

Fenómenos Hidrodinámicos en una Turbina de Vórtice de Eje Vertical

Jefferson Alberto Porras Reyes¹

Jefferson.porras0449@utc.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-9333-0934>

Universidad Técnica de Cotopaxi
Latacunga- Ecuador

Luis Miguel Navarrete Lopez

luis.navarrete7284@utc.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-7784-9374>

Universidad Técnica de Cotopaxi
Latacunga- Ecuador

Jorge Ivan Armijo Martinez

jorge.armijo3614@utc.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-1319-1809>

Universidad Técnica de Cotopaxi
Latacunga-Ecuador

Daniel Andrés Navarrete Proaño

daniel.navarrete9070@utc.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0003-6622-5448>

Universidad Técnica de Cotopaxi
Latacunga- Ecuador

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un simulación diseñado de manera segura al generar un sistema hidráulico sostenible acoplándose a necesidades de estudio energético, el cual colabore con menos costos y más beneficios. Basado en simulaciones con el modelo de escala mediante la herramienta de ANSYS, el cual tiene como objetivo encontrar la eficiencia al momento de ejecutar esta simulación a escala real. Principalmente las motivaciones del trabajo se fundamentan en nuevos métodos de obtención de energía para la conservación del medio ambiente. Es así como se materializa la idea de diseñar y simular un nuevo sistema de turbinas de vórtices gravitacionales, con geometrías según lo encontrado en la literatura, y en estudios anteriores. De esta forma se procede a diseñar y simular un dispositivo de turbina compuesto por un impulsor de vórtice que pueda resistir la erosión y sedimentos y que permita el desarrollo de un vórtice gravitacional con una potencia hidráulica considerable. Una vez definida la geometría de la turbina se procede a realizar un modelado en el software ANSYS, con el fin de conocer el comportamiento del vórtice, para la definición de la configuración geométrica de los cuales además funcionarán bajo el concepto de "arrastre".

Palabras clave: *energías; ANSYS; geometria; cámaras de vórtices; impulsor; rotación.*

¹ Autor principal.

Correspondencia: Jefferson.porras0449@utc.edu.ec

Hydrodynamic Phenomena in a Vertical-Axis Vortex Turbine

ABSTRACT

The present work aims to generate a simulation designed in a safe way to generate a sustainable hydraulic system coupled to energy study needs, which collaborates with less costs and more benefits. Based on simulations with the scale model using the ANSYS tool, which aims to find the efficiency at the time of running this simulation at full scale. Mainly the motivations of the work based on new methods of obtaining energy for the conservation of the environment. This is how the idea of designing and simulating a new gravitational vortex turbine system, with geometries according to what has been found in the literature and in previous studies, is materialized. In this way, we proceed to design and simulate a turbine device composed of a vortex impeller that can resist erosion and sediments and that allows the development of a gravitational vortex with a considerable hydraulic power. Once the geometry of the turbine is defined, a modeling is made in ANSYS software, in order to know the behavior of the vortex, for the definition of the geometric configuration of which will also operate under the concept of "drag".

Keywords: *energies; ANSYS; geometry; vortex chambers; impeller; rotational.*

Artículo recibido 21 julio 2023

Aceptado para publicación: 21 agosto 2023

INTRODUCCIÓN

Este estudio considera los fenómenos hidrodinámicos que ocurren en una versión modificada de una turbina de vórtice de eje vertical con el fin de mejorar su desempeño. La modificación propuesta en el presente estudio es fácil de realizar, aprovechando el caudal de agua en sectores rurales. Las soluciones numéricas mediante CFD (Dinámica de Fluidos Computacional) han mejorado mucho en los últimos años gracias a los métodos de cálculo cada vez más adecuados y algoritmos específicos. Los problemas en energía hídrica involucran importantes recursos de cómputo debido a que las geometrías consideradas son grandes, muy complejas, requieren implementar mallas móviles de un alto número de elementos (Vargas, 2011) . La energía hidroeléctrica forma una de las principales fuentes para la adquisición de electricidad en todo el mundo ofrece alrededor del 16% de la electricidad en América Latina el Caribe tienen el 20% del potencial hídrico en todo el mundo (Calderon, 2019) . Sin embargo, alrededor del 1.2 % de personas no tienen servicio de electricidad en Ecuador de acuerdo al INEC, en especial en el sector rural (Escobar, 2017). El hecho de que se encuentren en áreas de acceso geográficamente aisladas o difíciles en las que se evita la cobertura del sistema eléctrico nacional debido a esta situación algunos usuarios han optado usar energías renovables como las pequeñas plantas hidroeléctricas (PCHS). Las PCHS por su baja emisión de gases de efecto invernadero, el buen rendimiento y los bajos costos ofrecen una alternativa para la producción de energías renovables (Carpio, 2023). Entre las PCH's se encuentra la turbina de vórtice gravitacional (TVG), la cual trabaja con la corriente natural del río, opera a condiciones de cabeza entre 0.5 a 2m y caudales de 0.1 a 2 m³/s aproximadamente, para capacidades de generación entre 0.2 y 40 kW de potencia eléctrica (Pinta & Cofre Pinta, 2021), además de proporcionar energía contribuye a la disminución de la contaminación en ríos asociada a la descomposición de materia orgánica, debido a la oxigenación del agua que se genera al inducir un vórtice artificial, sin embargo presenta eficiencias bajas del orden del 38% (Guamushig, 2022) , en consecuencia los estudios realizados en torno a esta turbina tienen como objetivo principal aumentar la eficiencia hidráulica, tanto estudio numéricos como experimentales han encontrado una relación entre los parámetros geométricos del tanque de la TVG afectan directamente la disminución o el incremento de la eficiencia hidráulica, por ende, afectan la generación de energía eléctrica del sistema, según la literatura uno de los factores más influyentes es la geometría del tanque.

