



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

**Diseño y simulación de una picoturbina Pelton para
abastecer de energía eléctrica a un comedor popular
del distrito de Valera, provincia de Bongará,
departamento de Amazonas**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Aarón Jhan Pierre ARÉVALO COTRINA

ASESOR

Guido Américo ROZAS OLIVERA

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Arévalo, A. (2023). *Diseño y simulación de una picoturbina Pelton para abastecer de energía eléctrica a un comedor popular del distrito de Valera, provincia de Bongará, departamento de Amazonas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Aarón Jhan Pierre Arévalo Cotrina
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	75391611
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0008-6894-8320
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Guido Américo Rozas Olivera
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	07209368
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-2168-1146
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Lozano Pedro Sánchez Cortez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10699870
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Mario García Pérez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07930910
Datos de investigación	
Línea de investigación	Ingeniería y tecnologías del Medio Ambiente
Grupo de investigación	Centro De Investigación Y Desarrollo De Energías Del Mañana Micha Yawaypita
Agencia de financiamiento	PROPIA

Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Amazonas Provincia: Bongará Distrito: Valera Latitud: -6.049582° Longitud: -77.929940°
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2022-2023
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería mecánica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.01



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS
MODALIDAD (M-1)

Siendo las 11:00 a.m. del martes 16 de mayo de 2023, en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, bajo la presidencia del DR. ING. LOZANO PEDRO SÁNCHEZ CORTEZ y con la asistencia del asesor ING. GUIDO AMÉRICO ROZAS OLIVERA, y miembro MG. ING. MARIO ALBERTO GARCÍA PÉREZ se dio inicio a la sesión pública de sustentación de tesis para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, mediante la sustentación y aprobación de una tesis del Bachiller:

AARÓN JHAN PIERRE ARÉVALO COTRINA

El Presidente del Jurado en primer lugar dio lectura al documento formal que designa al Jurado y aprueba el acto de sustentación de la tesis, así como del resumen del expediente e invitó al citado Bachiller a realizar la presentación y exposición de su tesis titulada: "DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA PICOTURBINA PELTON PARA ABASTECER DE ENERGÍA ELÉCTRICA A UN COMEDOR POPULAR DEL DISTRITO DE VALERA, PROVINCIA DE BONGARÁ, DEPARTAMENTO DE AMAZONAS".

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado, el Presidente del mismo, invitó al Bachiller a abandonar momentáneamente la Sala de Sesión para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado.

Al término de la deliberación del Jurado, se invitó al candidato a regresar a la Sala de Sesión, para dar lectura a la calificación obtenida por el Bachiller, la misma que es:

diecisiete 17

El Presidente del Jurado DR. ING. LOZANO PEDRO SÁNCHEZ CORTEZ, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller AARÓN JHAN PIERRE ARÉVALO COTRINA, Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 12.00 horas del mismo día, se levanta la sesión.

DR. ING. LOZANO PEDRO SÁNCHEZ CORTEZ
PRESIDENTE

ING. GUIDO AMÉRICO ROZAS OLIVERA
ASESOR

MG. ING. MARIO ALBERTO GARCÍA PÉREZ
MIEMBRO

Anexo 1

Informe de evaluación de Originalidad

1. Facultad de Ciencias Físicas
2. Escuela/Unidad de Posgrado
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos
3. Autoridad Académica que emite el informe de originalidad
El Director de la EPIMF
4. Apellidos y nombres de la autoridad académica
Sarango Julca Douglas Donal
5. Operador del programa Informático de similitudes
Dr. Ing. Douglas Sarango Julca
6. Documento evaluado (1)
"DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA PICOTURBINA PELTON PARA ABASTECER DE ENERGÍA ELÉCTRICA A UN COMEDOR POPULAR DEL DISTRITO DE VALERA, PROVINCIA DE BONGORA, DEPARTAMENTO DE AMAZONAS"
7. Autor del documento (2)
AARÓN JHAN PIERRE ARÉVALO COTRINA
8. Fecha de recepción del documento 1°/05/23
9. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes 5/05/23
10. Software utilizado
 - Turnitin (X)
 - Ithenticate
 - Otro (especificar)
11. Configuración del programa detector de similitudes
 - Excluye textos entrecomillados
 - Incluye Bibliografía
 - Excluye cadenas menores a 40 palabras
12. Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes³
3%
13. Fuentes originales de las similitudes encontradas⁴
14. Observaciones
Ninguna
15. Calificación de originalidad
 - Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones (X)
 - Documento cumple criterios de originalidad, con observaciones
 - Documento no cumple criterios de originalidad
16. Fecha del Informe 12 /05 /23



Firmado digitalmente por SARANGO
JULCA Douglas Donal FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 18.05.2023 09:23:23 -05:00

DR. ING. Douglas Sarango Julca
DIRECTOR (e) DE LA EPIMF

-
- 1 Tesis para grado o título de pregrado, Tesis para posgrado. Otro (especificar)
 - 2 Apellidos y Nombres completos
 - 3 En letras y números
 - 4 Indicarlas en orden decreciente y su respectivo porcentaje

A mis padres, por su apoyo incondicional; a mis hermanos, por siempre darme ese aliento de fuerza para continuar; a mi abuelita, ya que siempre está en mis pensamientos para darme la motivación para seguir adelante y a mis asesores, quienes estuvieron y dedicaron tiempo para sacar adelante el proyecto.

Agradecimientos

A mi asesor, Ing. Guido Américo Rozas Olivera, por sus valiosos consejos y dedicar tiempo al presente trabajo de tesis.

Al Dr. Pedro Lozano Sánchez Cortez, por su apoyo incondicional, en conjunto con el grupo de trabajo del equipo turbina, en todo el transcurso de la realización del presente trabajo.

Al Mg. Mario García Pérez, por impartirme los conocimientos fundamentales para el desarrollo de mi tesis.

Resumen

El presente trabajo de tesis tuvo como objetivo principal realizar el diseño y simulación de una picoturbina de tipo Pelton que sería parte de la solución del desabastecimiento de energía eléctrica que tiene comedor popular “Matiaza Rimachi” el cual está ubicado en el distrito de Valera, provincia de Bongará, departamento de Amazonas, Perú. Se realizaron cálculos para 2 propuestas, esto en base al potencial eléctrico requerido por las instalaciones de un comedor popular, así como el caudal y altura neta disponibles según la cuenca hidrográfica del río Uctubamba del distrito de Valera. Luego se hizo una simulación en software para hacer un análisis CFD con el software Solidworks – Flow Simulation. Con dicho análisis se realizó un análisis comparativo (trade-off) para este caso en particular técnico económico del cual se opta por la propuesta 2 debido a un menor Valor Presente Neto (VPN). Se encontró que existe una diferencia significativa, menor al 5 %, entre el análisis computacional y los cálculos manuales.

Palabras clave: Picoturbina, Dinámica de fluidos computacional (CFD), Solidworks -Flow Simulation.

Abstract

The main objective of this thesis work was to carry out the design and simulation of a Pelton-type picoturbine that would be part of the solution to the shortage of electrical energy that has a soup kitchen "Matiaza Rimachi" which is located in the district of Valera, province from Bongará, department of Amazonas, Peru. Calculations were made for 2 proposals, this based on the electrical potential required by the facilities of a popular kitchen, as well as the flow and net height available according to the hydrographic basin of the Uctubamba river in the district of Valera. Then a software simulation was made to make a CFD analysis with the Solidworks – Flow Simulation software. With this analysis, a comparative analysis (trade-off) was carried out for this particular technical-economic case, from which proposal 2 was chosen due to a lower Net Present Value (NPV). It was found that there is a significant difference, less than 5%, between the computational analysis and the manual calculations.

Keywords: Picoturbine, Computational Fluid Dynamics (CFD), Solidworks -Flow Simulation.

Tabla de contenido

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Introducción	1
1.2	Planteamiento del Problema	1
1.2.1	<i>Descripción de la Situación Problemática</i>	1
1.2.2	<i>Formulación del Problema</i>	2
1.3	Objetivos	3
1.4	Justificación	3
1.5	Alcance	5
II.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	6
2.1	Hipótesis	6
2.1.1	<i>Hipótesis Generales</i>	6
2.2	Variables	6
2.2.1	<i>Variable 1</i>	6
2.2.2	<i>Variable 2</i>	6
2.3	Matriz de Consistencia	2
III.	METODOLOGÍA	2
3.1	Población	2

3.2 Muestra	2
IV. MARCO TEÓRICO	3
4.1 Antecedentes	3
4.1.1 <i>Antecedentes Internacionales</i>	3
4.1.1 <i>Antecedentes Nacionales</i>	5
4.2 Bases teóricas	6
4.2.1 <i>Centrales Hidroeléctricas</i>	6
4.2.2 <i>Pico Centrales Hidroeléctricas</i>	7
4.2.3 <i>Turbinas Pelton</i>	7
4.3 Descripción de la localidad de aplicación	8
4.4 Diseño mecánico del pico turbina Pelton	10
4.4.1 <i>Criterios de diseño:</i>	11
4.4.2 <i>Diámetro del chorro</i>	11
4.4.3 <i>La velocidad del chorro (C1)</i>	12
4.4.4 Propuesta 1	13
4.4.5 <i>Número de revoluciones</i>	13
4.4.6 <i>Número específico de revoluciones o número de Camerer (n_s)</i>	13
4.4.7 <i>Número de álabes (Na)</i>	14
4.4.8 <i>Medidas de los álabes</i>	15
4.4.9 Propuesta 2	16

4.4.10	<i>Número de revoluciones</i>	16
4.4.11	<i>Número específico de revoluciones o número de Camerer (n_s)</i>	17
4.4.12	<i>Número de álabes (N_a)</i>	18
4.4.13	<i>Medidas de los álabes</i>	19
4.5	Simulación en software de la picoturbina Pelton	20
4.5.1	<i>Definir los objetivos del modelamiento</i>	22
4.5.2	<i>Dominio computacional</i>	25
4.5.3	<i>Condiciones de contorno</i>	26
4.5.4	<i>Diseño de malla o mesh</i>	29
4.5.5	<i>Configuración del modelo matemático</i>	30
4.5.6	<i>Examinar los resultados del modelo</i>	33
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	40
5.1	Análisis trade-off	40
5.1.1	<i>Análisis técnico</i>	40
5.1.2	<i>Análisis económico</i>	45
5.1.3	<i>Decisión</i>	49
	CONCLUSIONES	52
	RECOMENDACIONES	53
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	54
	ANEXOS	1

Ubicación geográfica	1
Reseña del distrito de Valera	4
Reseña sobre la catarata Gocta	5
Tabla de clasificación de turbinas.	7

Listado de figuras

Figura 1 <i>Partes principales de una Turbina Pelton de eje Horizontal y un Inyector</i>	7
Figura 2 <i>Ubicación geográfica del comedor popular</i>	9
Figura 3 <i>Principales dimensiones de los álabes</i>	15
Figura 4 <i>Principales dimensiones de los álabes</i>	19
Figura 5 <i>General Settings – Analysis type (Ajustes Generales)</i>	23
Figura 6 <i>General Settings – Fluids (Ajustes generales - Fluidos)</i>	23
Figura 7 <i>General Settings – Initial Conditions (Ajustes Generales – Condiciones Iniciales)</i>	25
Figura 8 <i>Computational Domain (Dominio Computacional)</i>	26
Figura 9 <i>Inlet Velocity 1 (Velocidad de entrada)</i>	27
Figura 10 <i>Real Wall 2 (Pared real de dominio)</i>	28
Figura 11 <i>Rotating Regions 1 (Regiones Rotativas)</i>	28
Figura 12 <i>Global Mesh Settings 1 (Configuración general de malla)</i>	29
Figura 13 <i>Run Settings (Configuración de compilación)</i>	31
Figura 14 <i>Goals (Objetivos o Metas)</i>	32
Figura 15 <i>Simulation in progress - Velocity (iteration #29) (Simulación en progreso – Velocidad Iteración #29)</i>	33
Figura 16 <i>Simulation in progress – Velocity (iteration #44) (Simulación en progreso – Velocidad Iteración #44)</i>	34
Figura 17 <i>Simulation in progress – Mass Fraction of Water (iteration #58) (Simulación en progreso – Fracción de masa de agua Iteración #58)</i>	35
Figura 18 <i>Simulation in progress – Radial Velocity (iteration #61) (Simulación en progreso – Velocidad radial Iteración #61)</i>	35

Figura 19 <i>Simulation in progress – Volume Fraction of Water (iteration #265) (Simulación en progreso Fracción de masa de agua – Iteración #265)</i>	36
Figura 20 <i>Simulation in progress – Animation 2 of Velocity (Simulación en progreso – Animación 2)</i>	37
Figura 21 <i>Rotating Regions 1 (Regiones Rotativas)</i>	38
Figura 22 <i>Change Geometry – Cambio en la geometría (número de álabes y diámetro del rodete)</i>	39
Figura 23 <i>Gráfico comparativo de potencias</i>	43
Figura 24 <i>Trade-off técnico</i>	44
Figura 25 <i>Gráfico comparativo económico de las picoturbinas y los generadores</i>	49
Figura 26 <i>Trade-off económico</i>	50
Figura 27 <i>Ubicación geográfica del comedor popular - Perú</i>	1
Figura 28 <i>Ubicación geográfica del comedor popular – Amazonas, Perú</i>	2
Figura 29 <i>Ubicación geográfica del comedor popular Chachapoyas, Amazonas - Perú</i>	3
Figura 30 <i>Distrito de Valera</i>	4
Figura 31 <i>Gallito de las rocas</i>	5
Figura 32 <i>Mapa de Cuencas Hidrográficas de la región Amazonas – Escala 1:900,000. Fecha: Feb 2014</i>	6

Listado de tabla

Tabla 1 <i>Tabla de proyección de gasto energético</i>	10
Tabla 2 <i>Tabla de los coeficientes experimentales \emptyset</i>	14
Tabla 3 <i>Tabla de los coeficientes experimentales \emptyset</i>	17
Tabla 4 <i>Valores o Goals arrojados por el software Solidworks propuesta 01</i>	41
Tabla 5 <i>Valores o Goals arrojados por el software Solidworks propuesta 02:</i>	42
Tabla 6 <i>Presupuesto o budget del proyecto de la propuesta 1</i>	47
Tabla 7 <i>Presupuesto o budget del proyecto de la propuesta 2</i>	48
Tabla 8 <i>Resumen económico</i>	50
Tabla 9 <i>Cuadro de ventajas y desventajas de ambas propuestas.</i>	51
Tabla 10 <i>Tabla de Stoll para la determinación del número específico en función de la atura neta.</i>	7

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El consumismo del ser humano ha impulsado la búsqueda de nuevas energías como es el caso de energías renovables y limpias que sean eco amigables. En ese sentido las picocentrales hidroeléctricas formarían una parte muy importante en el suministro doméstico de electricidad limpia del Perú, como es el caso de las picocentrales hidroeléctricas instaladas en Colombia, Costa Rica, China, o el caso de la compañía Tailandesa HedJay Goodies Build que hace uso de un riachuelo (de poco caudal) en donde instaló una picocentral hidroeléctrica.

En el ámbito nacional, también se cuenta con picocentrales hidroeléctricas ubicadas en las regiones estratégicas como, por ejemplo: Junín (Huancayo), Lambayeque (Chiclayo) en donde se usa el gran potencial hídrico que existe en la zona, para satisfacer cierta demanda.

Es por ello que la ingeniería mecánica de fluidos debería de profundizar en trabajos similares al presente trabajo de tesis ya que aportaría con el diseño de una turbina tipo Pelton para una picocentral hidroeléctrica que permitiría generar energía eléctrica en zonas estratégicas del Perú.

1.2 Planteamiento del Problema

1.2.1 Descripción de la Situación Problemática

Hoy en día se ve evidenciada la creciente demanda de energía eléctrica en todo el mundo es por ello que las personas realizan y desarrollan esfuerzos por suplir dicho requerimiento y les ha llevado a la investigación, estudio y proyectos que permitan generar y abastecer de energía eléctrica.

