservación del medio ambiente, teniendo en cuenta los costos que generan los mecanismos de generación convencionales tanto para la economía, como para el medioambiente, y teniendo en cuenta el incentivo que entregan algunos gobiernos, con el fin de generar motivación en estudios e implementación de medios de generación amigables con el medio que nos rodea. Pueden arrancar con poca velocidad del fluido, su fabricación es muy sencilla, tiene una velocidad de giro pequeña y su rendimiento es relativamente bajo. [11]

Turbinas Darreus: su diseño requiere de profundidades bajas menores de dos metros de altura, su estructura es de diseño simple para la reducción de costos de fabricación y

funcionamiento. Este tipo de hidroturbinas, necesita de grandes flujos de agua para poder asegurar que logre trabajar de la manera esperada, por lo que no es óptima para afluentes de poco caudal. Para su construcción da la posibilidad de fabricarlo de dos (2) a cuatro (4) hélices. En la Figura. N° 9 se puede apreciar la imagen de estos dos tipos de turbinas. [12]

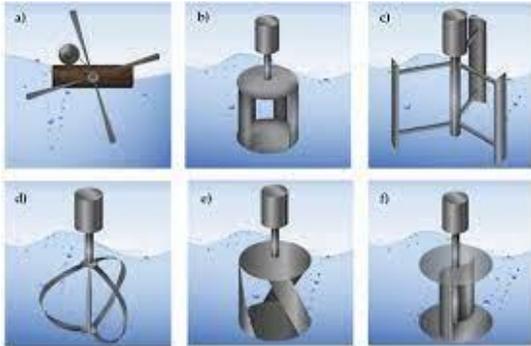


Fig. N° 9 Turbinas Savonius / Darrieus

Turbina de flujo cruzado

Son generadores de poca potencia relativamente, llegan a manejar hasta 10KW de energía, sin embargo, cubren la necesidad de aquellos usuarios de partes donde otros tipos de generadores no son viables. El eje de rotación de la hidroturbina está posicionado sentido lineal en la misma dirección de la superficie del fluido, pero se posiciona formando un ángulo recto de 90° en relación a la dirección del flujo del fluido hídrico. En la figura N° 10 se tiene una imagen de turbina de flujo cruzado. [13]

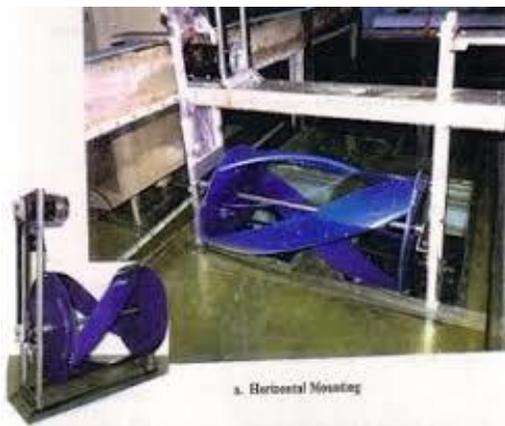


Fig. N° 10 Turbina de flujo cruzado

Turbina venturi

Este efecto consiste en que cuando un fluido dentro de un conducto cerrado pasa por un tramo de

sección menor baja la presión y aumenta la velocidad del fluido en dicho punto, esto es aprovechado para crear un mayor flujo de fluido el cual es utilizado para la generación de la energía. el fluido hídrico pasa por una zona de estrechamiento que aumenta la velocidad de este y esta es aprovechada en la transformación de energía. En la figura N° 11 se tiene una imagen de turbina venturi. [14]