Las turbinas de vórtice gravitacional son un tipo de turbina hidroeléctrica que utiliza el flujo rotacional de agua creado por un vórtice para generar electricidad. Son una tecnología innovadora y prometedora que tiene el potencial de contribuir a la creciente demanda de fuentes de energía renovable. En este artículo, exploraremos el concepto de turbinas de vórtice gravitacional, sus ventajas y limitaciones, y sus posibles aplicaciones (Gardea & Villegas, 2001).

Las turbinas de vórtice gravitacional utilizan los principios de la hidrodinámica y la dinámica de vórtice para generar electricidad. Consisten en una estructura cilíndrica, con una abertura en la parte inferior que permite que fluya el agua. El agua gira en espiral alrededor del eje central del cilindro, creando un vórtice. El flujo de rotación del agua es aprovechado por una serie de palas o paletas que se colocan en el camino del vórtice. A medida que las aspas giran, impulsan un generador que produce electricidad (Gardea & Villegas, 2001)

Una de las ventajas de las turbinas de vórtice gravitacional es que pueden operar con un cabezal bajo (la distancia vertical entre la entrada y la salida del agua) y un caudal bajo. Esto los hace adecuados para su uso en áreas con baja presión de agua o bajo caudal, como pequeños ríos o arroyos. Además, tienen un diseño relativamente simple y se pueden instalar y mantener fácilmente. Las turbinas de vórtice gravitacional tienen varias ventajas sobre las turbinas hidroeléctricas tradicionales. Una de las principales ventajas es que pueden generar electricidad a partir de fuentes de baja altura y bajo caudal. Esto los hace ideales para su uso en áreas donde las turbinas hidroeléctricas tradicionales no son viables, como pequeños ríos o arroyos. Además, tienen un bajo impacto ambiental y no requieren la construcción de grandes presas o embalses.

Otra ventaja de las turbinas de vórtice gravitacional es que su construcción y mantenimiento son relativamente económicos. Tienen un diseño simple y se pueden instalar fácilmente, lo que los convierte en una opción atractiva para comunidades o empresas que buscan generar su propia electricidad. Si bien las turbinas de vórtice gravitacional tienen varias ventajas, también tienen algunas limitaciones. Una de las principales limitaciones es que no son tan eficientes como las turbinas hidroeléctricas tradicionales. Esto se debe a que dependen del flujo rotacional de agua, que es menos potente que el flujo lineal de agua que utilizan las turbinas hidroeléctricas tradicionales. Como resultado, las turbinas de vórtice gravitacional son las más adecuadas para aplicaciones a pequeña escala (Ayala & Benavides, 2016)

Otra limitación de las turbinas de vórtice gravitacional es que son sensibles a los cambios en el caudal y la velocidad del agua. Si el caudal o la velocidad descienden demasiado, el vórtice se romperá y la turbina dejará de generar electricidad. Además, son susceptibles a daños por escombros o sedimentos en el agua.

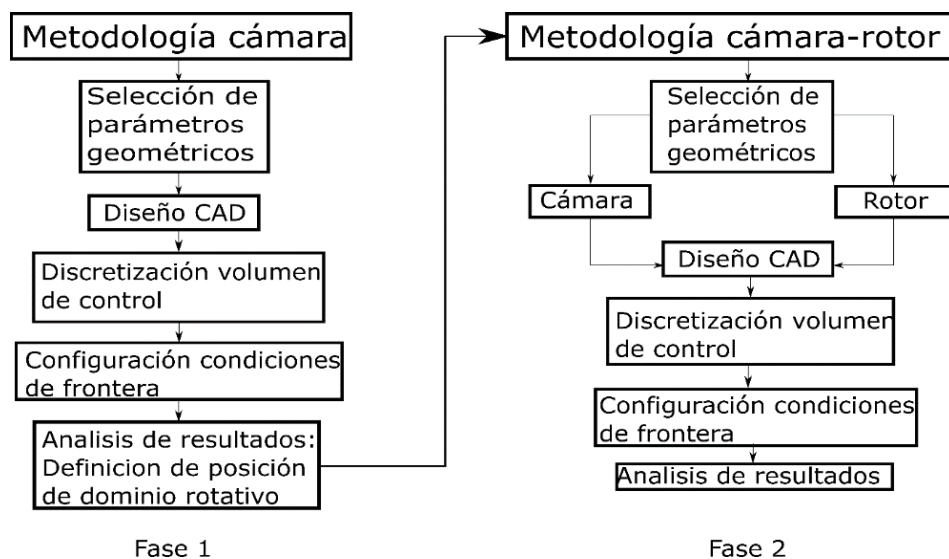
Las turbinas de vórtice gravitacional tienen varias aplicaciones potenciales, particularmente en ubicaciones remotas o fuera de la red. Se pueden usar para generar electricidad para pequeñas comunidades, granjas o negocios que no están conectados a la red. Además, se pueden usar para alimentar estaciones de monitoreo remotas, plantas de tratamiento de agua u otra infraestructura.