En el Perú, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI las zonas rurales de la costa y sierra, cuentan con el servicio de energía eléctrica en un 78,5% y 72,2%, respectivamente, en comparación del 42% de las zonas rurales de la selva peruana que no cuentan con energía eléctrica, ni están conectados a la red nacional de electricidad ya que, debido a su ubicación, topografía accidentada, vías de acceso inadecuada y falta de inversión pública se hace difícil las obras correspondientes para la instalación de una central hidroeléctrica convencional.

En el distrito de Valera, Amazonas, el comedor popular llamado “Matiaza Rimachi” no cuenta con electrificación, debería hacer uso de electrodomésticos como por ejemplo licuadora, refrigeradora, además de alumbrado es por ello que debería contar con un suministro de energía eléctrica, Pero, existe la posibilidad de dotar a este comedor de energía eléctrica para cubrir la demanda de sus instalaciones mediante la implementación de una picocentral que utilice las aguas provenientes del riachuelo cercano.

1.2.2 Formulación del Problema

Problema General

- ¿De qué manera se puede proveer de energía eléctrica al comedor popular del distrito de Valera, provincia de Bongará, departamento de Amazonas?

Problemas Específicos

- ¿Cómo estimar la potencia requerida para el comedor popular del distrito de Valera, provincia de Bongará, departamento de Amazonas?
- ¿Cómo estimar el caudal requerido para la picoturbina tipo Pelton?
- ¿Cómo determinar la altura neta de la picoturbina tipo Pelton?
- ¿De qué modo la simulación puede ayudar al diseño para mejorar la eficiencia de la picoturbina?

1.3 Objetivos

Objetivo General

- Diseñar y simular una picoturbina Pelton para abastecer de energía eléctrica a un comedor popular del distrito de Valera, provincia de Bongará, departamento de Amazonas.

Objetivos Específicos

- Estimar la potencia requerida por el comedor popular del distrito de Valera, provincia de Bongará, departamento de Amazonas.
- Estimar el caudal requerido por la picoturbina tipo Pelton.
- Determinar la altura neta de la picoturbina tipo Pelton.
- Diseñar la picoturbina
- Simular la picoturbina tipo Pelton.

1.4 Justificación

En el presente trabajo de tesis se está utilizando los conocimientos adquiridos en la formación de los ingenieros mecánicos de fluidos donde se estudia cursos como: mecánica de fluidos, turbomáquinas, diseño mecánico, similitud física, energía no convencional, hidráulica, etc.

Las picocentrales hidroeléctricas cuentan con una rentabilidad positiva y es un método que genera energía eléctrica las 24 horas. Además de generar empleo y así contribuir con el movimiento económico del país. El promedio de lo que se gasta de electricidad en Perú es S/ 0.8 por kWh. Según la tabla (ver tabla 1 del presente trabajo) el comedor popular del distrito de Valera gastaría en un año S/ 2 119 que en 10 años S/ 21 190 que es lo que podría costar este proyecto. Lo que convierte este proyecto económicamente viable.

Esto no solo contribuye al comedor popular ya que este tipo de energías se genera de manera limpia y esto impacta de manera positiva al ambiente ya que poco a poco se pretende prescindir de los combustibles fósiles que se usan en las viviendas tales como el carbón, petróleo, kerosene que en exceso y a la larga dañan al planeta. Dentro del marco de la Organización de las Naciones Unidas, la representante especial del secretario general de Naciones Unidas se expresó sobre el tema: Energía Sostenible para Todos, en el cual detalla la importancia dentro de la pandemia del SARS-COV-2 y mencionó tres opciones para responder a tal crisis:

1. Priorizar las soluciones energéticas para hacer que las instalaciones de salud y las operaciones de primeros auxilios sean más eficientes.
2. Mantener conectados a los consumidores desfavorecidos.
3. Incrementar la producción de energía confiable, ininterrumpida y suficiente para prepararse para una recuperación económica más sostenible. (UN, s.f., párrafo séptimo).

En el caso particular del comedor popular se podría alumbrar sin la necesidad de contaminar usando el fuego proveniente de las velas, antorchas o candelabros donde se emite dióxido de carbono en grandes cantidades y en un tiempo prolongado es perjudicial para la salud del ser humano donde los niños, adultos mayores, personas con enfermedades pulmonares como la TBC o el asma empeoraría su condición. Por otra parte, el humo de la quema de combustible (leña en este caso) emite gases de efecto invernadero que. En contraparte, el uso de una picocentral no contamina ya que usa el potencial hidráulico y es una fuente de energía renovable.

El diseño y simulación en software de la picoturbina Pelton permite obtener los valores de la turbina cuando ya está operando. Se está considerando como punto de mejora, la evaluación de dos propuestas considerando dos pares de polo del alternador distinto. Haciendo de este, un proyecto técnicamente viable.

1.5 Alcance

Se diseñó y simuló la picoturbina tipo Pelton, así como también se efectuaron los cálculos que comprende el diseño de la picoturbina, como la altura neta, la potencia y el caudal requerido por la picoturbina para dos propuestas considerando valores distintos de pares de polo del generador. No se consideró el diseño de las instalaciones hidráulicas como: la tubería forzada, la casa de fuerza ni el generador.

II. HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1 Hipótesis

2.1.1 *Hipótesis Generales*

- El diseño y simulación de una picoturbina Pelton ayudará a resolver el problema de falta de energía eléctrica en el comedor popular del distrito de Valera, provincia de Bongará, departamento de Amazonas.

2.2 Variables

2.2.1 *Variable 1*

Diseño y simulación de picoturbina Pelton

2.2.2 *Variable 2*

Generación de energía eléctrica

2.3 Matriz de Consistencia

título: “Diseño y simulación de una picoturbina Pelton para abastecer de energía eléctrica a un comedor popular del distrito de Valera, provincia de Bongará, departamento de Amazonas”

Problema	Objetivos	Hipótesis General	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p>General: ¿De qué manera se puede proveer de energía eléctrica al comedor popular del distrito de Valera, provincia de Bongará, departamento de Amazonas?</p> <p>Específicos: ¿Cómo estimar la potencia requerida para el comedor popular del distrito de Valera, provincia de Bongará, departamento de Amazonas?</p> <p>¿Cómo estimar el caudal requerido para la picoturbina tipo Pelton?</p> <p>¿Cómo determinar la altura neta de la picoturbina tipo Pelton?</p> <p>¿De qué modo la simulación puede ayudar al diseño para mejorar la eficiencia de la picoturbina?</p>	<p>General: Diseñar y simular una picoturbina Pelton para abastecer de energía eléctrica a un comedor popular del distrito de Valera, provincia de Bongará, departamento de Amazonas.</p> <p>Específicos: Estimar la potencia requerida por el comedor popular del distrito de Valera, provincia de Bongará, departamento de Amazonas.</p> <p>Estimar el caudal requerido por la picoturbina tipo Pelton.</p> <p>Determinar la altura neta de la picoturbina tipo Pelton.</p> <p>Simular la picoturbina tipo Pelton.</p>	<p>El diseño y simulación de una picoturbina Pelton ayudará a resolver el problema de falta de energía eléctrica en el comedor popular del distrito de Valera, provincia de Bongará, departamento de Amazonas.</p>	<p>Variable 1: Diseño y simulación de la picoturbina tipo Pelton.</p>	Caudal	Disponibilidad de agua en el riachuelo.	<p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Tipo de investigación: Aplicativo</p> <p>Diseño: No experimental de tipo transversal</p> <p>Alcance de la investigación: Explicativo</p>
				Altura neta	Altura bruta y pérdidas en tuberías.	
				Configuración de los álabes	Medidas de los álabes.	
			<p>Variable 2: Generación de energía eléctrica</p>	<p>Potencia eléctrica generada por la turbina.</p> <p>Consumo de energía</p>	<p>Cantidad de Watts producida.</p> <p>Cantidad de energía</p>	<p>Población</p> <p>Las picoturbinas.</p> <p>Muestra</p> <p>Las picoturbinas tipo Pelton.</p>

III. METODOLOGÍA

La metodología es una ciencia que proporciona al científico un conjunto de conceptos, principios y leyes que le permiten orientar el proceso de investigación científica de manera eficaz y coherente. (Cortés & Iglesias, 2004).

El presente trabajo de tesis tiene un enfoque cuantitativo y de tipo aplicativo ya que de acuerdo a los parámetros de diseño es como se desarrollará el proyecto, el cual también estará regido por los datos de caudal y altura.

En el diseño del proyecto de corte no experimental de alcance explicativo. Ya que no se podrá construir la picoturbina en el sitio lo que no se alterará el objeto de investigación que en este caso son las picoturbinas.

3.1 Población

Para este caso la población son todas las picoturbinas de la región, ya que es el objeto de estudio en general.

3.2 Muestra

La muestra que se tomará de dicha población, es la picoturbina tipo Pelton ya que se delimita o especifica el tipo de picoturbina.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1 Antecedentes

4.1.1 *Antecedentes Internacionales*

Salas et al. (2017) en su trabajo de tesis, titulado “Diseño y construcción de una picoturbina hidroeléctrica tipo Pelton, para potencias de hasta 1000 watts” en Costa Rica, tuvieron como objetivo principal diseñar una turbina hidráulica tipo Pelton para generación de energía hasta 1000 W, cargas netas hasta 30 m, caudal hasta 10 l/s y bajos costos de producción.

Este trabajo de tesis es de tipo aplicativo, cuyo enfoque de investigación es cuantitativo. El diseño consiste en el rotor, álabes, inyector, carcasa, seleccionar el generador eléctrico y elementos de transmisión de potencia, el alcance de ese trabajo comprende en la parte hidráulica mas no para la parte del banco de baterías y disipadores de carga que se realizaron, pero no forman parte del trabajo (Salas et al. 2017).

Dentro de los principales hallazgos del trabajo realizado están las curvas de operación de la turbina Pelton, así como el diseño total de rodete, álabes, inyector, sellos mecánicos que van acorde al modelo, los cuales se toman como aportes importantes para el presente trabajo de tesis (Salas et al. 2017).

Trujillo (2017) es la autora del trabajo de tesis titulado “Diseño de una pico central hidroeléctrica en la localidad de Usme, Bogotá” en Colombia, cuyo objetivo principal fue diseñar una picocentral hidroeléctrica (PCH) para la producción de energía eléctrica debido al potencial hidráulico que brinda la Quebrada.

El tipo de investigación es aplicativo cuyo enfoque es cuantitativo. El diseño de la turbina, sistema de captación y sistema de conducción forman parte del trabajo de tesis. El propósito de este proyecto fue crear un plan de factibilidad, con este análisis permite determinar si dicha implementación era rentable o no (Trujillo, 2017).

Dentro de los principales hallazgos y conclusiones están los resultados topográficos de la cabeza como del flujo permiten generar la potencia requerida para la picocentral hidroeléctrica aporte que se tomará para el presente trabajo de tesis ya que permitirá tener una referencia de la cota de altura topográfica (Trujillo, 2017).

Ferrada Sepúlveda (2012) en su trabajo de tesis, titulado “Diseño de rodete de turbina hidráulica tipo Pelton para micro generación” en Chile, tuvo como objetivo principal mejorar y diseñar un rodete de turbina tipo Pelton, considerando los siguientes parámetros hidráulicos de una cabeza de 40 m y un flujo de 35 l/s lo que genera una potencia de 13.72 Kw.

Este trabajo de tesis es de tipo experimental, cuyo enfoque de investigación es cuantitativo. Este trabajo final se enfoca solo en el rotor de la turbina Pelton. Con el diseño fue calculado con las ecuaciones hidráulicas conocidas, por lo que posteriormente se realizó la optimización del modelo y la simulación CFD utilizando el software Ansys (Ferrada, 2012).

Dentro de los principales hallazgos del trabajo de investigación de tesis realizado, debido a la simulación CFD en el software Ansys modificando los parámetros del ángulo de salida y de entrada de 3° y 7° respectivamente. Logró encontrar que la fuerza del agua en los álabes es 0,1 % mayor. Lo que aumentó el rendimiento de la turbina de hasta aproximadamente el doble en comparación con la turbina Turgo China (Ferrada, 2012).

4.1.1 Antecedentes Nacionales

García Ortiz (2017) es el autor del trabajo de investigación de tesis titulada “Modelo de picoturbina Pelton para generación de energía eléctrica en zonas rurales” en Huancayo, cuyo objetivo principal fue encontrar los indicadores óptimos de la picoturbina Pelton que en zonas rústicas tienen mayor impacto.

Ese trabajo de investigación es de tipo cuantitativo y tuvo un enfoque estadístico e instrumental el cual permite ampliar el panorama en relación a otras picoturbinas, esto quiere decir que el alcance no implica la construcción de la picoturbina (García, 2017).

Dentro de los principales hallazgos de ese trabajo fue que el uso de instrumentos validados para calcular el potencial de la picoturbina Pelton. Esto aporta para el trabajo actual ya que permite tener una base estadística e instrumental para la toma de datos (García, 2017).

Gil (2017) es el autor del trabajo de investigación de tesis titulada: “Diseño de un módulo de simulación de generación hidroeléctrico utilizando turbinas Pelton y Francis abastecidas por un sistema de recirculación” en Chiclayo, cuyo objetivo general fue mediante un sistema recirculatorio bombeado, diseñar turbinas Pelton y Francis.

Este trabajo es de tipo cuantitativo y tuvo un enfoque experimental donde el alcance fue la simulación de generación hidroeléctrica utilizando turbinas Pelton y Francis abastecidas por un sistema de recirculación con sus respectivos diseños. Esto no implica construcción (Gil, 2017).

Estos son los aportes del presente trabajo de investigación: se obtuvo como potencia aproximadamente entre 1.3kW – 1.5kW en relación a los parámetros de diseño (flujo, altura y potencia), lo que se obtuvo en el eje de la turbina (Gil, 2017).

4.2 Bases teóricas

4.2.1 Centrales Hidroeléctricas

Una central hidroeléctrica aprovecha la energía potencial gravitatoria del agua y la transforma en energía eléctrica. Además, una central hidroeléctrica cuenta con diversos componentes para que pueda transformar la energía. Como, por ejemplo: Bocatomas, tubería forzada para succión, alternador, banco de baterías, etc.

4.2.2 Pico Centrales Hidroeléctricas

Las picocentrales permiten convertir la energía potencial del agua de un riachuelo, río con un pequeño caudal, en energía cinética necesaria para mover el rotor de una turbina que posteriormente se transforma en energía eléctrica con un alternador de corriente.

En ese sentido, de acuerdo con Haidar et al. (2012), las picocentrales corresponden a centrales cuya potencia generada es inferior a 5 kW. Tienen un uso principalmente para suministro familiar y doméstico.

4.2.3 Turbinas Pelton

Las turbinas Pelton son turbinas hidráulicas de acción o de impulso se le llama de acción debido a que el fluido, en este caso agua, no sufre sensiblemente un gradiente o variación de presión en su circulación.

Funcionamiento Hidráulico de la Turbina Pelton

García (2020) afirma lo siguiente:

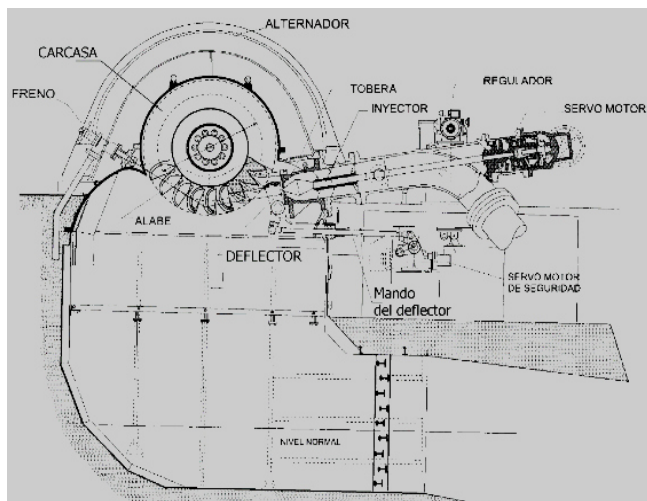
Según García (2020) en el inyector se tiene la energía máxima, desde la cámara de carga a expensas de la energía potencial gravitatoria. Al mantener el diámetro de la tubería la energía cinética también se mantiene. Cuando el flujo sale del inyector e impacta en los álabes del rodete la energía cinética se transforma en energía de uso para la turbina.