Fig. N° 11 Turbina venturi

Mini generador eléctrico

En Gifu (Japón), un ingeniero mecánico llamado Masaya Sumino creó un mini generador eléctrico que tiene la facultad de trabajar con pequeños flujos hídricos, lo desarrollo inspirado en las personas de escasos recursos de sitios remotos donde otras fuentes generadoras de energías están lejos de llegar, este sistema trabaja con el principio de Arquímedes, pero en forma inversa, según la historia el tornillo de Arquímedes fue creado con el fin de sacar agua de partes bajas para llevarlas a partes altas o para sistema de reguío, mientras que el trabajo del ingeniero Masaya Sumino, lo utiliza de forma inversa, es decir utiliza las corrientes del afluente de agua a favor del tornillo de Arquímedes, para en lugar de sacar agua, sea el movimiento de esta a través del tornillo la que produzca movimiento el cual a su vez permite la generación de la energía eléctrica. Su diseño se muestra en la figura N° 12 [15]



Fig. N° 12 Mini generador eléctrico

Opciones de velocidad del generador y sistemas de control

Turbina de velocidad constante

Los motores utilizados en este tipo de turbina deben tener la capacidad de mantener el sincronismo en su funcionamiento, ya que este tipo de turbina lo requiere para poder trabajar a una velocidad constante. Y son aquellas en las que la variación de la velocidad no es mayor del 2%.

Turbina de velocidad prácticamente constante

En este caso existe un poco de flexibilidad en cuanto al tipo de motor requerido porque no es necesario que sea sincrónico, pero si debe garantizar que tengan resistencias de rotor por que la vibración de velocidad no debe superar el 10%

Turbina de velocidad variable

Para las turbinas de velocidad variable se puede optar por las dos opciones a la hora de la elección del tipo de motor que vaya a utilizar para su funcionamiento, aquí pueden ser tanto síncrono como asíncrono, en algunos casos pueden ser maniobrados por equipos electrónicos que regulen la velocidad de funcionamiento ya que como su nombre lo indica la velocidad puede ser variable.

Sistemas de control

Mecanismo de trabajo por cambios en el ángulo de paso:

Aquí se debe garantizar que en el momento de

torsión se eviten sobre esfuerzo en la maniobra de trabajo para que no se vea afectado el mecanismo de transmisión o en el sistema de generación, esto puede ocurrir cuando la velocidad del fluido excede los límites de funcionamiento ya se por encima o por debajo de los parámetros establecido.

Maniobrabilidad por bajas en la presión:

Este mecanismo de maniobra aplica para aquellas hidroturbinas donde sus hélices cuentan con ángulo fijo y tiene un diseño aerodinámico para que se garantice la perdida de presión cuando la velocidad del fluido crece.

Los alabes o hélices están diseñados de tal modo que proporcione un ángulo de ataque favorable para que así pueda ser aprovechado el dinamismo de flujo longitudinal de la misma.

Esto es con el fin de que la presión disminuya de forma gradual a medida que la velocidad de flujo aumenta para que de este modo se garantice que no se presenten averías por sobre esfuerzos en el sistema.

Maniobra activa por bajas en la presión: Este tipo de control encierra los dos métodos anteriores en uno, lo que significa que permite jugar con el ángulo de las hélices o álabes y también la maniobra por perdida de presión para dirigir la orientación de las hélices cuando la velocidad del flujo aumenta.

La ventaja con la que cuenta esta clase de maniobra es que la generación de energía es controlada de una manera más exacta, y también que el equipo está facultado para trabajar muy aproximadamente a su a sus capacidades de energía nominales para una relación de rapidez relativamente amplio.

En este tipo de control, el mecanismo de regulación puede ser tanto hidráulico como eléctrico y se aloja en el cubo. [7]

IX. ELECCION DEL PROTOTIPO A CONSTRUIR

En base a las investigaciones realizadas y comparación entre los modelos de hidroturbinas existentes en el mercado y luego de analizar objetivamente los comportamientos de cada una de ellas, el modelo a seguir por el cual se ha optado es el del ingeniero mecánico Masaya Sumino (Gifu, Japón), por su versatilidad y desempeño. Este es un prototipo de hidroturbina que cuenta con poco peso gracias a su reducido tamaño y el tipo de material

utilizado en su fabricación, a pesar de su pequeño peso genera una cantidad de energía capaz de energizar luminarias de considerable potencia o equipos similares, también ha sido utilizado en cercas eléctricas para protección de cultivos.