Las turbinas de vórtice gravitacional también se pueden usar junto con otras fuentes de energía renovable, como la energía solar o eólica, para proporcionar una fuente de electricidad confiable y constante. Al combinar diferentes fuentes de energía renovable, es posible crear un sistema de energía híbrido que sea más resistente y sostenible (Aho & Buckspan, 2012).

METODOLOGÍA

Para el desarrollo del estudio, la metodología se plantea en dos fases, que constan de cuatro etapas cada una, estas son descritas en la Figura 1.

Figura 1. Diagrama de flujo metodología aplicada.

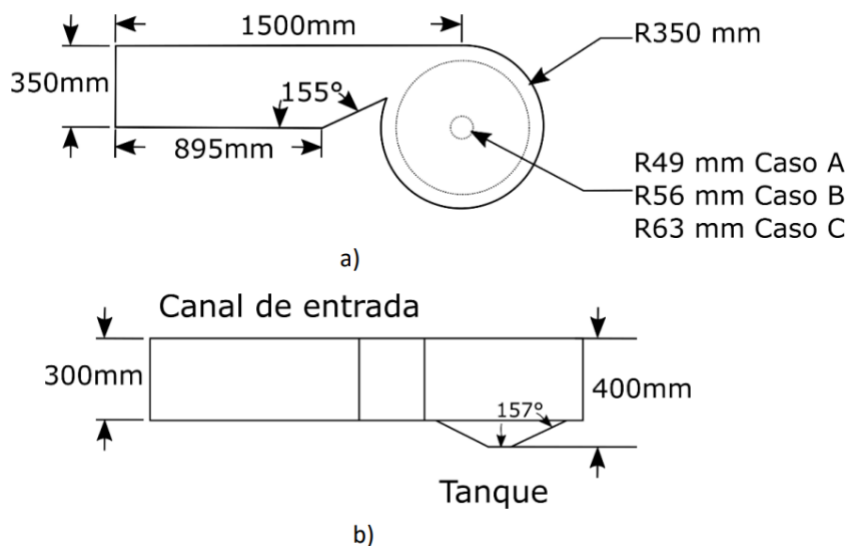


Diseño cámara.

Siguiendo la metodología propuesta en la fase 1, se diseña la geometría de la cámara de acuerdo a (Elbatran, Yaakob, & Shabara, 2015) en el módulo SpaceClaim del programa comercial ANSYS® V19.1., realizando modificaciones en el canal de salida, el cual se configura con geometría cónica debido a que la geometría cónica ha demostrado ser más eficiente al alcanzar mayores velocidades rotacionales con respecto a la geometría cilíndrica, además el diámetro de salida se configura con una relación del diámetro del tanque del 14%, 16% y 18% (caso A, B y C respectivamente), y además agregando una reducción de área al canal antes de llegar al tanque (Seto & Dhakal, 2014). La figura 2(a) muestra las dimensiones del tanque y del conducto de entrada para cada situación propuesta. La Figura 2(b) muestra la altura del canal y las dimensiones del tanque cónico. En todos los casos, la altura del tanque se mantuvo constante.

Figura 2.

Dimensiones cámara para cada modelo propuesto



Cálculos Comportamiento del vórtice

El vórtice rota sin la necesidad de una fuerza externa.

La ecuación muestra el comportamiento de los vórtices.

$$-\frac{d}{dr}(\mathbf{p} + \mathbf{y} \times \mathbf{z}) = -\rho \frac{V}{2r} \quad (1)$$

p = presión sobre la superficie del fluido

y = producto de la densidad multiplicado por la aceleración gravitacional

z = altura

ρ = densidad del fluido

V = velocidad del fluido

r = distancia al eje de rotación

Comportamiento de la altura y radio del vórtice

A partir de la ecuación, se reflejan los modelos matemáticos describiendo el comportamiento entre la altura y el radio.

$$z(r) = z_{\infty} - \frac{B^2}{2gr^2} \quad (2)$$

$$z(r) = -\frac{w_0^2}{2g} r^2 \quad (3)$$

z_{∞} = altura a máxima del vórtice; altura en la mayor distancia al eje de rotación

B = constante del modelo

w_0 = velocidad angular inicial del vórtice

g = aceleración de la gravedad

r = distancia al eje de rotación

$w = w_0$

Canal de alimentación

Se muestran las velocidades son altas, estas no podrían ser despreciables así que la suposición de total tampoco es considerada válida. Lo que se refleja con un vórtice libre lo que nos demuestra el informe de canales abiertos del flujo hidráulico.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gy}} \quad (4)$$