Componentes Principales de las Turbinas de Acción:

De acuerdo con García (2020), las turbinas Pelton presentan los componentes que se muestran en la figura 1.

Figura 1

Partes principales de una Turbina Pelton de eje Horizontal y un Inyector



Nota. Adaptado de (Gardea, 1990).

Inyector. – Provista de una tobera y una válvula de aguja. Convierte la energía de presión en energía cinética García (2020).

Rodete. Compuesto por los álabes de la turbina y el rotor (García,2020).

Alabes, cucharas o cazoletas. Reciben el impacto del flujo de agua y convierten la energía cinética del chorro en energía mecánica rotacional del eje de la turbina (García, 2020).

Ecuación de la potencia interna que el rodete de una turbina le comunica al fluido

$$P_i = \gamma Q H_u \quad (1)$$

Donde:

γ – Es el peso específico del fluido.

H_u - altura equivalente a la energía intercambiada en el fluido o altura hidráulica.

Q – es el caudal de que se mueve en el rodete o caudal turbinado en el caso de turbinas.

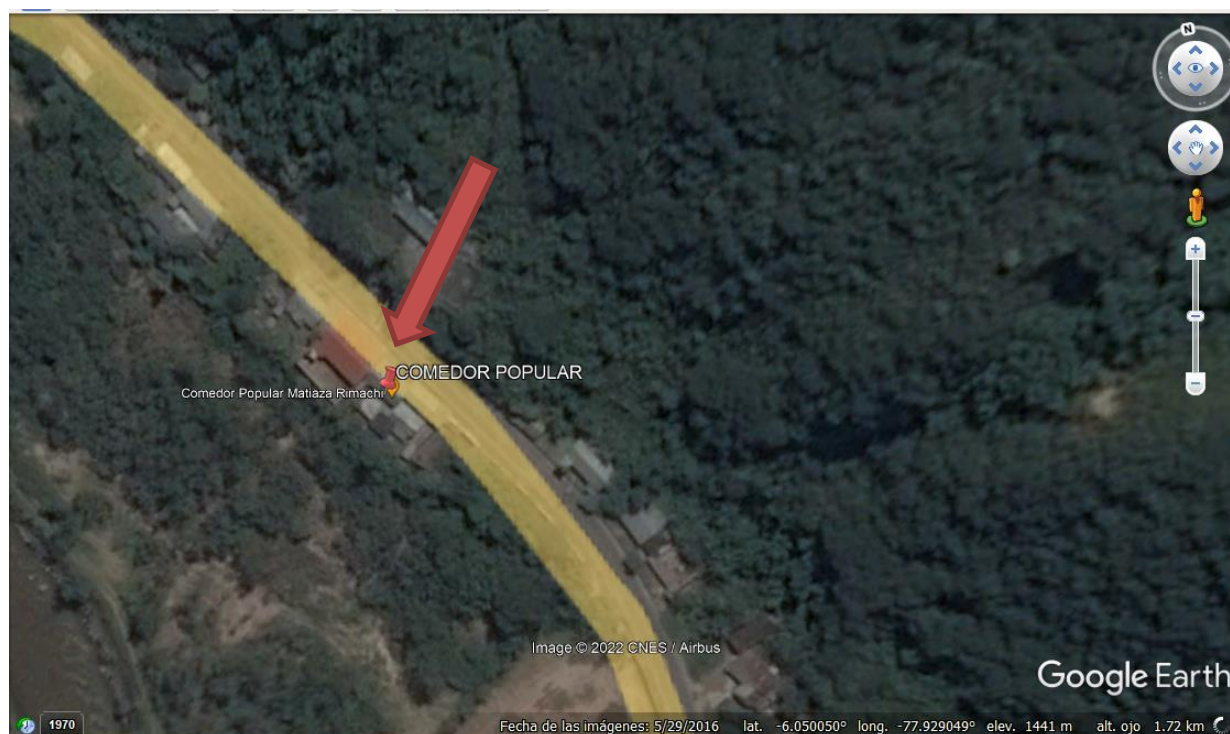
4.3 Descripción de la localidad de aplicación

La picoturbina que abastecerá al comedor popular llamado “Matiaza Rimachi” se encuentra ubicado en el distrito de Valera provincia de Bongará, departamento de Amazonas ver figura 2.

Para ello se tuvo en consideración que el aprovechamiento del recurso hídrico de la región es mayor al consumo eléctrico de un comedor popular de la región.

Figura 2

Ubicación geográfica del comedor popular



Nota. Adaptación del programa Google Earth Pro. (Elaboración propia)

Coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator)

- Longitud: -77.929940°
- Latitud: -6.049582°
- Elevación: 1427 m.s.n.m
- Población aproximada: 1582 hab
- Viviendas aproximadamente: 68

Río cercano se tiene al río Utcubamba que es un río estrecho pero este río da lugar a varias centrales hidroeléctricas. Además de ello se cuenta con un caudal medio de $151 \text{ m}^3/\text{s}$. Revisar el Anexo, figura 27. *Mapa de Cuencas Hidrográficas de la región Amazonas – Escala 1:900,000*.

Fecha: Feb 2014

Se realizó una tabla del posible consumo energético que no solo beneficiaría al comedor popular como tal, sino que también podría servir como punto de carga de celulares y laptops para que los trabajadores y quizás estudiantes puedan usarlo para sus actividades diarias.

Como se aprecia en la tabla 1 en el que se ilustra el posible consumo de la energía eléctrica generada para un comedor popular que carece de conexión a la red nacional.

Tabla 1

Tabla de proyección de gasto energético

ARTEFACTO	CANTIDAD (UND)	POTENCIA (kW)	TIEMPO DE USO DIARIO (H)	TIEMPO DE USO ANUAL (H)	CONSUMO ANUAL (kWh)	CONSUMO ANUAL (kWh en S/)
Refrigeradora	1	0.3	16	5840	1752	S/ 1,401.60
Tv	1	0.25	6	2190	547.5	S/ 438.00
Radio	1	0.03	6	2190	65.7	S/ 52.56
Luminaria	10	0.02	5	1825	36.5	S/ 29.20
Microondas	1	0.9	0.6	219	197.1	S/ 157.68
Licuada	1	0.5	0.2	73	36.5	S/ 29.20
Celular	5	0.018	2	730	13.14	S/ 10.51
TOTAL					2648.44	S/ 2,118.75

Nota. Se usó el programa de Excel. (Elaboración propia).

4.4 Diseño mecánico del pico turbina Pelton

Para el diseño mecánico de las turbinas Pelton se debe tener en cuenta:

H: La altura neta

Q: Caudal suministrado

n: Velocidad angular en rpm

η : Eficiencia total.

Según el cálculo hecho de consumo del comedor popular se tiene un consumo anual de 2648.44 kW-h, para el diseño se consideró un factor de seguridad del 30 % se calculó la potencia del comedor popular en base a un consumo anual del 3 442.97 kW-h.

Para el cálculo de la potencia que requiere la picoturbina es:

$$P_{(w)} = \frac{Ex1000}{t} \quad (2)$$

Donde:

P(w): Potencia de la picoturbina

E(kw-h): Energía o gasto energético.

t(h): Tiempo en horas.

Reemplazando los valores:

$$P_{(w)} = \frac{3442.97x1000}{360x24}$$

$$P_{(w)} = 398.50 W = 0.3985 kW$$

4.4.1 Criterios de diseño:

H= 15 m; donde H: altura neta

$n_t = 0.8$; donde n_t : Eficiencia total de la picoturbina Pelton.

$C_v = 0.97$; donde C_v : Coeficiente de salida del inyector.

Usando la ecuación de la potencia para las turbinas:

$$P = \gamma Q H \eta \quad (3)$$

$$398,5 = 9806xQx15x0.80$$

$$Q = 3.386x10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 3.386 \frac{l}{s}$$

Donde:

P: Potencia de la turbina en W

γ : Peso específico

Q: Caudal

H: Altura neta

n_t : Eficiencia total de la picoturbina Pelton.

4.4.2 Diámetro del chorro

El caudal que sale del inyector es:

$$Q = C_1 A \quad (4)$$

Donde C_1 : Velocidad del chorro.

$$d = 0.544 \frac{Q^{1/2}}{H^{1/4}} \quad (5)$$

Reemplazando:

$$d = 0.544 \frac{(3.386 \times 10^{-3})^{1/2}}{(15)^{1/4}}$$

$$d = 0.016 \text{ m} = 1.6 \text{ cm}$$

Usando un diámetro comercial $d = 2'' = 0.0508 \text{ m}$

4.4.3 La velocidad del chorro (C_1)

Se emplean las siguientes ecuaciones:

$$C_1 = C_v \sqrt{2gH} \quad (6)$$

$$C_v = [0.95 - 0.99] \text{ o } C_v = \sqrt{1 - \frac{H_{e-1}}{H}}$$

Según criterios de diseño: $C_v = 0.97$

$$C_1 = 0.97 \sqrt{2 \times 9.81 \times 15}$$

$$C_1 = 16.64 \text{ m/s}$$

Se realiza un análisis comparativo (trade-off) entre 02 propuestas o alternativas, esto con el fin de que se obtenga la mejor solución técnica-económica y sobre todo viable para dicha aplicación. Es por ello que se realiza los cálculos variando los parámetros de los pares de polo.

4.4.4 Propuesta 1

$p = 18$; donde p : Pares de polo del alternador

4.4.5 *Número de revoluciones*

$$n = \frac{f \times 60}{p} \quad (7)$$

n : velocidad angular en rpm

f : frecuencia (En Perú $f=60$ Hz)

p : pares de polo del alternador, según criterio de diseño $p=18$

$$n = \frac{60 \times 60}{18}$$

$$n = 200 \text{ rpm}$$

4.4.6 *Número específico de revoluciones o número de Camerer (n_s)*

$$n_s = n \times P^{1/2} \times H^{-5/4} \quad (8)$$

Donde

n_s : Número específico de revoluciones en mCV

n : velocidad angular en rpm.

P : Potencia de la picoturbina

H : Altura neta

$$1 \text{ kW} = 1.3592 \text{ CV}$$

Reemplazando los valores encontrados:

$$n_s = 200x(0.3985x1.3592)^{1/2}x15^{-5/4} \quad (9)$$

$$n_s = 4.986 \text{ mCV}$$

Según el gráfico de selección de turbina (Ver tabla 10 del anexo), además ver la tabla 2 para el cálculo de ϕ

Z=1; donde Z: número de chorros

Tabla 2

Tabla de los coeficientes experimentales ϕ

n_s	4 – 9	13	18	22	27	31 – 85
ϕ	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.425

Nota. Tomado de (García, 2020).

Si n_s no es ningún valor mencionado se debe interpolar.

Según la tabla se encuentra $\phi = 0.47$ y *Diámetro del Rodete (D)*

$$D = 84.6 \frac{\phi}{n} \sqrt{H} \quad (10)$$

Reemplazando los valores:

$$D = 84.6x \frac{0.47}{200} \sqrt{15}$$

$$D = 0.76 \text{ m}$$

Aproximando D=0.8 m.

4.4.7 Número de álabes (Na)

Se le considerará el número de álabes al entero más próximo, se usarán las siguientes

fórmulas:

$$N_{a1} = \frac{D}{2d} + 14 = \frac{0.8}{2 \times 0.0508} + 14 = 21.87 \quad (12)$$

$$N_{a2} = \frac{D}{2d} + 16 = \frac{0.8}{2 \times 0.0508} + 16 = 23.87 \quad (13)$$

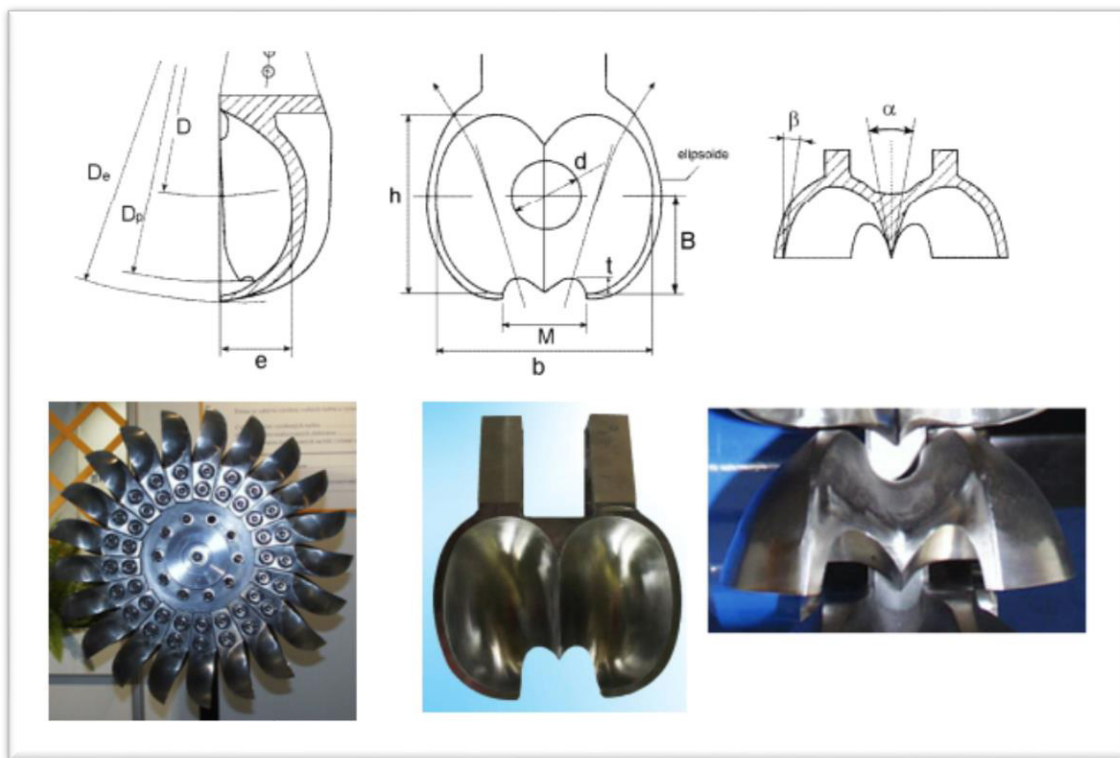
$$N_a = \frac{N_{a1} + N_{a2}}{2} = \frac{21.87 + 23.87}{2} = 22 \quad (14)$$

Se tiene 22 números de álabes

4.4.8 Medidas de los álabes

Figura 3

Principales dimensiones de los álabes



Nota. Adaptado de *Maquinas hidráulicas* [Fotografía], Jara, 1998.

$$\begin{aligned} \checkmark \quad b &= [2,8 - 3,6] \, di \\ \mathbf{b} &= [3,2] * 0,0508 \\ \mathbf{b} &= 0.1856 = 0.2 \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark \quad B &= [1,2 - 1,7] \text{ di} & (16) \\
 \mathbf{B} &= [1,45] * 0,0508 \\
 \mathbf{B} &= 0.073
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark \quad h &= [2,5 - 2,85] \text{ di} & (17) \\
 \mathbf{h} &= [2,675] * 0,0508 \\
 \mathbf{h} &= \mathbf{0.135} = \mathbf{0.14}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark \quad M &= [1,1 - 1,25] \text{ di} & (18) \\
 \mathbf{M} &= [1,175] * 0,0508 \\
 \mathbf{M} &= 0.059 = 0.06
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark \quad e &= [0,8 - 1,0] d_i & (19) \\
 \mathbf{e} &= [0,9] * 0,0508 \\
 \mathbf{e} &= 0.045 = 0.05
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark \quad D_e &= D + 2 \frac{3h}{5} & (20) \\
 D_e &= 0.8 + 2 \frac{3 \times 0.135}{5}
 \end{aligned}$$

$$D_e = 0.94 = 1 \text{ m}$$

4.4.9 Propuesta 2

Criterio de diseño

$p = 3$; donde p : Pares de polo del alternador

4.4.10 *Número de revoluciones*

$$n = \frac{f \times 60}{p} \quad (7)$$

n : velocidad angular en rpm

f : frecuencia (En Perú $f=60$ Hz)

p : pares de polo del alternador, según criterio de diseño $p=3$

$$n = \frac{60 \times 60}{3}$$

$$n = 1200 \text{ rpm}$$

4.4.11 Número específico de revoluciones o número de Camerer (n_s)

$$n_s = n \times P^{1/2} \times H^{-5/4} \quad (8)$$

Donde

n_s : Número específico de revoluciones en mCV

n : velocidad angular en rpm.