Este prototipo utiliza para su funcionamiento el principio del tornillo de Arquímedes, el cual consta una corriente de agua que atraviesa por un tornillo sin fin, haciéndolo girar a una velocidad considerable. Esto proporciona una energía cinética que es aprovechada para hacer circular un sistema bobinado a través de un campo magnético, para hacer circular un flujo de electrones dentro del mismo y que se utiliza como suministro una vez completado el proceso de generación. Para culminar en lo que conocemos como el principio de generación de la energía eléctrica.

X. DISEÑO DEL PROTOTIPO DE LA HIDROTURBINA DE RIO

Como ya se había mencionado antes se diseñará el prototipo de turbina de río en base al prototipo del ing. Sumino, el cual se muestra en la figura N° 13.

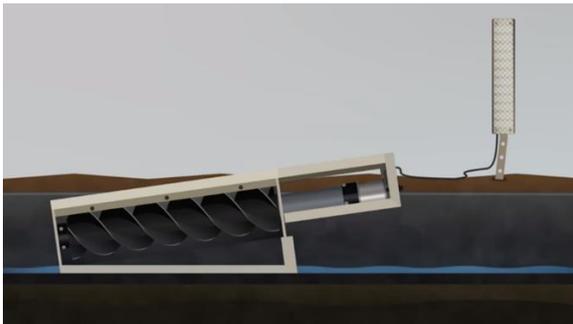


figura N° 13. Mini generador eléctrico

En este diseño se puede apreciar un ligero grado de inclinación del eje con respecto a la superficie, en la parte frontal del diseño, se cuenta con una placa frontal de 15 cm de altura la cual se encarga de represar el fluido hasta hacerlo subir al cauce del mini generador para que al paso de la corriente de agua, empiece su funcionamiento, cuenta también con un canal mediano de altura pensado de tal modo que el nivel del agua no supere el nivel estipulado ya que esto alteraría el funcionamiento del equipo, la base cuenta con 1 m de largo por 28 cm de ancho y tiene un peso de unos 18 Kg.

En la parte delantera cuenta con el mecanismo de generación de energía eléctrica la cual está ubicada de forma frontal con el eje, es decir en la misma dirección del mismo, y acoplados de forma directa.

A continuación, en la figura N° 14, se ilustra las partes que componen el mini generador y la forma en la que circula el agua para su correcto funcionamiento.

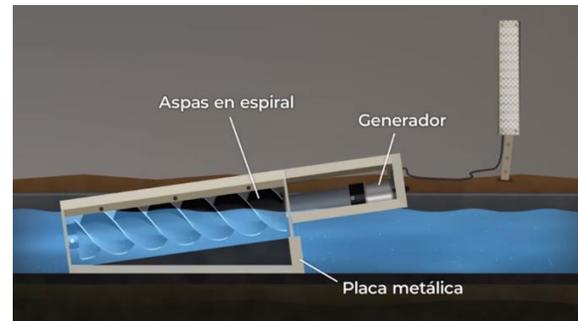


Fig. N° 14 partes que componen el mini generador y la forma en la que circula el agua.

A continuación, se procede a presentar cada una de las piezas que componen el sistema con diseño creado con el software solidworks, para lo cual procedemos con la Hélice que se muestra en la figura N° 15.



Fig. N° 15. Hélice de tornillo de Arquímedes.

Seguidamente tenemos el eje del sistema, que es el soporte central del tornillo sin fin y es fabricado en forma tubular, aquí se muestra en la figura N° 16.



Fig. N° 16. Eje del tornillo sin fin.