Fr = Numero de Froude (adimensional)

v = velocidad (m/s)

g = gravedad (m/s^2)

y = tirante hidráulico (m)

Área del caudal

El valor de la velocidad busca tener un flujo supercrítico para que la energía sea mayor y la tirante sea menor. Se mantendrá un caudal de 2 m/s y la velocidad hasta 2,7 m/s.

$$A = Q/v \quad (5)$$

v = velocidad (m/s)

Q = caudal volumétrico (m^3/s)

A = área (m^2)

Tirante hidráulico

Es la distancia vertical del punto más bajo de la sección del canal a la superficie libre del agua.

$$y = \sqrt{A/2} \quad (6)$$

y = tirante hidráulico (m)

Ancho de la base del canal

Para secciones de canal regulares y simples, los elementos geométricos pueden expresarse matemáticamente en términos de la profundidad de flujo y de otras dimensiones de la sección.

$$b = A/y \quad (7)$$

b = ancho de la base del canal (m)

Longitud de transmisión

A un mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina

$$Lt = \frac{b - be}{2(\tan(12.5))} \quad (8)$$

Lt = longitud de transición (m)

be = ancho de la base de la entrada a la cámara de vórtice

Cámara de vórtice

Un piso plano de la cámara minimiza la captura de materia orgánica e hidráulicamente dirige la arena hacia el depósito inferior, convirtiendo la cámara superior en unidad de vórtice forzado

$$D_t = 0.27 * H_b \quad (9)$$

H_b = altura de la cámara de vórtice

D_t = diámetro de la cámara de vórtice

Orificios de descarga

El chorro que se descarga libremente a través de un orificio se lo denomina vena líquida y su trayectoria es parabólica

$$D_o = 0.16 * D_t \quad (10)$$

D_o = diámetro del orificio de descarga (m)

La entrada de la cámara de vórtice

Estas estructuras conectan un conducto de entrada con un conducto de salida a través de una cámara simple.

$$b_e = 0.52 * D_o \quad (11)$$

b_e = ancho de la base de la entrada a la cámara de vórtice (m)

Altura y diámetro del cámara de vórtice

Para encontrar las dimensiones más apropiadas para la altura y diámetro de descarga se basó en el trabajo en diferentes estructuras

$$D_c = 0.45 * D_t \quad (12)$$

$$H_c = 0.36 * H_b \quad (13)$$

D_c = diámetro del cono de descarga (m)

H_c = altura del cono de descarga (m)

Escalamiento del modelo

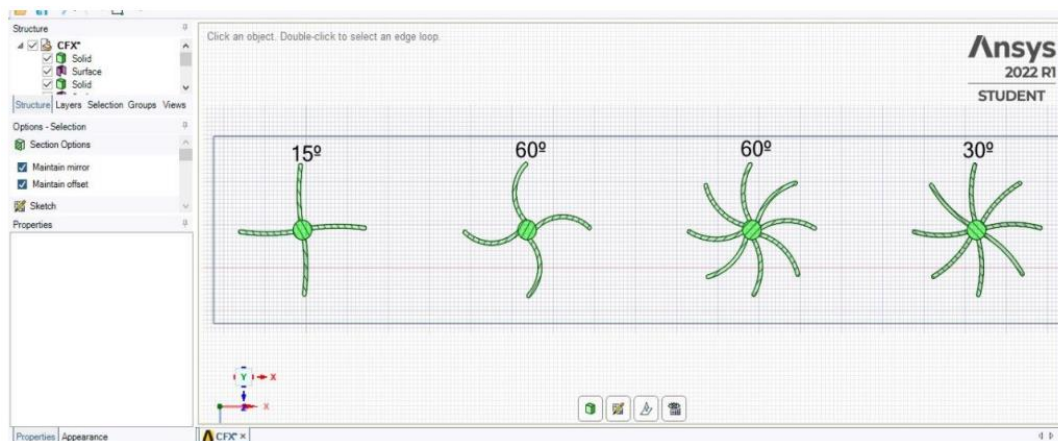
Toma forma en la sección final, en donde se definen las características del prototipo de campo, las fuerzas a reproducir en el modelo, la alternativa de escalamiento seleccionada, el cálculo de las propiedades del modelo y finalmente una validación del escalamiento en el simulador ANSY.

$$\frac{Fr_p}{Fr_m} = \frac{\left(\frac{v^2}{yg}\right)^p}{\left(\frac{v^2}{yg}\right)^m} = 1 \quad (14)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