P : Potencia de la picoturbina

H : Altura neta

$$1kW = 1.3592 \text{ CV}$$

Reemplazando los valores encontrados:

$$n_s = 1200 \times (0.3985 \times 1.3592)^{1/2} \times 15^{-5/4} \quad (9)$$

$$n_s = 29.917 \text{ mcv}$$

Según el gráfico de selección de turbina (Ver tabla 10 del anexo), además ver la tabla 2 para el cálculo de \emptyset

$Z=1$; donde Z : número de chorros

Tabla 3

Tabla de los coeficientes experimentales \emptyset

n_s	4 – 9	13	18	22	27	31 – 85
ϕ	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.425

Nota. Tomado de (García, 2020).

Si n_s no es ningún valor mencionado se debe interpolar.

Como n_s no se encuentra en la tabla de coeficientes se interpola:

$$\frac{29.917 - 27}{\phi - 0.43} = \frac{27 - 22}{0.43 - 0.44}$$

De donde $\phi = 0.424$

Según la tabla se encuentra $\phi = 0.424$ y *Diámetro del Rodete (D)*

$$D = 84.6 \frac{\phi}{n} \sqrt{H} \quad (10)$$

Reemplazando los valores:

$$D = 84.6 \times \frac{0.424}{1200} \sqrt{15}$$

$$D = 0.116 \text{ m}$$

Aproximando $D = 12 \text{ cm}$.

4.4.12 Número de álabes (N_a)

Se le considerará el número de álabes al entero más próximo, se usarán las siguientes fórmulas:

$$N_a = \frac{D}{2d} + 14$$

$$N_a = \frac{D}{2d} + 16$$

$$N_a = 0.4 \frac{D}{d} + 18$$

$$N_a = 0.4 \frac{D}{d} + 20$$

$$N_a = \frac{N_{a1} + N_{a2} + N_{a3} + N_{a4}}{4}$$

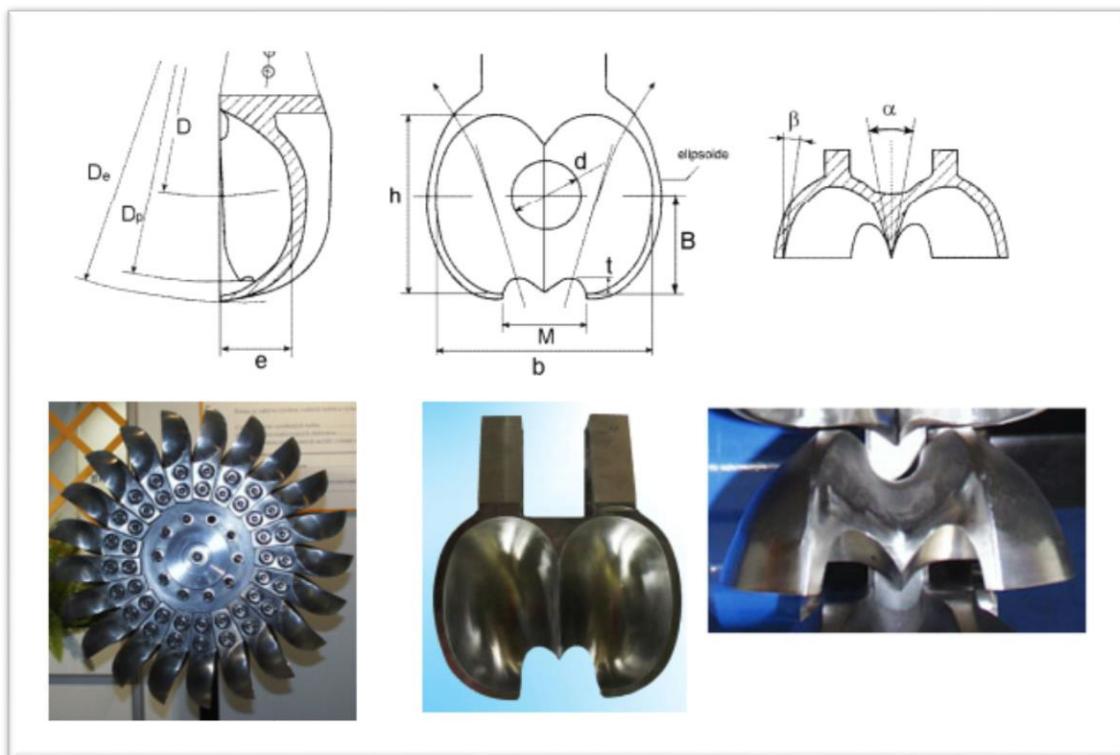
Reemplazando los valores se obtiene que:

Se tiene $N_a = 20$ números de álabes

4.4.13 Medidas de los álabes

Figura 4

Principales dimensiones de los álabes



Nota. Adaptado de Maquinas hidráulicas [Fotografía], Jara, 1998.

$$\begin{aligned} \checkmark \quad b &= [2,8 - 3,6] \text{ di} & (15) \\ \mathbf{b} &= [3,2] * 0,019 \\ \mathbf{b} &= 0.1856 = 0.1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \quad B &= [1,2 - 1,7] \text{ di} & (16) \\ \mathbf{B} &= [1,45] * 0,019 \\ \mathbf{B} &= 0.028 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \quad h &= [2,5 - 2,85] \text{ di} & (17) \\ \mathbf{h} &= [2,675] * 0,019 \\ \mathbf{h} &= \mathbf{0.051} = \mathbf{0.05} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \quad M &= [1,1 - 1,25] \text{ di} & (18) \\ \mathbf{M} &= [1,175] * 0,019 \\ \mathbf{M} &= 0.059 = 0.022 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \quad e &= [0,8 - 1,0] d_i & (19) \\ \mathbf{e} &= [0,9] * 0,019 \\ \mathbf{e} &= 0.0171 = 0.02 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \quad D_e &= D + 2 \frac{3h}{5} & (20) \\ D_e &= 0.12 + 2 \frac{3 \times 0.05}{5} \end{aligned}$$

$$D_e = 0.18 = 0.2 \text{ m}$$

Luego se procederá a realizar la simulación para ambas propuestas con los cálculos previamente hallados.

4.5 Simulación en software de la picoturbina Pelton

La simulación en software ha impulsado y desarrollado mediante los cálculos matemáticos y físicos el estudio del comportamiento de los fluidos. Actualmente se tiene una gran cantidad de variedad de softwares que permiten el estudio a detalle de los fluidos como es el caso de SolidWorks, Ansys, OpenFOAM, SIMULIA XFlow, etc. Estos softwares son de gran aporte en

la ingeniería ya que se usan para poder predecir el comportamiento de los fluidos, así como también permite realizar estudios de laboratorio sin la necesidad, en muchos casos, de realizar prototipos a escala el cual demandan mucho tiempo y dinero de por medio. Dentro de las desventajas del análisis Computational Fluid Dynamics (CFD) Simulation Software es que requiere de un gran costo computacional (sistemas operativos, memoria RAM, transmisión de Datos, etc).

Existen métodos experimentales y métodos teóricos que son dos: métodos analíticos y métodos numéricos. De los cuales los métodos analíticos son para soluciones de contorno simples y está restringido para problemas lineales es decir aparecen términos no convectivos. En contra parte a ello se tiene los métodos numéricos pueden ser aplicados a geometrías y condiciones de contorno cualquiera, tienen un menor costo de implementación y se podría tener un menor tiempo en obtención de los resultados, así como simular condiciones que son complejas de obtener experimentalmente como por ejemplo condiciones de temperatura, presión y caudal extremas.

La fluodinámica computacional o CDF (Computational Fluid Dynamics) está clasificada dentro de los métodos numéricos y es la ciencia para predecir o estimar el flujo de fluidos, transferencia de calor y masa, reacciones químicas y fenómenos relacionados. Para estimar o predecir estos fenómenos, CFD resuelve las ecuaciones de masa, momento, energía y conservación como base.

Los métodos experimentales y los métodos teóricos son complementarios entre sí, ya que los resultados analíticos sirven para validar los resultados numéricos al igual que los resultados experimentales. CFD es una herramienta complementaria a la experimentación para así reducir los esfuerzos y los costos que estos análisis lo requieren.

Las soluciones para CFD están basados en el método de volumen finitos, que es un método conservativo que se basa en la división o partición del dominio en pequeños volúmenes de control en los cuales se resuelven las ecuaciones de conservación de control, masa, energía y momento. Estas ecuaciones se discretizan en todos sus términos: transitorio, convectivo, difusivo y de generación. Los cuales en conjunto forman parte de una matriz o sistema algebraico cuya resolución es mediante métodos iterativos.

Antes de realizar propiamente con la simulación se debe realizar la geometría de los elementos a estudiar, ya sea una bomba, turbina, compuertas, bocatomas, etc.

Para realizar el análisis computacional se deben seguir los siguientes pasos:

4.5.1 Definir los objetivos del modelamiento

Es decir que resultados se están buscando como, por ejemplo: Caída de presión, flujo másico, distribución de temperatura, de velocidades, concentración, etc. Así como también simplificaciones o consideraciones se toman antes de, como por ejemplo considerar el agua como un fluido incompresible, análisis transitorio, la geometría a analizar. También se tiene en cuenta que en el modelo físico se debe incluir en el análisis y el grado de precisión que se requiere para el estudio y el tiempo de resolución con esto se define si CFD es la herramienta adecuada para el análisis.

En el presente trabajo de tesis de la simulación de la picoturbina Pelton se usó el software Solidworks dentro de los objetivos se tuvieron las siguientes notas en cuenta.

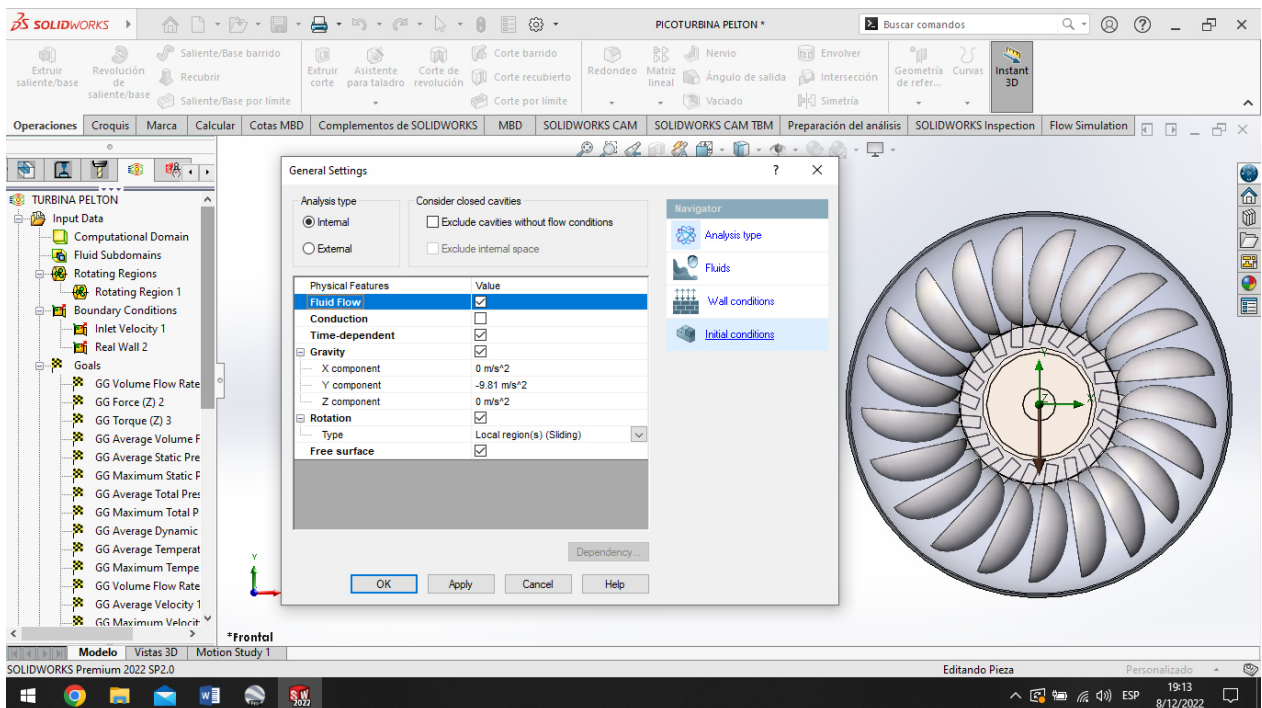
Se consideró un tipo de análisis interno ya que se delimitó la región de flujo de fluido interno.

También se ha considerado un análisis de tipo Free Surface, que es un análisis transiente (time-dependent).

Así como también la gravedad en el eje $-y$, -9.81 m/s^2 , según la geometría elaborada que se obtuvo de los cálculos teóricos. También se selecciona análisis rotacional con malla deslizante ya que la Picoturбина tiene un movimiento rotacional. Ver figura 5

Figura 5

General Settings – Analysis type (Ajustes Generales)

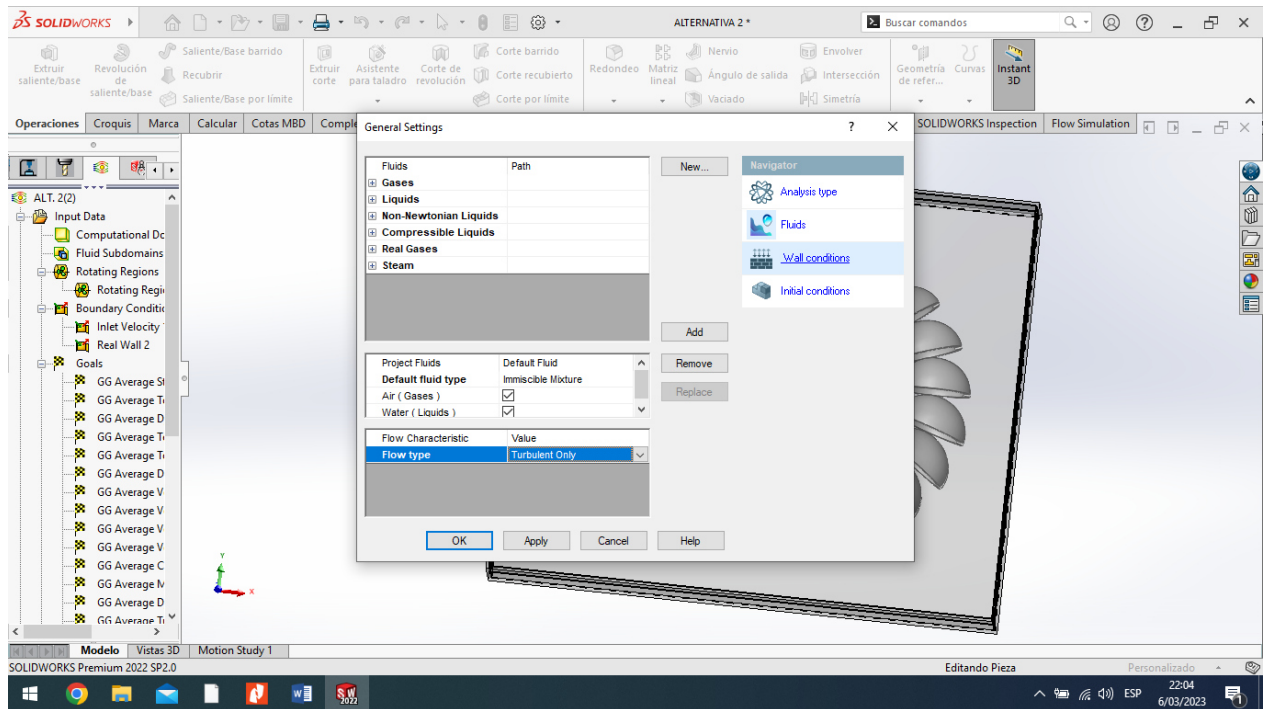


Nota. Adaptación de la Simulación con Solidworks. (Elaboración propia)

En la sección de selección de fluidos se escoge solamente agua y aire como principales, discriminando el vapor de agua, fluidos no newtonianos, que no tienen mayor relevancia para la simulación. Además, se selecciona tipo de flujo: turbulento, esto con el fin de que el software considere el análisis solo turbulento. Ver figura 6

Figura 6

General Settings – Fluids (Ajustes generales - Fluidos)



Nota. Adaptación de la Simulación con Solidworks. (Elaboración propia)

En las condiciones iniciales de la simulación se considera en los parámetros termodinámicos una temperatura promedio de 293.2 k por ser una región tropical y una presión de 85316.22 Pa = 0.84 atm que es la presión atmosférica esto debido a la elevación del comedor según la fórmula siguiente:

$$P_a = 101\,325 \left(1 - \frac{0.0067}{288.15} Z\right)^{5.26}$$

Donde:

P_a : Presión Atmosférica Local en Pascales [Pa]

Z : Altura en m.s.n.m

Según la ubicación geográfica y los datos obtenidos de Google Earth Pro el comedor se encuentra a 1 427 msnm. Ver figura 7.