Luego se procede con la carcasa, es el conducto por donde circulara el fluido y es que contiene dentro el tornillo sinfín. Figura N° 17



Fig. N° 17 carcasa del tornillo sin fin.

Base de la chumacera, esta es donde van soportados los rodamientos los cuales a su vez sostienen el eje central del sistema. Fig. N° 18

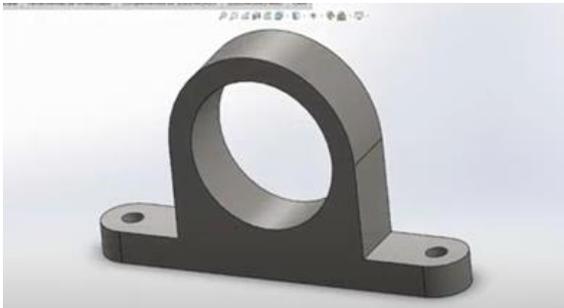


Fig. N° 18 Base de la chumacera.

Luego se procede con el diseño del Perfil, este se realiza para tener como soportar la chumacera. Figura N° 19

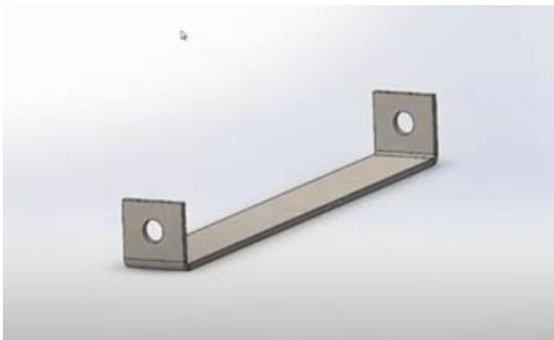


Fig. N° 19 perfil de soporte de la chumacera

Por último, se procede con el ensamble de todas las piezas mencionadas anteriormente, para conformar lo que sería el sistema completo ya como producto terminado y listo para ser adaptado a una base

general y acoplada al sistema de generación eléctrica. Fig. N° 20

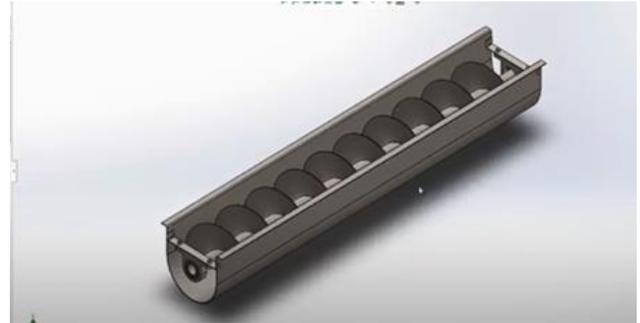


Fig. N° 20 ensamble del tornillo sin fin.

XI. COSTOS DE FABRICACION

RECURSO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO \$	TOTAL \$
rodamientos	2	10.000	20.000
ángulos de aluminio	2	8.000	16.000
Lámina galvanizada	1 (0.5m)	30.000	30.000
lamina de aluminio	1 (0.5m)	60.000	60.000
tubo de PVC	1 (.05m)	6000	6000
fabricación de ejes	2	20.000	40.000
flanches plásticos	12	2.000	24.000
motor eléctrico	1	30.000	30.000
accesorios adicionales	x	10.000	10.000
TOTAL	X	X	236.000

XII. CONCLUSION

Luego de los estudios realizados a cada una de los pequeños generadores que se encuentran en el mercado, se llega a un punto en común y es que todos busca regeneración de energía eléctrica por medio de equipos que son amigables con el medio ambiente.

Algunos con mejores resultados que otros como es de esperarse, pero todos en pro de un mejor planeta, nos llamó mucho la atención del mini generador de Sumino, por ser uno de los más efectivos en la generación de energía eléctrica, en relación a su peso y facilidad de transporte.