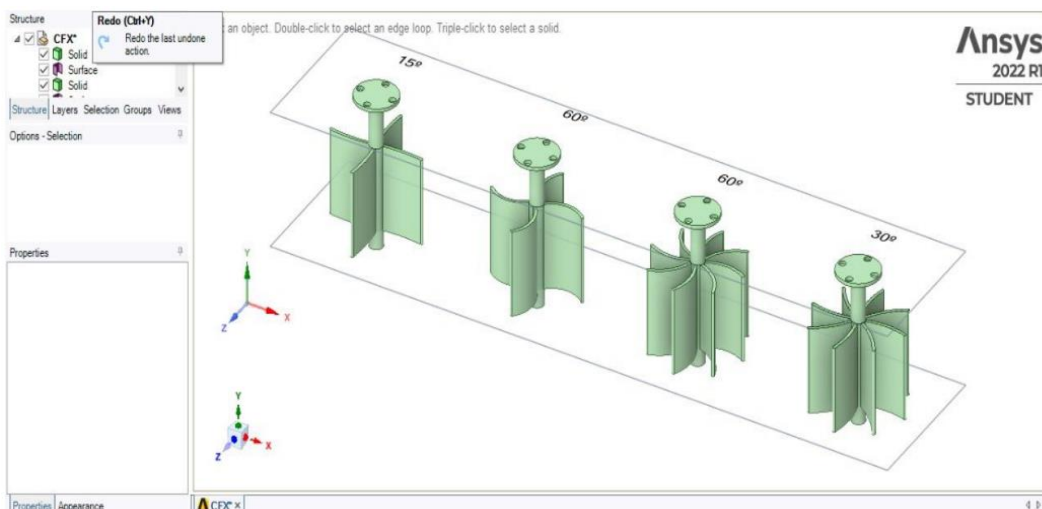
Se procede a trabajar en plano X realizando un modelado en 2D con las medidas del árbol de transmisión.

Figura 3. Modelado en 2D con las medidas del árbol de transmisión.



Se determinan las medidas acordes al árbol de transmisión se procede al diseño de las turbinas comprobando cada una de ellas cada una con un ángulo diferente.

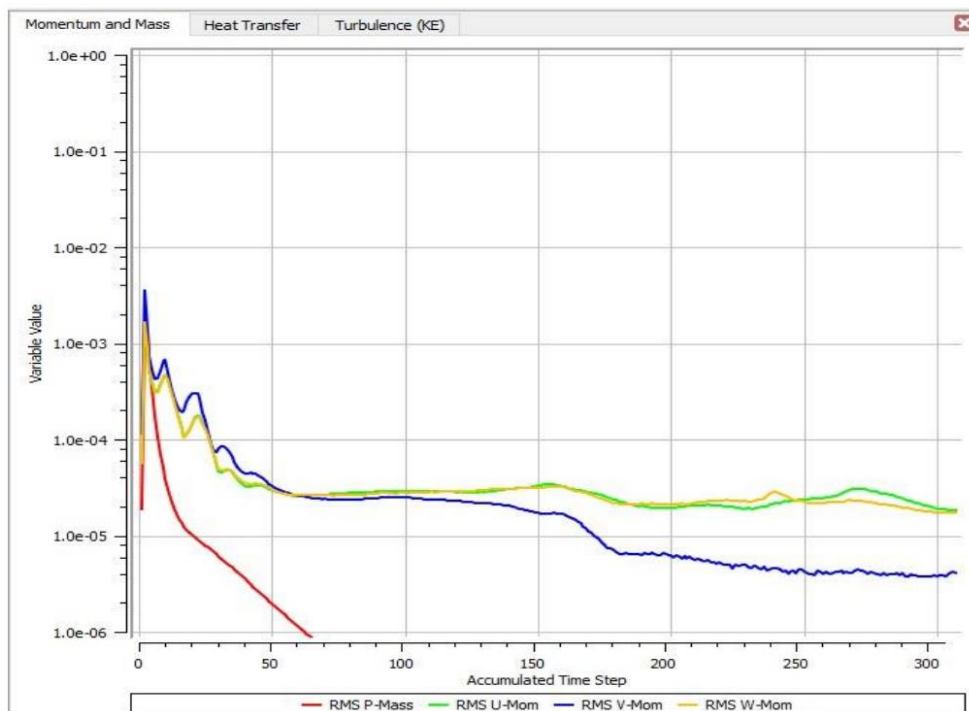
Figura 4. Diseño de las turbinas.



Turbina de 4 alabes con 15° de ángulo.

Se procede hacer el Análisis de la turbina de 4 alabes de 15° de Ángulo donde se puede determinar el esfuerzo que se obtiene al realizar el diseño Se puede verificar los resultados mostrados en la gráfica y los cálculos que determino el software de esta manera verificar la eficiencia de la turbina de 4 alabes de 15° de ángulo.

Figura 5. Estadística de la Turbina de 15°.