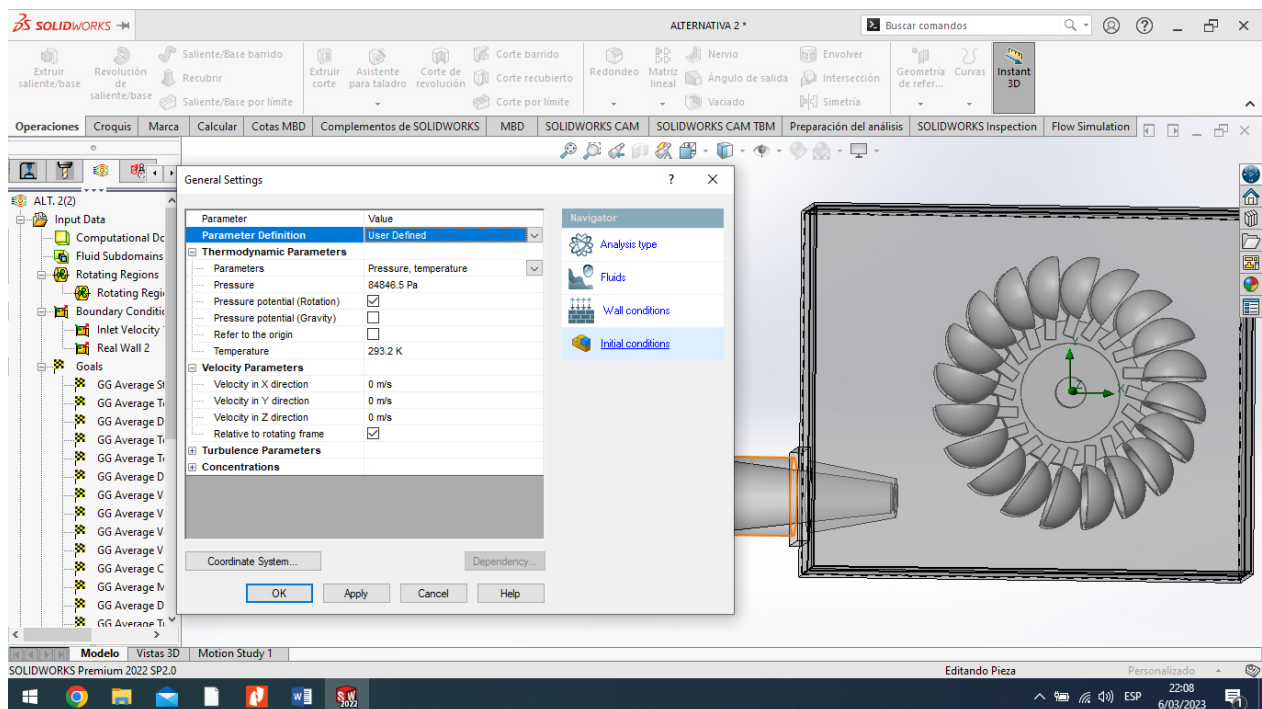
Reemplazando en la ecuación

$$P_a = 101\,325 \left(1 - \frac{0.0067}{288.15} \times 1427\right)^{5.26}$$

$$P_a = 84846.5 \text{ Pa}$$

Figura 7

General Settings – Initial Conditions (Ajustes Generales – Condiciones Iniciales)



Nota. Adaptación de la Simulación con Solidworks. (Elaboración propia)

4.5.2 *Dominio computacional*

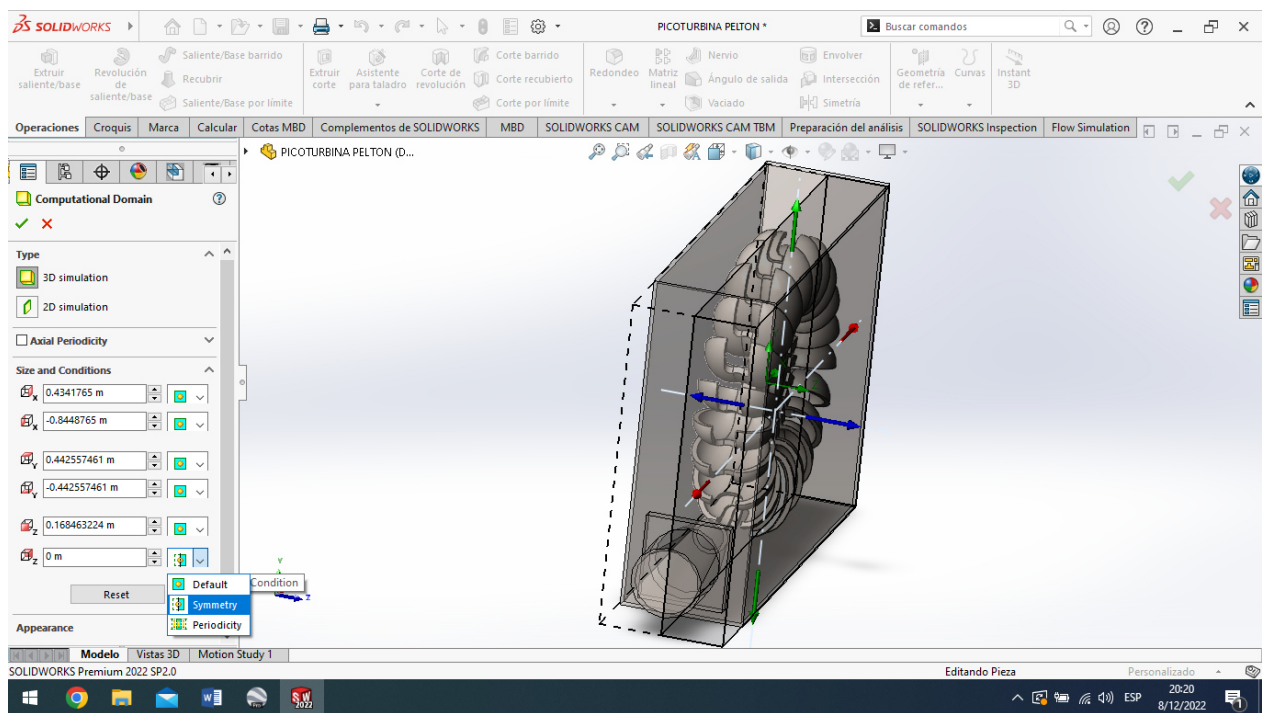
Aquí se define dónde empieza y donde termina el dominio computacional, si es que se cuenta con condiciones de contorno o si es que se debe ampliar el dominio para asegurar los contornos en los cuales se cuenten con suficiente información. En este paso también se podría simplificar el estudio como, por ejemplo: 3D a 2D, hacer un análisis simétrico, esto se traduce en un menor costo computacional y menor tiempo de cálculos. Luego de ello se realiza la

elaboración del dominio computacional con la elaboración de la geometría con los softwares que permitan dicha construcción como, por ejemplo: Inventor, Solidworks, Ansys, etc.

Para la simulación de la Picoturbina se determina el dominio computacional en una región 3D con simetría en el eje Z ya que se redujo el dominio computacional a la mitad con el fin de reducir el costo computacional. Ver figura 8

Figura 8

Computational Domain (Dominio Computacional)



Nota. Adaptación de la Simulación con Solidworks. (Elaboración propia)

4.5.3 Condiciones de contorno

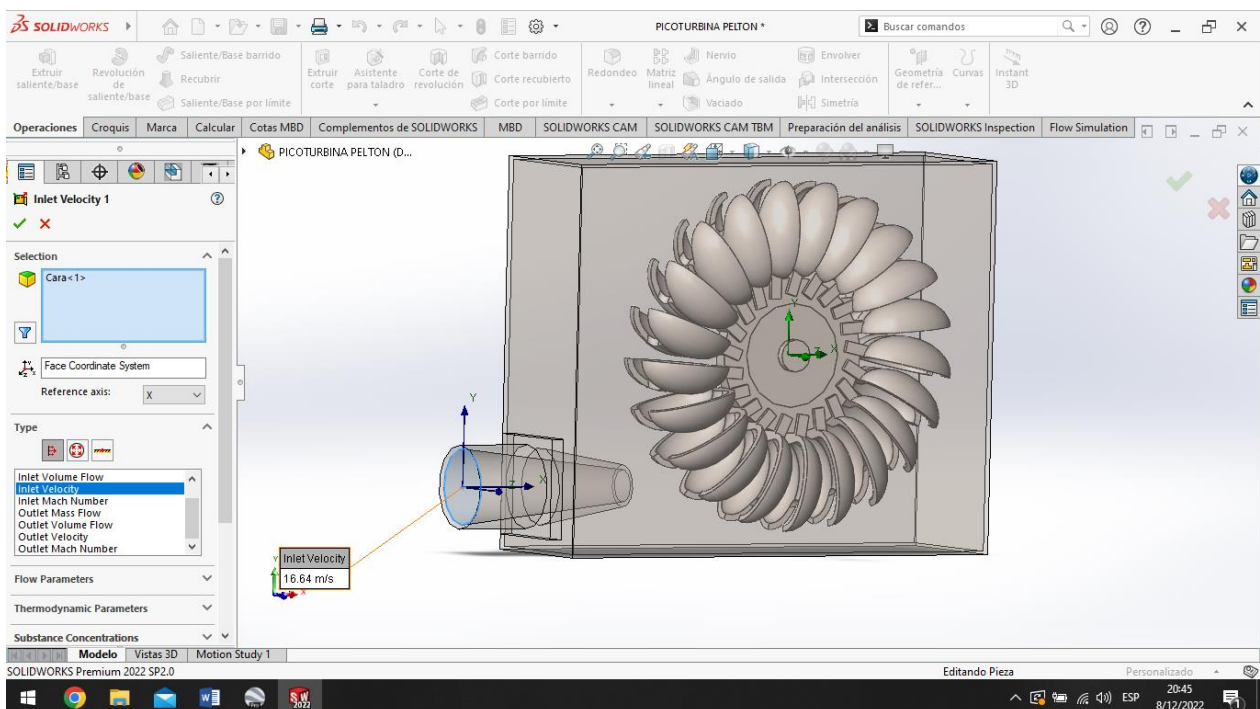
Otro de los aspectos importantes a tener en cuenta son las condiciones de contorno. De acuerdo con Duque D, (2011). *Geometría computacional* afirma que son un conjunto de condiciones que permiten o aportan en la solución de las ecuaciones diferenciales.

Las condiciones iniciales especifican los valores o datos que toman en el instante $t=0$. En cambio, las condiciones de contorno especifican los valores o datos que toman en las “paredes” de la región de estudio. Además, dentro de las condiciones de contorno se tiene: las condiciones de Dirichlet y las de Neumann, donde el primero hace referencia a los valores en los puntos del contorno y el segundo hace referencia a los valores de la derivada de los puntos del contorno.

Para la siguiente simulación, se selecciona la sección de entrada donde se tiene como velocidad de entrada según los cálculos hallados previamente: $V=16.64$ m/s en el eje X según la geometría en Solidworks. Ver figura 9.

Figura 9

Inlet Velocity 1 (Velocidad de entrada)

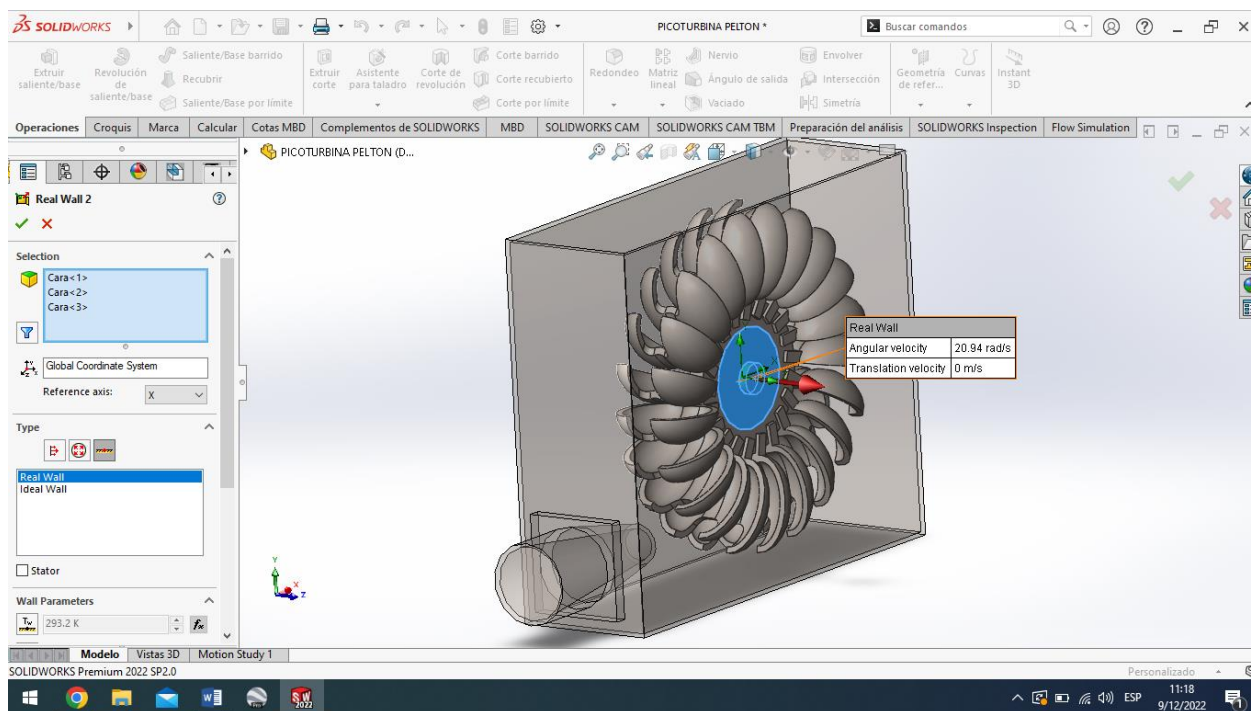


Nota. Adaptación de la Simulación con Solidworks. (Elaboración propia)

También se seleccionó la región de pared real o región no rotativa para que el Solidworks comprenda y sepa qué región es rotativa y que región no. Por lo que se seleccionó dichas regiones y se les dio los valores de velocidades angulares de 20.94 rad/s. (positivo según el eje Z). Ver figura 10.