La realización de este proyecto ha sido algo enriquecedor ya que por medio de esta metodología investigativa, científica y teórico practica nos permitió ampliar en gran manera nuestros conocimientos obteniendo así una visión más amplia de aquí en adelante, para prepararnos a más y mejores retos y poder llegar en un momento determinado hacer aportes significativos y de gran importancia con gran impacto positivo, para el desarrollo de la sociedad. Y siempre con la visión clara de tener siempre presente el cuidado y preservación del medio en que vivimos, el medio ambiente.

XIII. REFERENCIAS

- [1] B. Kirke, Hydrokinetic and ultra-low head turbines in rivers, : A reality check. *Energy for Sustainable Development*, 52, 1-10.: A reality check. *Energy for Sustainable Development*,, 2019.
- [2] A. H. M. A.-F. W. A. A. W. A. & M. M. H. Ramadan, Comprehensive experimental and numerical assessment of a drag turbine for river hydrokinetic energy conversion. *Ocean Engineering*, 227, 108587, 1-21., *Ocean Engineering*, 227, 108587, 1-21.: *Ocean Engineering*, 227, 108587, 1-21., 2021.
- [3] I. F. S. C. R. G. R. & T. F. G. L. Dos Santos, Study of the wake characteristics and turbines configuration of a hydrokinetic farm in an Amazonian river using experimental data and CFD tools., *Journal of Cleaner Production*, 299, : *Journal of Cleaner Production*, 299, , 2021.
- [4] I. N. I. K. I. L. VL Okulov, Experiments on line arrays of horizontal-axis hydroturbines, *Renewable Energy: Renewable Energy*, 2021.
- [5] R. M. A Biswas, Experimental verification of improved performance of Savonius turbine with a combined lift and drag based blade profile for ultra-low head river applicationM Basumatary, *Sustainable Energy Technologies and Elsevie : Sustainable Energy Technologies and Elsevie* , 2021.
- [6] R. Boccardo, *Creatividad EN LA Ingeniería DE Diseño*, Caracas: Equinoccio.: Caracas: Equinoccio., 2006.
- [7] H. C. B. JD Jaramillo Diaz, Numero de Reynolds, repository.uniminuto.edu: repository.uniminuto.edu, 2015.
- [8] C. M. F. JJ Chirinos García, Modelo matemático para el diseño aerodinámico de los álabes de una turbina eólica de eje horizontal (TEEH), scielo.sld.cu: scielo.sld.cu, 2016.
- [9] J. M. J. D. R. CC Mancilla, Análisis computacional de una turbina hidrocínética de eje horizontal con y sin difusor, revistas.pascualbravo.edu.co: revistas.pascualbravo.edu.co, 2017.
- [10] R. S. D. M. -. R. R. c. GP Saltos, Turbinas hidrocínéticas de eje vertical helicoidal,

revistas.udg.co.cu: revistas.udg.co.cu,
2018.

- [11] V. P. S. P. T. E. CR Patel, Investigation of overlap ratio for Savonius type vertical axis hydro turbine, Citeseer: International Journal of Soft , 2013.
- [12] A. F. K. O. D. M. K Shimokawa, Experimental study on simplification of Darrieus-type hydro turbine with inlet nozzle for extra-low head hydropower utilization, Elsevier: Renewable energy, 2012.
- [13] M. C. Valencia, Desarrollo de un método de diseño y análisis por simulación numérica de las turbinas de acción de flujo cruzado para pico centrales hidroeléctricas, repositorio.itm.edu.co: repositorio.itm.edu.co, 2016.
- [14] J. E. LE Fauroux, El efecto Venturi y su incidencia en el rendimiento de turbinas micro-hidráulicas, reddi.unlam.edu.ar: reddi.unlam.edu.ar, 2018.
- [15] M. Sumino, Generador móvil de energía hidráulica ultrapequeño, Gifu (Japón): <https://ecoinventos.com/generador-movil-energia-hidraulica-ultrapequeno/>, 2021.