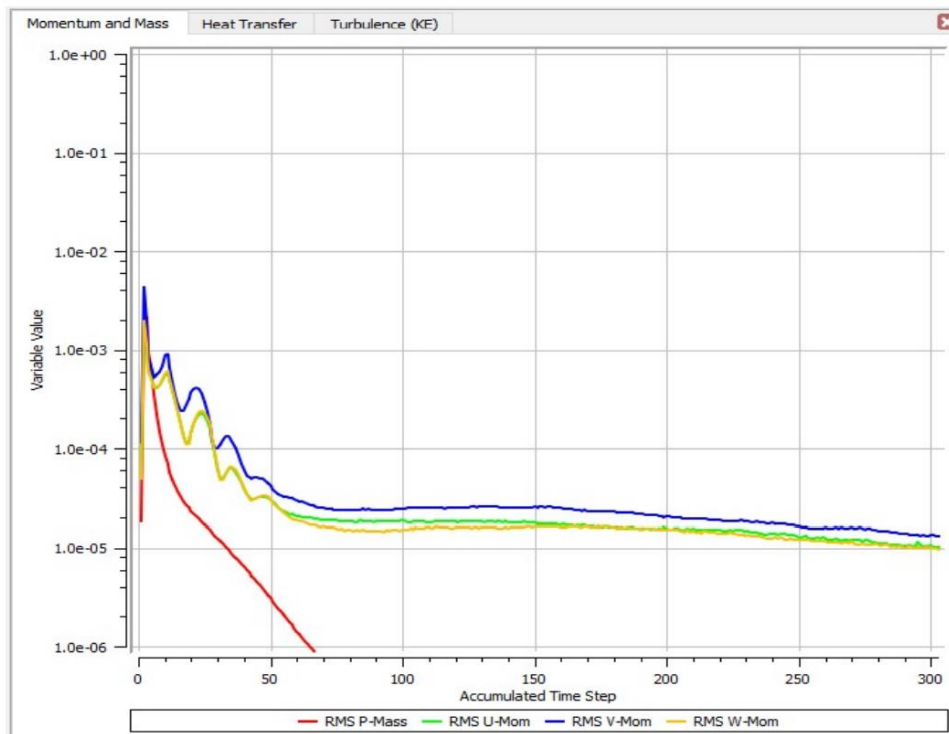


Turbina de 4 alabes con 60° de ángulo

Se procede hacer el análisis de la turbina de 4 alabes de 60° de ángulo donde se puede determinar el esfuerzo que se obtiene al realizar el diseño. Se puede verificar los resultados mostrados en la gráfica y los cálculos que determino el software y de esta manera verificar la eficiencia de la turbina de 4 alabes de 60° de ángulo.

Figura 6.

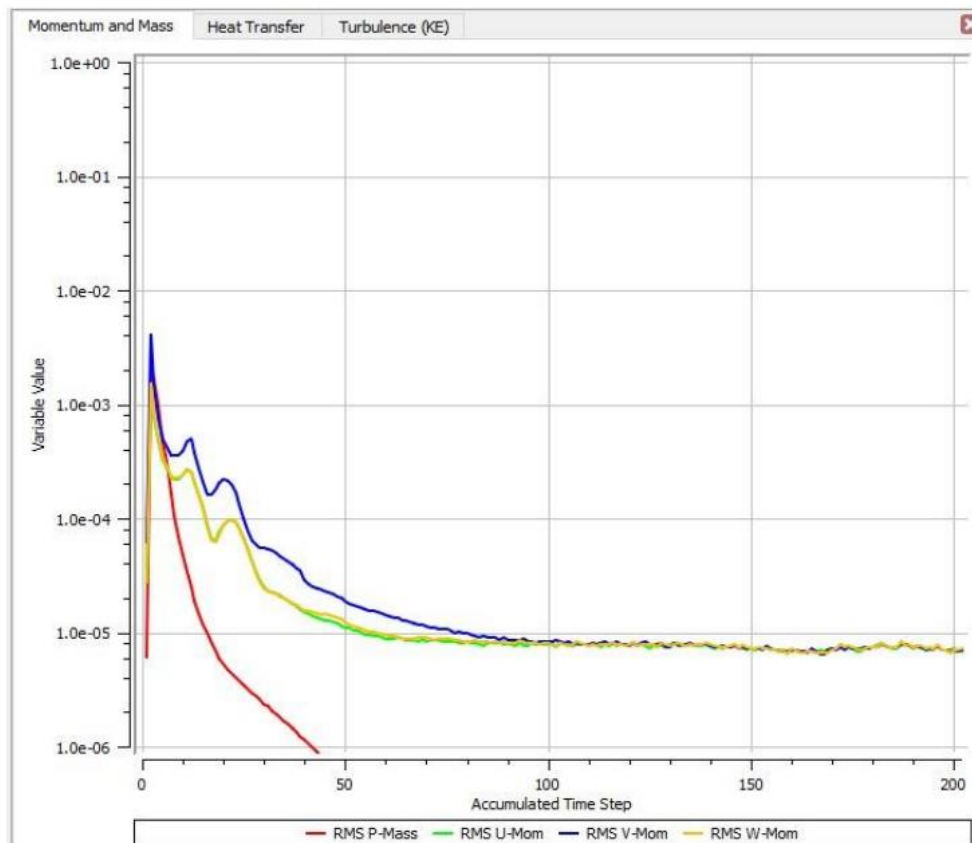
Turbina de 4 alabes con 60° de ángulo



Turbina de 8 alabes con 60° de ángulo

Se procede hacer el Análisis de la turbina de 8 alabes de 60° de Ángulo donde se puede determinar el esfuerzo que se obtiene al realizar el diseño. Se puede verificar los resultados mostrados en la gráfica y los cálculos que determino el software y de esta manera verificar la eficiencia de la turbina de 8 alabes de 60° de ángulo.