Figura 10

Real Wall 2 (Pared real de dominio)

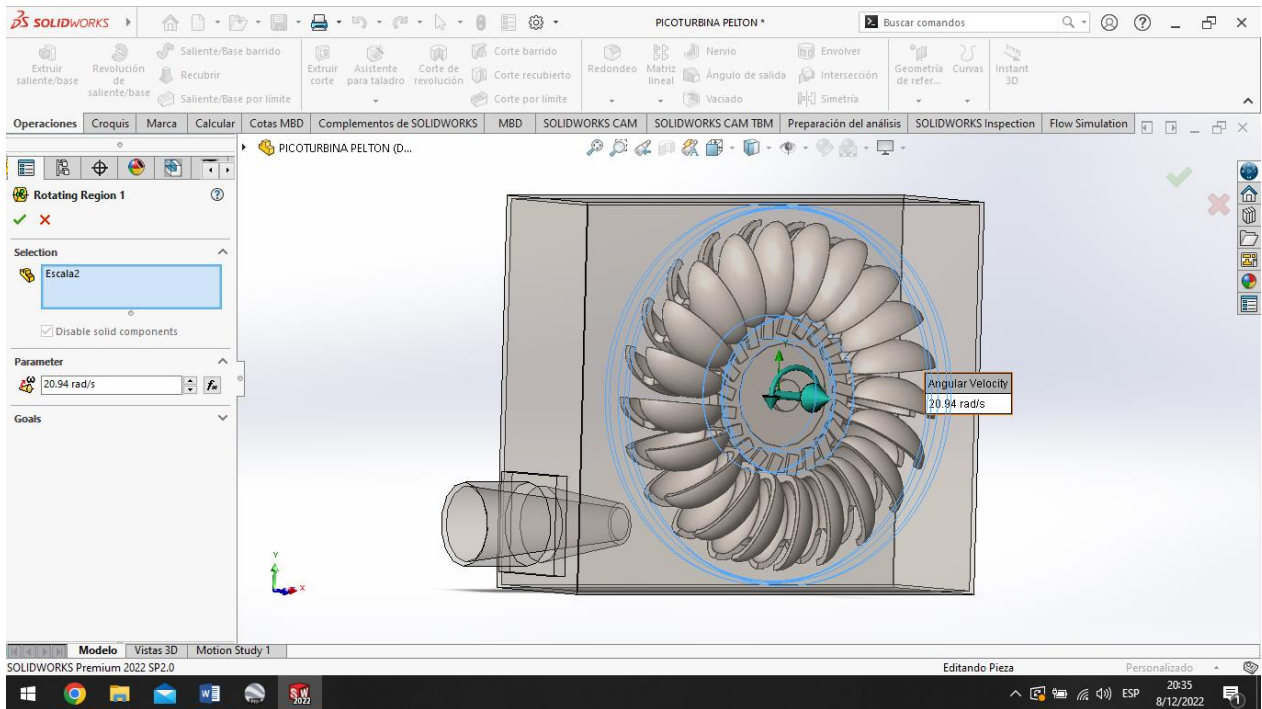


Nota. Adaptación de la Simulación con Solidworks. (Elaboración propia)

Para la simulación también hay que especificar la región rotativa para que el Solidworks pueda diferenciar la región rotativa (rodete) de la región estática (inyector). Adicionalmente se le añade el parámetro de la velocidad angular que según los cálculos teóricos se obtuvo una velocidad angular de 200 rpm = 20.94 rad/s (positivo según el eje Z). Ver figura 11.

Figura 11

Rotating Regions 1 (Regiones Rotativas)



Nota. Adaptación de la Simulación con Solidworks. (Elaboración propia)

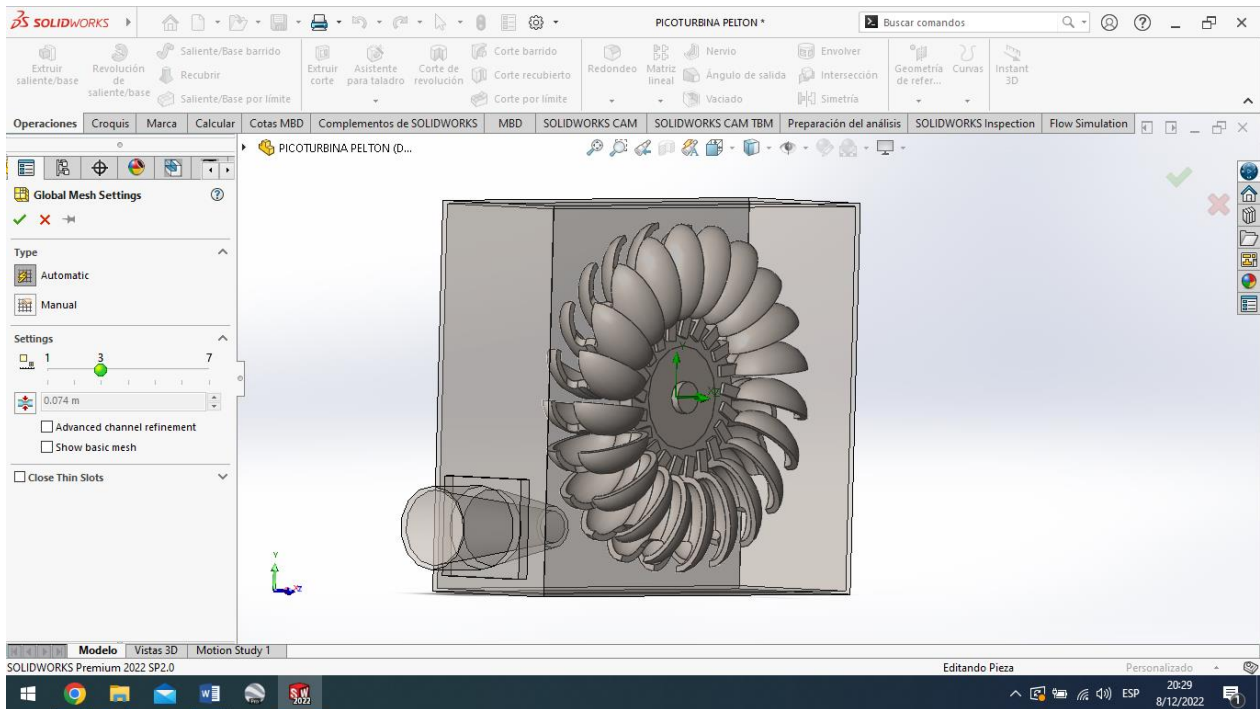
4.5.4 Diseño de malla o mesh

En el diseño de la malla se hace uso de elementos hexaédricos, tetraédricos, poliédricos o prismas para lograr captar regiones de interés y garantizar una solución adecuada. Una malla refinada da una solución más aproximada al problema, pero esto implica un mayor costo computacional. Es por eso que es importante definir el grado de aproximación y exactitud el cual requiere el problema. Es por ello que se realiza un estudio de refinación de malla para obtener un punto óptimo con los objetivos vs refinación de malla.

En este punto se selecciona la malla automática y el nivel de malla inicial en 3 para no sobrecargar la sección de análisis. Ver figura 12.

Figura 12

Global Mesh Settings 1 (Configuración general de malla)



Nota. Adaptación de la Simulación con Solidworks. (Elaboración propia)

4.5.5 Configuración del modelo matemático

En esta etapa se define las propiedades de los materiales que se usarán, como el tipo de fluido que se empleará. Y también se define qué tipo de modelo matemático se utilizará como, por ejemplo: conservación de momento, ecuación de calor, etc. También se define el régimen del flujo (turbulento, laminar). Otro de los puntos importantes a tener en cuenta son las condiciones de contorno en todas las secciones del dominio de interés y las aproximaciones que se tendrán en cuenta es decir el número máximo de iteraciones o de paradas. El tiempo de cálculo está sujeta a las características de la computadora a usar y de la configuración de la malla usada.

Según el informe técnico de Sobachkin & Dumnov (2014) Solidworks cuenta con la extensión de simulación “Flow Simulation” la cual tenía el nombre de “Flowworks”. “Flow Simulation” tiene

como base numérica las ecuaciones de Navier-Stokes, las cuales son formulaciones de las leyes de cantidad de movimiento, conservación de la masa y energía. Ver figura 13.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad \text{Ecuación de conservación de la masa}$$

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) + \frac{\partial P}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + S_i \quad \text{Ecuación de la cantidad de movimiento}$$

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i H}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}(u_j(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i) + \frac{\partial \rho}{\partial t} - \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho \varepsilon + S_i u_i + Q_H \quad \text{Ecuación de la energía}$$

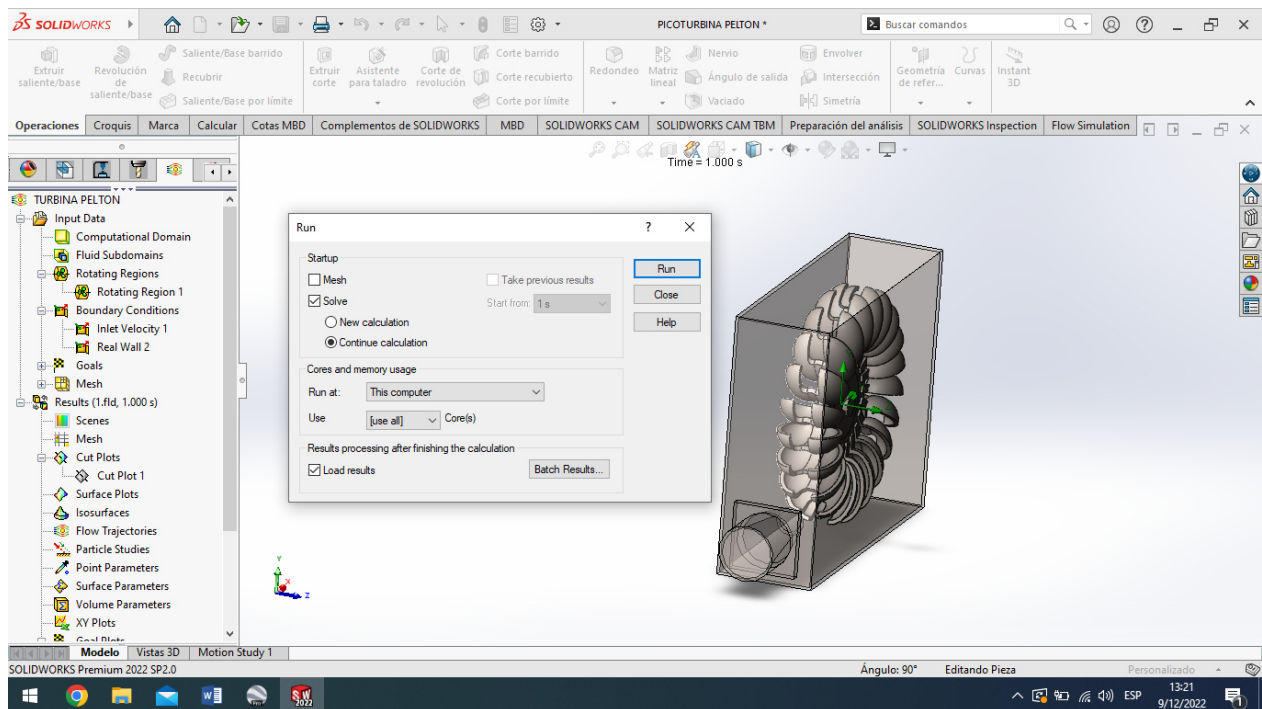
$$H = h + \frac{u^2}{2}$$

Adicionalmente Flow Simulation usaba el modelo $\kappa - \varepsilon$. Flow Simulation emplea actualmente el método de Newton Raphson.

$$X_{n+1} = X_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$$

Figura 13

Run Settings (Configuración de compilación)

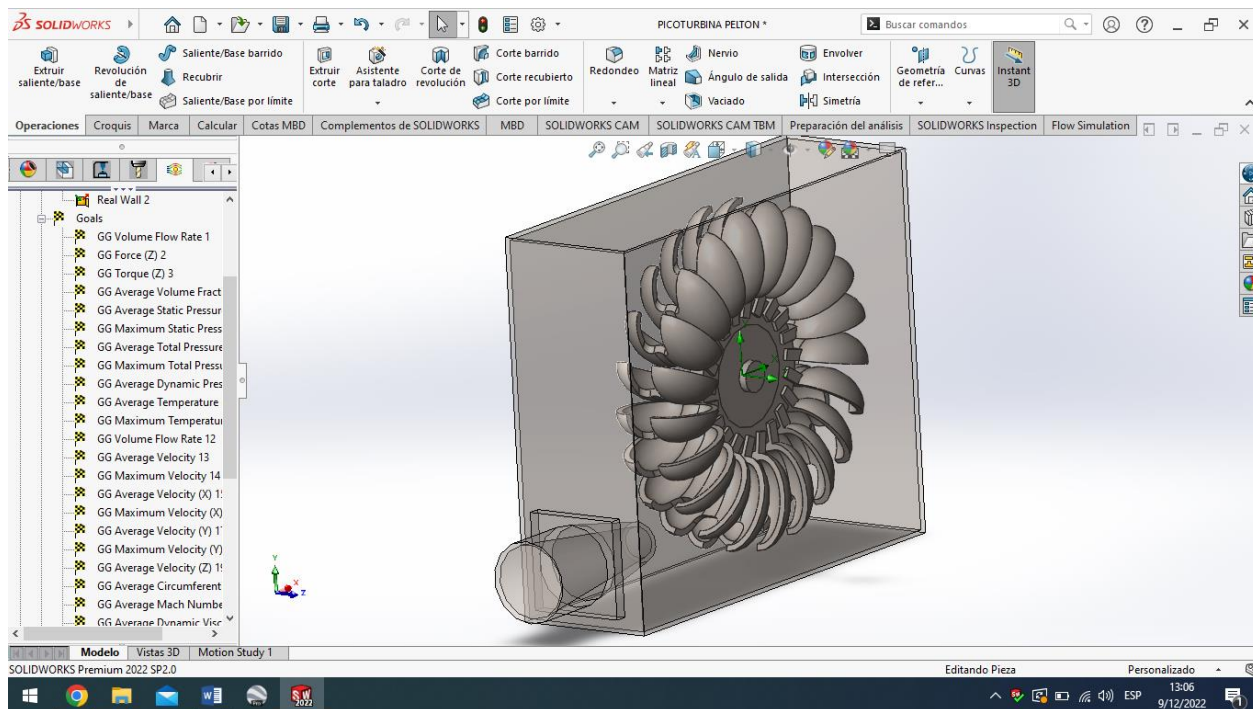


Nota. Adaptación de la Simulación con Solidworks. (Elaboración propia)

Para la configuración del modelo también se requiere de seleccionar los “goals” o metas a calcular para el estudio CFD como, por ejemplo: Volume Flow Rate, Force (axis Z), Torque (axis Z), Volume Fraction of Water, Static Pressure, Maximum Static Pressure, Temperature (Fluid), Volume Flow Rate, Maximum Turbulent Energy, etc. Ver figura 14.