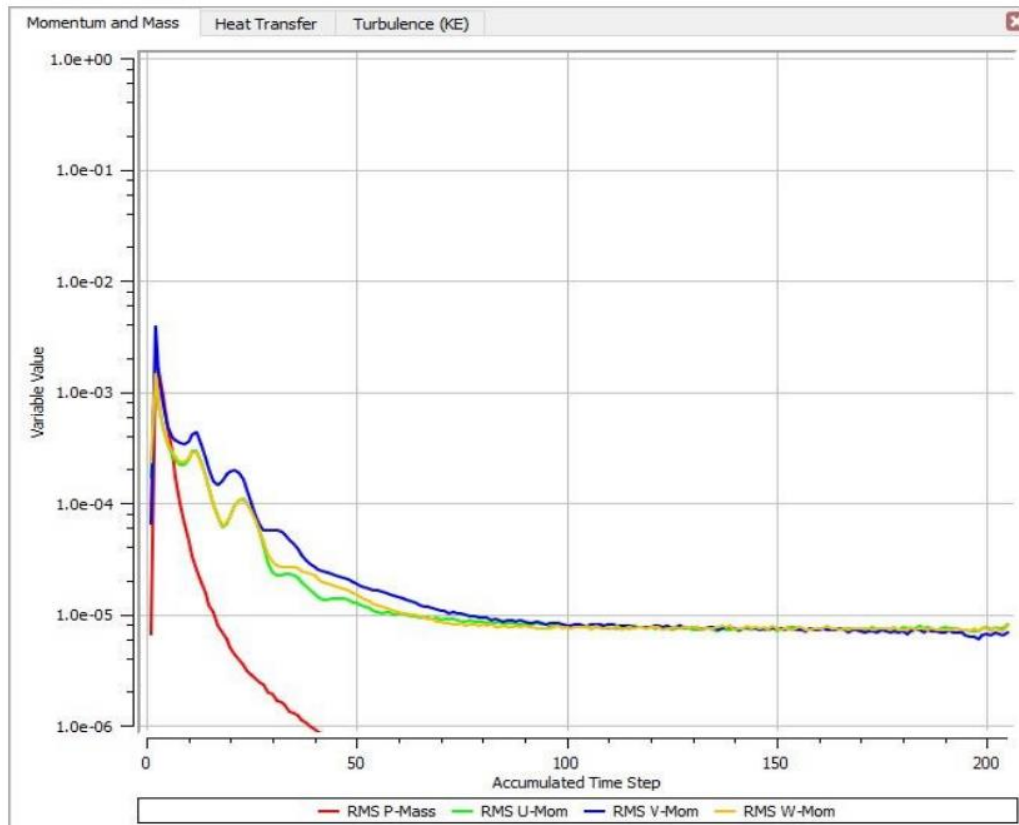
Figura 6. *Turbina de 8 alabes con 60° de ángulo*



Turbina de 8 alabes con 30° de ángulo

Se procede hacer el Análisis de la turbina de 8 alabes de 30° de ángulo donde se puede determinar el esfuerzo que se obtiene al realizar el diseño. Se puede verificar los resultados mostrados en la gráfica y los cálculos que determino el software y de esta manera verificar la eficiencia de la turbina de 8 alabes de 30° de angulo.

Figura 7. Turbina de 8 alabes con 30° de ángulo



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

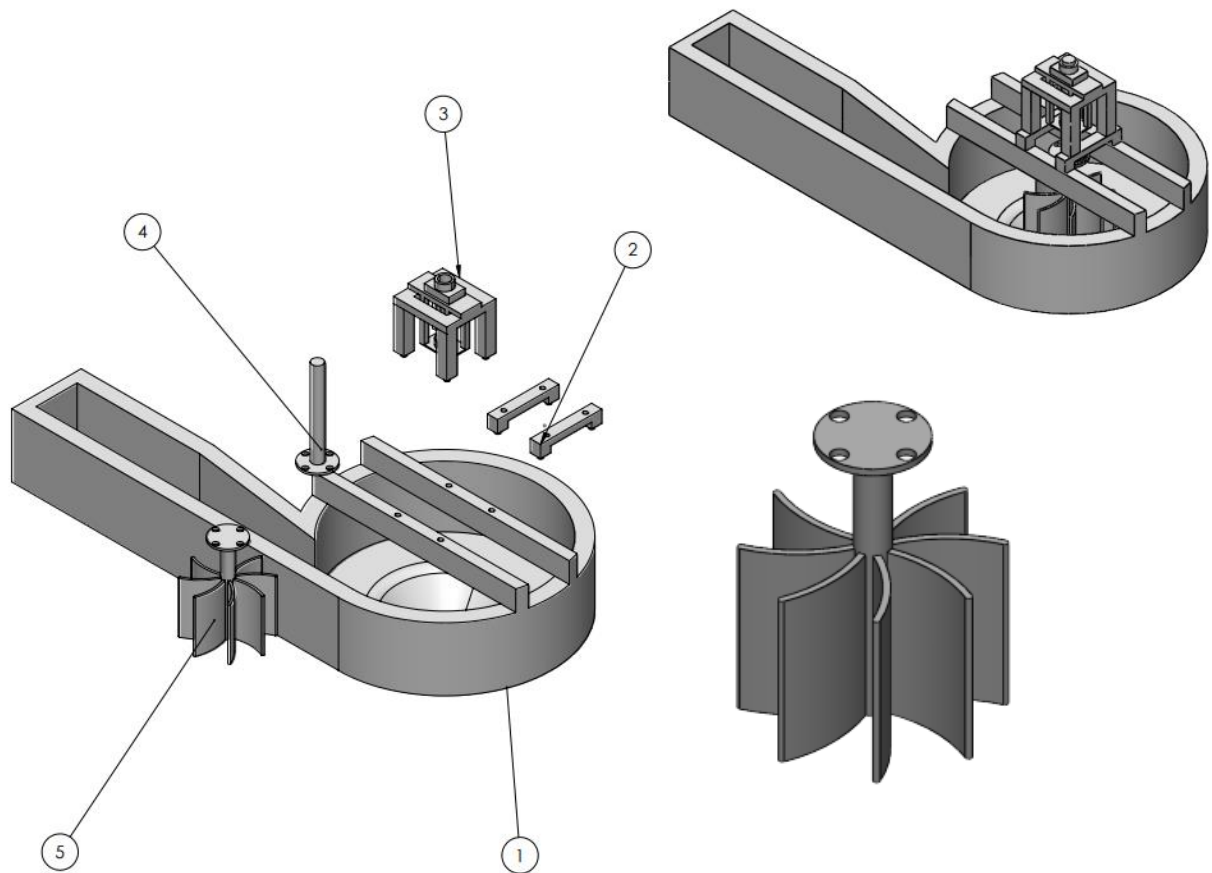
- Comparando uno por uno los diseños de varias turbinas, se encuentra que la turbina de 4 álabes con ángulos de 15° y 60° no puede captar adecuadamente la energía cinética generada por el vórtice creado en la simulación, por lo que la turbina de 8 álabes con un El ángulo de 30° es el más adecuado porque es versátil para los datos de simulación y porque aprovecha mejor la energía cinética generada por las simulaciones de corrientes parásitas.
- Se encontró que cuanto mayor es el diámetro de salida, más fuerte es la formación de vórtice gravitacional, la buena formación de remolinos evita la formación de líquido recirculante provocar pérdidas hidráulicas.
- Demostrar el uso de las herramientas tecnológicas que nos permite mantener en cuenta los materiales en los que se utilizaron para realizar una adecuada estructura en la vida real.

- Se sugiere variar la velocidad angular para ver qué tipo de correlación produce esto, más torque, también se recomienda el ensamblaje experimental, por lo que bien se puede comparar y confirmar los resultados obtenidos en este estudio.
- Es importante el enfoque inicial ya que esto permite adaptar la simulación a las comunidades y sus requerimientos. Ya que esto permite minimizar costos futuros de modificaciones extremas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aho, & Buckspan. (2012). A tutorial of wind turbine control for supporting grid frequency through active power control.
- Ayala, & Benavides. (2016). Sistema de generación energía sumergible basado en un vórtice gravitacional con sifón para comunidades aisladas. *Revista Técnica" energía"*, 12.
- Calderon, R. (2019). Análisis del impacto en la variación de las características geométricas de canales de turbinas de vórtice mediante Ansys CFX.
- Carpio. (2023). Diseño de una mini central de un vórtice gravitacional. *Diseño de una turbina hidrocínética de vórtice gravitacional para el incremento del recurso hídrico en el distrito de Lari, Arequipa*.
- Elbatran, Yaakob, & Shabara. (2015). Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 40-50.
- Escobar. (2017). El cambio de la matriz energética en el Ecuador y su incidencia en el desarrollo social y económico de la población. *Mikarimin*, 25-36.
- Gardea, & Villegas. (2001). Conceptos básicos sobre la formación y teoría de los vórtices. 81-87.
- Guamushig. (2022). Diseño de una turbina de vórtice de eje vertical.
- Pinta, & Cofre Pinta, E. F. (2021). Diseño de un sistema de abastecimiento de energía eléctrica con el uso de energías alternativas como la hidráulica en viviendas unifamiliares en la parroquia de Montalvo del cantón Ambato, provincia de Tungurahua.
- Seto, & Dhakal. (2014). Human settlements, infrastructure, and spatial planning.
- Vargas. (2011). Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: alternativa real de generación eléctrica. 75.

ANEXOS



Nº DE ELEMENTO	Nº DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	ESTRUCTURA	CONCRETO	1
2	SOPORTE_BASE_ÁRBOL	ACERO INOXIDABLE	2
3	BASE	ACERO INOXIDABLE	1
4	ÁRBOL_TRANSMISIÓN	ACERO INOXIDABLE	1
5	TURBINA	ALUMINIO 1060	1