Figura 14

Goals (Objetivos o Metas)



Nota. Adaptación de la Simulación con Solidworks. (Elaboración propia)

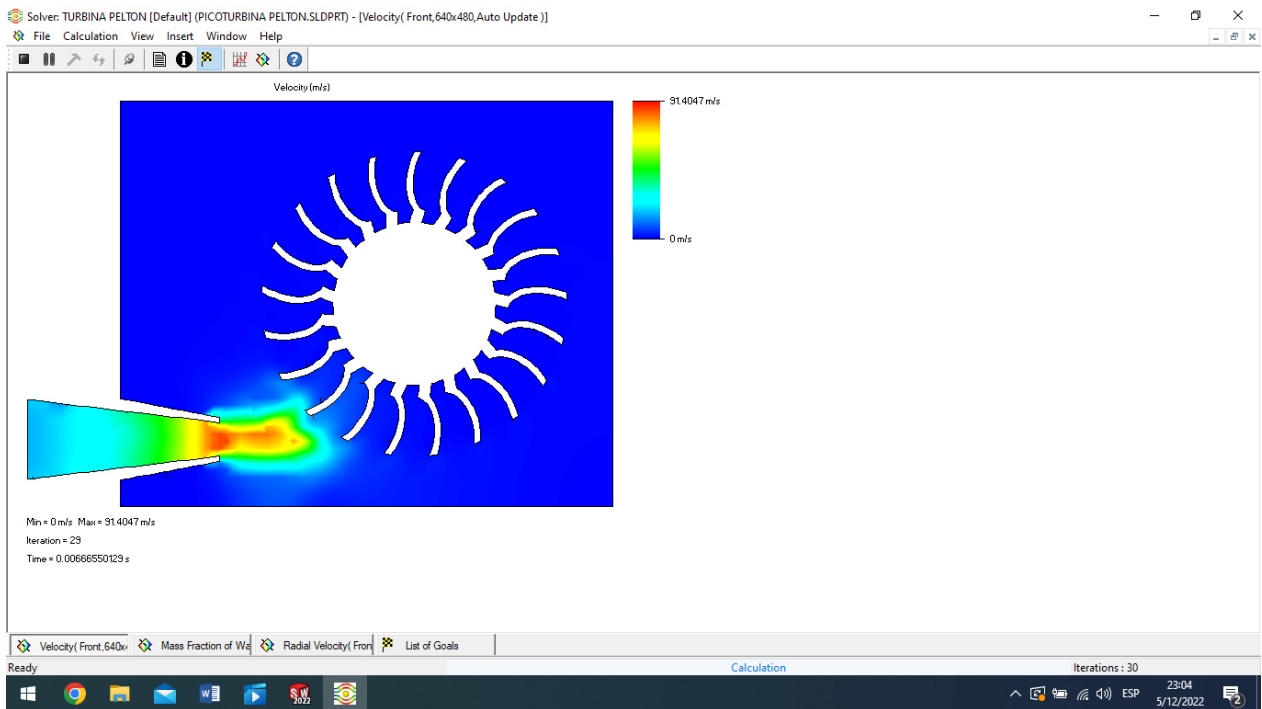
4.5.6 Examinar los resultados del modelo

Verificar que el comportamiento físico obtenido se cumpla en contra parte con los métodos teóricos. Aquí se pueden realizar gráficos 2D y 3D, así como también gráficos de isolíneas, volumen y análisis estadísticos en comparativa con el método teórico. Ver figura 15, 16, 17, 18, 19 y 20.

Resultados de la simulación:

Figura 15

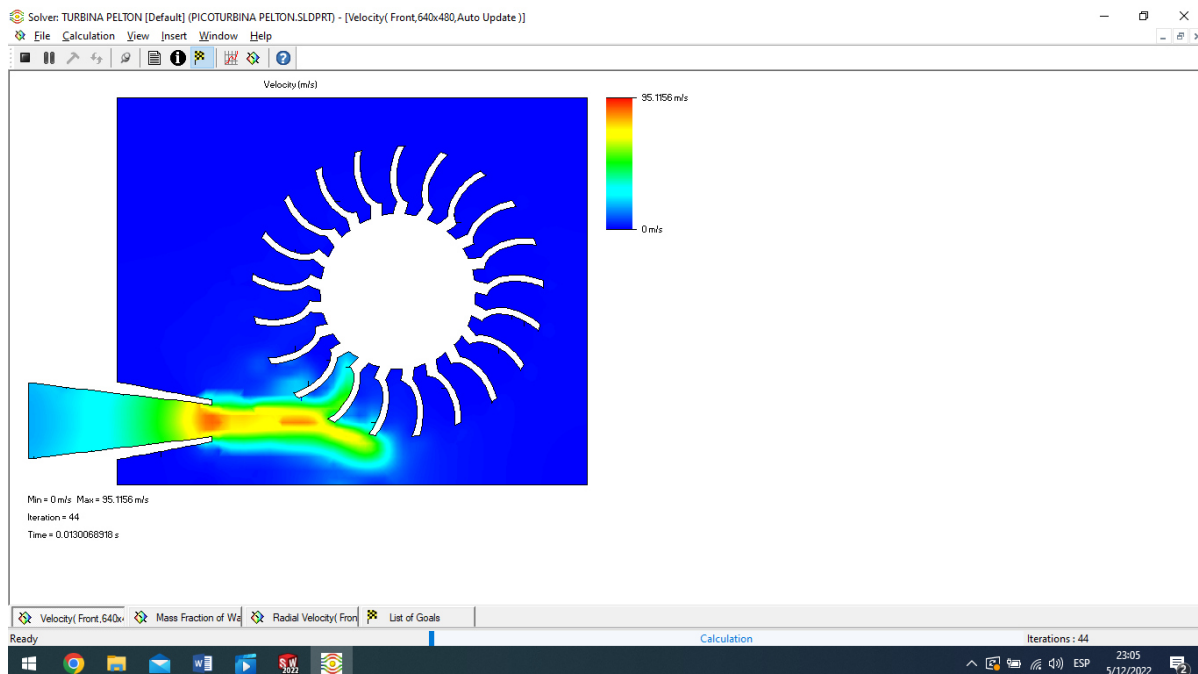
Simulation in progress - Velocity (iteration #29) (Simulación en progreso – Velocidad Iteración #29)



Nota. Adaptación de la Simulación con Solidworks. (Elaboración propia.)

Figura 16

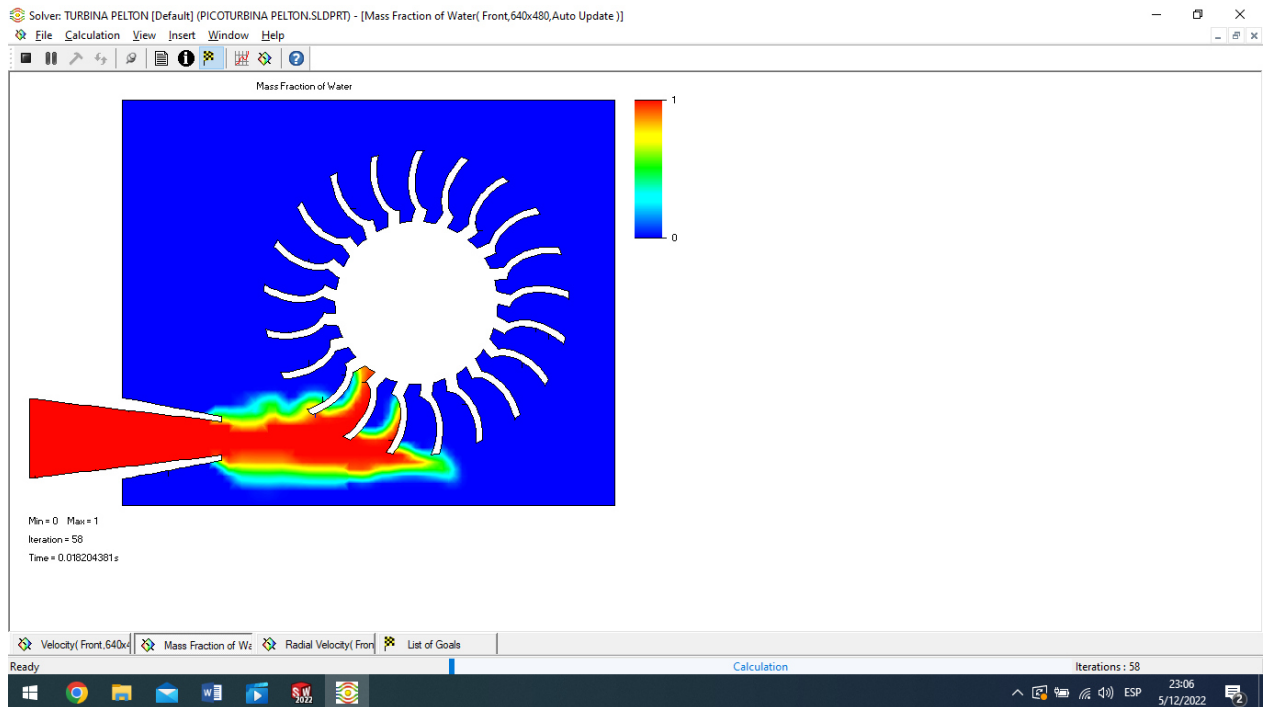
Simulation in progress – Velocity (iteration #44) (Simulación en progreso – Velocidad Iteración #44)



Nota. Adaptación de la Simulación con Solidworks. (Elaboración propia.)

Figura 17

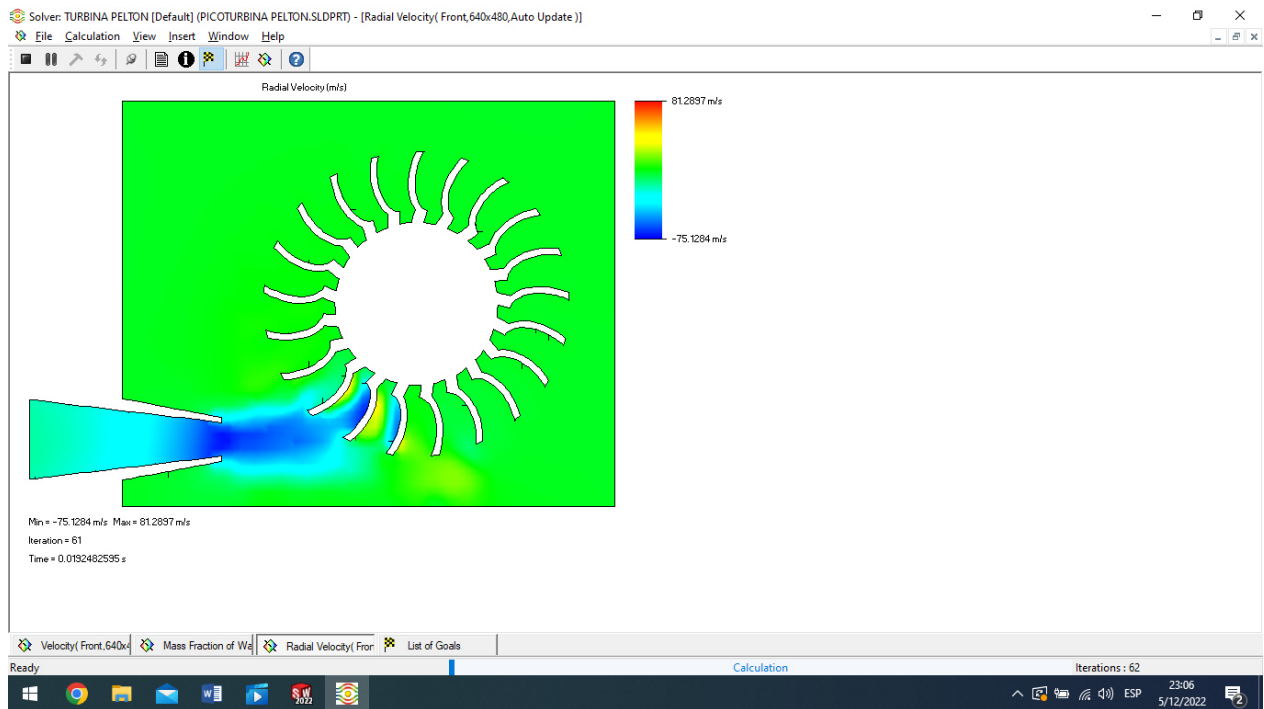
Simulation in progress – Mass Fraction of Water (iteration #58) (Simulación en progreso – Fracción de masa de agua Iteración #58)



Nota. Adaptación de la Simulación con Solidworks. (Elaboración propia.)

Figura 18

Simulation in progress – Radial Velocity (iteration #61) (Simulación en progreso – Velocidad radial Iteración #61)

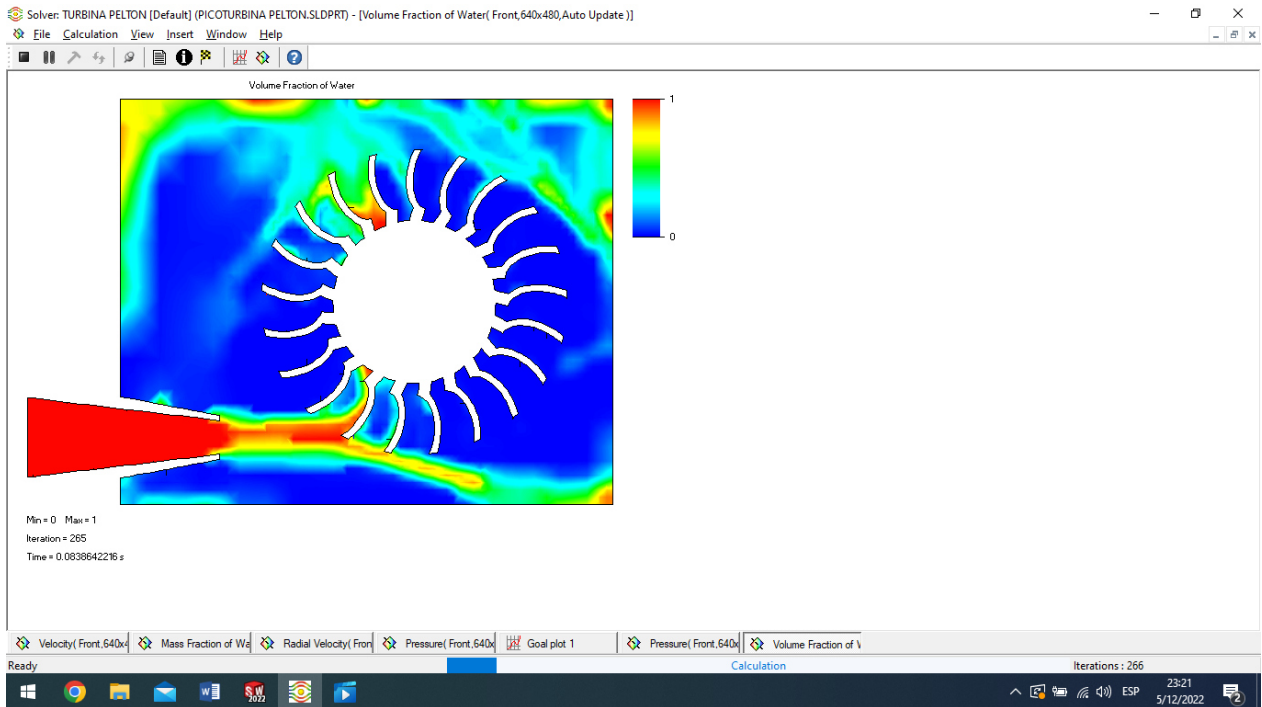


Nota. Adaptación de la Simulación con Solidworks. (Elaboración propia.)

Figura 19

Simulation in progress – Volume Fraction of Water (iteration #265) (Simulación en progreso

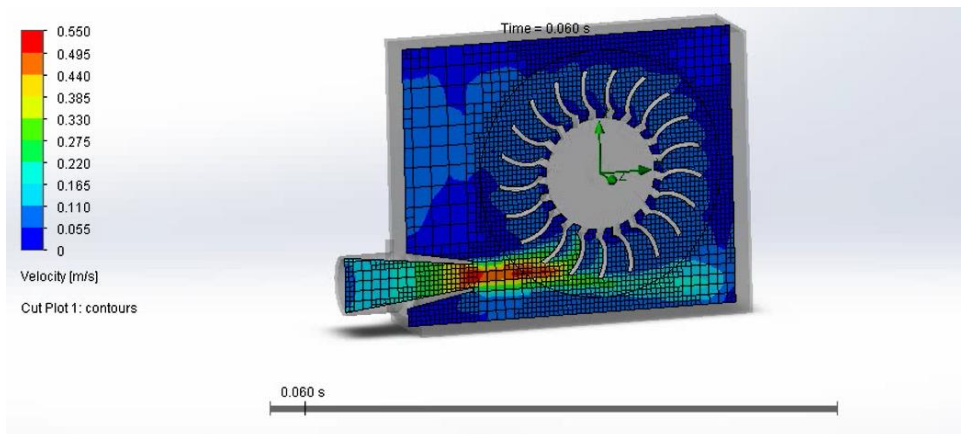
Fracción de masa de agua – Iteración #265)



Nota. Adaptación de la Simulación con Solidworks. (Elaboración propia.)

Figura 20

Simulation in progress – Animation 2 of Velocity (Simulación en progreso – Animación 2)



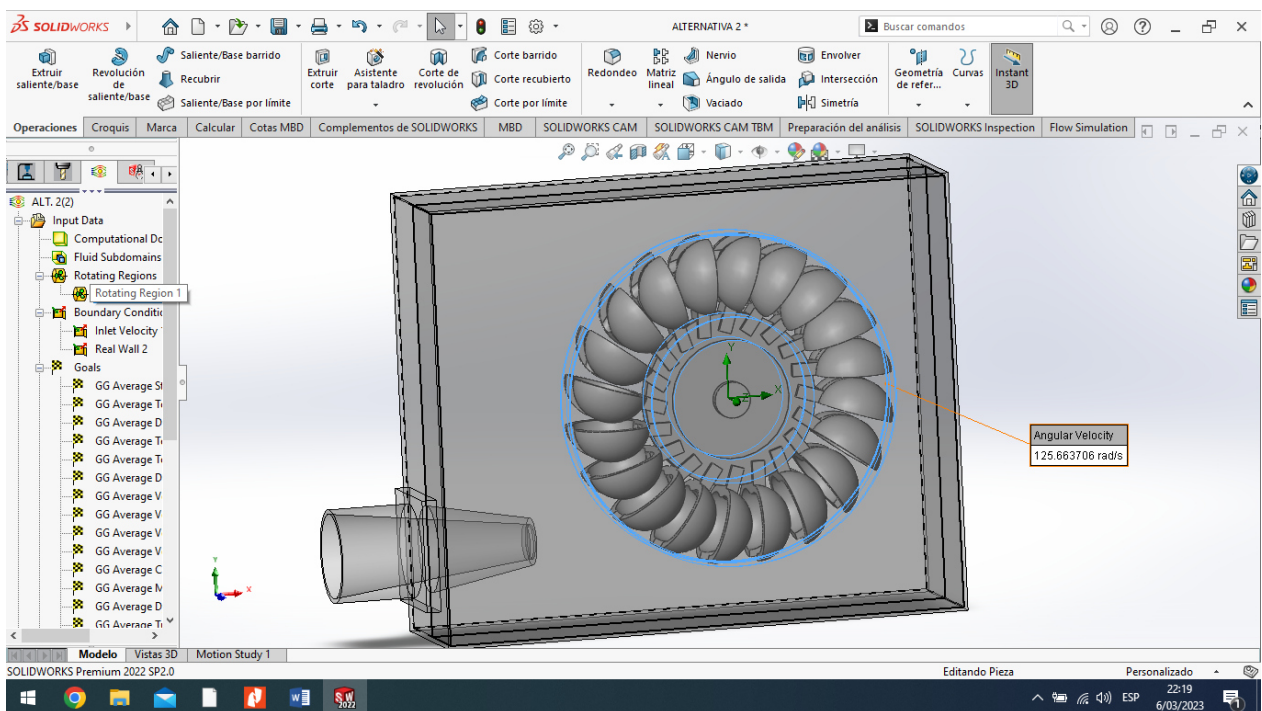
Nota. Adaptación de la Simulación con Solidworks. (Elaboración propia.)

Simulación para la propuesta 2

Al considerar un menor número de pares de polos dio como resultado una mayor velocidad angular, obteniendo un valor de 1200 rpm a una velocidad angular $\omega = 125.66 \text{ rad/s}$. Ver figura 21.

Figura 21

Rotating Regions 1 (Regiones Rotativas)



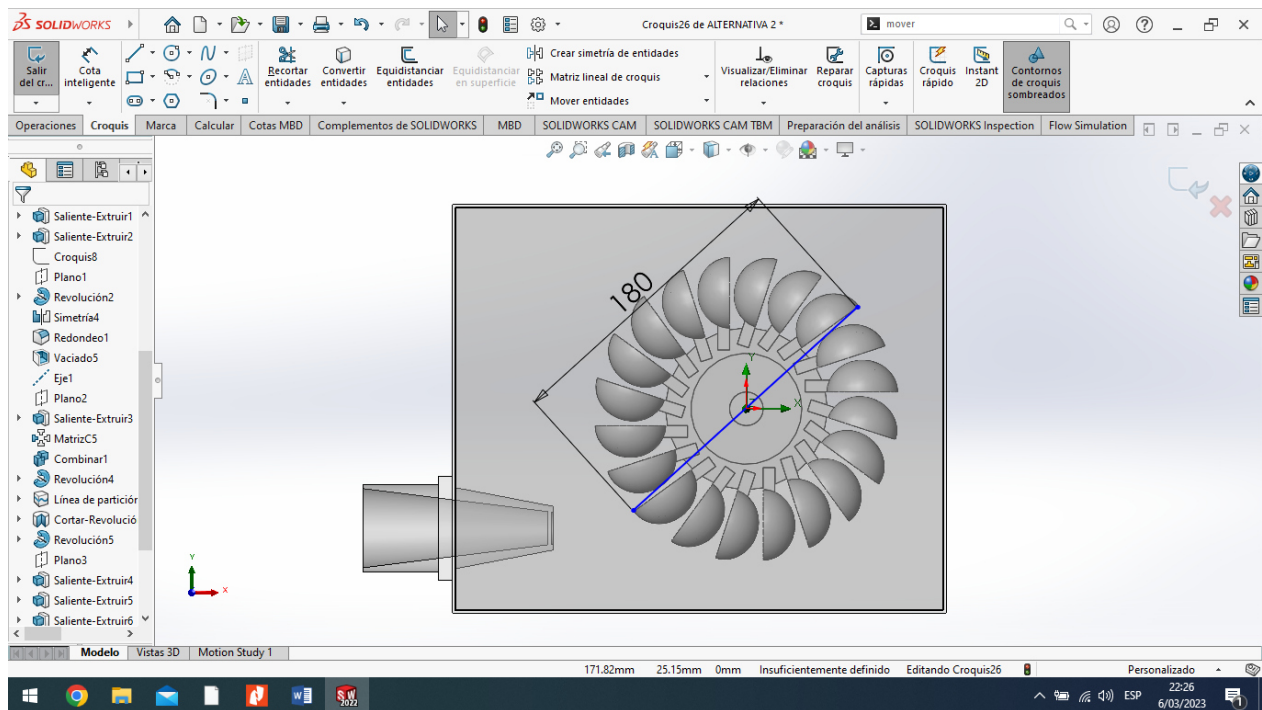
Nota. Adaptación de la Simulación con Solidworks. (Elaboración propia)

También se modificó el número de álabes o cucharas, el cual se redujo a 20 unidades.

Adicionalmente se obtuvo un menor tamaño de rodete, específicamente $D = 12$ cm. Ver figura 22.

Figura 22

Change Geometry – Cambio en la geometría (número de álabes y diámetro del rodete)



Nota. Adaptación de la Simulación con Solidworks. (Elaboración propia)

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Análisis trade-off

En ingeniería el análisis trade-off es un análisis comparativo entre 2 o más alternativas o propuestas que permiten evaluar cualidades como, por ejemplo: técnicas, económicas, sociales, medio ambientales, de seguridad, viabilidad, etc. Dicha evaluación va permitir discernir y optar por la alternativa que cuente con una mayor valoración de acuerdo a las cualidades evaluadas.

Para este caso en particular se estudia cualidades técnicas y económicas por lo tanto se realiza un trade-off de las cualidades técnico-económicas de las dos propuestas.

5.1.1 Análisis técnico

Para la realización del trabajo de tesis se tuvo como consideraciones técnicas el número de pares de polos del generador. Esto cambia significativamente la velocidad angular del generador y de la picoturbina (rpm), la geometría de las picoturbinas (diámetro de rodete, número de álabes, medida de álabes)

A continuación, se presentan los cuadros comparativos, las curvas y los gráficos de operación en cada propuesta.

Propuesta 1

Número de pares de polos del generador: 18

Iteraciones [Iterations]: 1920

Tiempo de simulación: 4 horas y 35 minutos.

Como se observa los valores en la tabla 4 no existe una diferencia significativa en relación a los valores teóricos, que luego se compara con la tabla de la propuesta 2.

Tabla 4

Valores o Goals arrojados por el software Solidworks propuesta 01

PROPUESTA 1	Unit	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
Temperatura	[K]	291.120919	286.754105	295.487733
Velocidad angular	[rad/s]	20.943951	20.6297918	21.2581103
Torque (Z)	[N*m]	18.542	17.985	19.321
Potencia	[W]	388.34274	371.026805	410.727949

Nota. El programa Solidworks exportó datos al Excel. (Elaboración propia).

Propuesta 2

Número de pares de polos del generador: 03

Iteraciones [Iterations]: 8993

Tiempo de simulación: 8 horas y 35 minutos.

Como se observa los valores en la tabla 5 no existe una diferencia significativa en relación a los valores teóricos, se observa que se tiene potencias de hasta 6% arriba en relación a la propuesta 1.

Tabla 5

Valores o Goals arrojados por el software Solidworks propuesta 02:

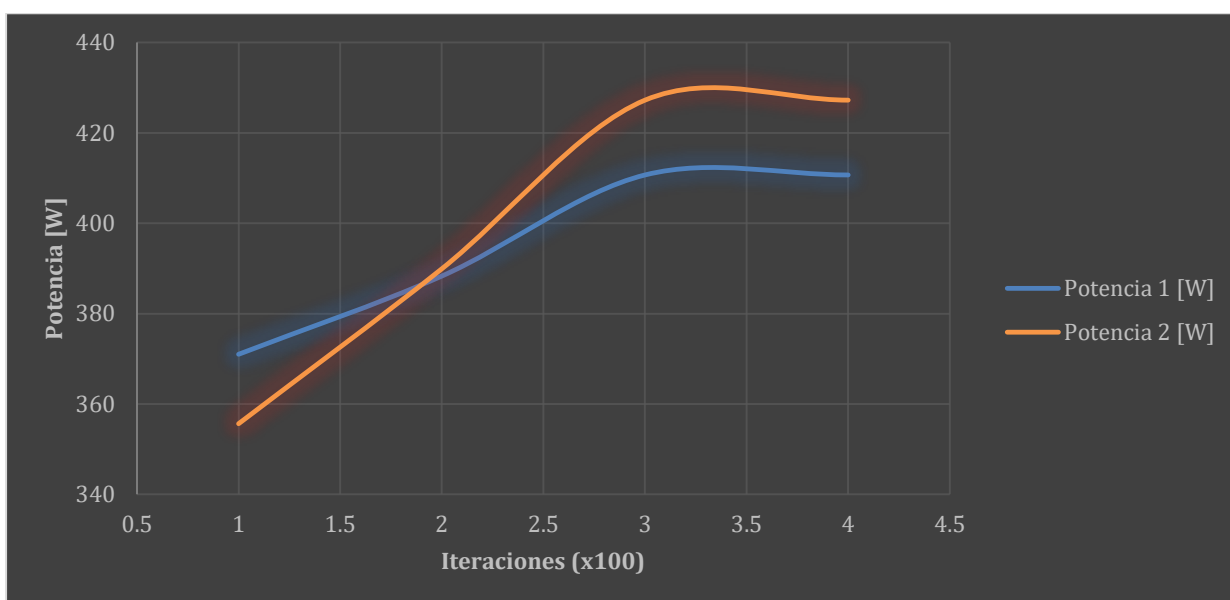
PROPUESTA 2	Unit	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
Temperatura	[K]	297.822984	295.341125	300.304842
Velocidad angular	[rad/s]	125.663706	124.616509	126.710904
Torque (Z)	[N*m]	3.103	2.854	3.372
Potencia	[W]	389.93448	355.655516	427.269167

Nota. El programa Solidworks exportó datos al Excel. (Elaboración propia).

En la figura 23, se puede observar que la propuesta 2, la picoturbina con un alternador de 3 pares de polo entrega una potencia mayor en 4% con respecto a la propuesta 1. En el análisis económico se detalla la diferencia entre tener una picoturbina a mayor y menor velocidad angular ya que esto influye en la cantidad de veces que se realizarían los mantenimientos preventivos y posibles correctivos al sistema.

Figura 23

Gráfico comparativo de potencias



Nota. Del programa Solidworks exportó datos al Excel y se elaboró el gráfico. (Elaboración propia).

En el gráfico 2, trade-off económico se visualiza el resumen técnico entre ambas propuestas.

Es de esperarse el cambio en la velocidad angular y es donde radica la diferencia mayor.

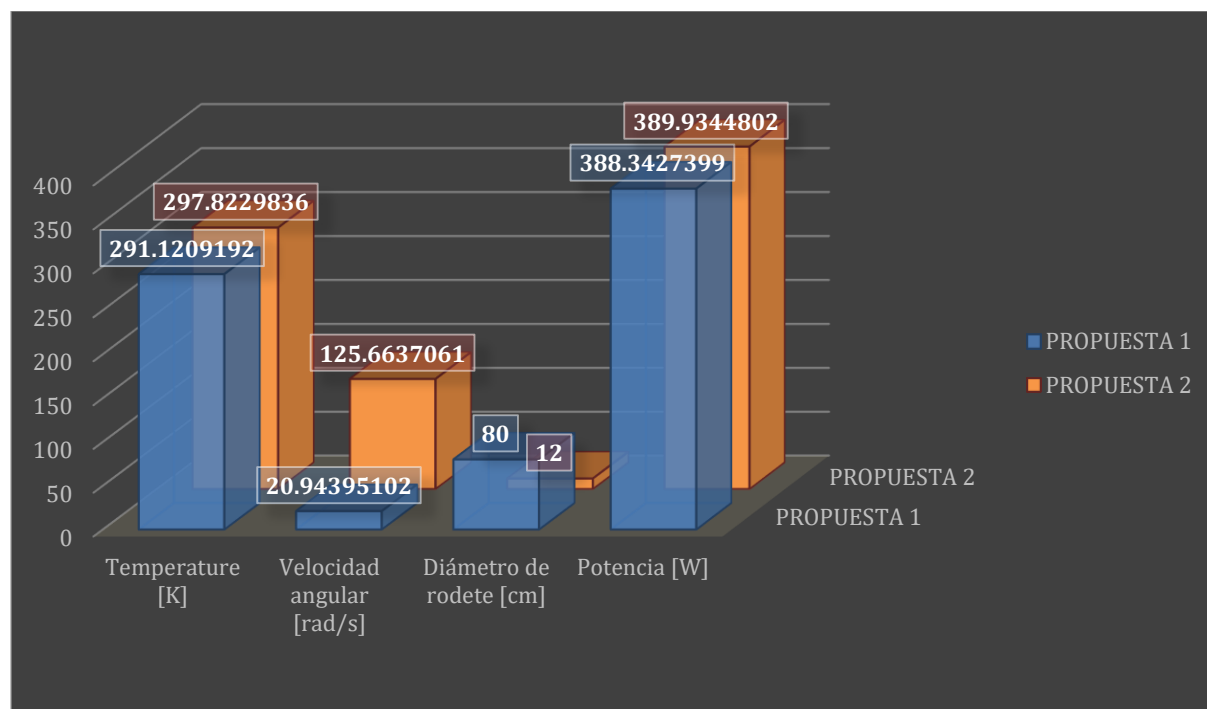
Velocidad angular promedio de la propuesta 1: 20.94 rad/s.

Velocidad angular promedio de la propuesta 1: 125.66 rad/s.

Al tener una mayor velocidad y menor diámetro de rodete aumentan las pérdidas por fricción que se traduce en un mayor aumento de temperatura, mermando la eficiencia de la turbina. Ver figura 24.

Figura 24

Trade-off técnico



Nota. Del programa Solidworks exportó datos al Excel y se elaboró el gráfico. (Elaboración propia).

5.1.2 Análisis económico

En el aspecto económico se analizan las 02 propuestas a nivel Budget (presupuestal), considerando Capex, Opex y VPN.

Costo Capital o CAPEX

Son los gastos de capital, tangibles. Los precios de equipos y materiales para estas bases de cálculo fueron obtenidos a partir de base de datos de experiencia propia y cotizaciones Budget recientes (principalmente turbinas y generadores).

Definición de Costos:

- Los costos directos son aquellos como la mano de obra, materiales y equipos permanentes asociados con la construcción física de la facilidades y utilidades.
- Los costos indirectos del proyecto incluyen todos los costos asociados con el desarrollo del proyecto y aquellos en los que incurre el propietario, los ingenieros y consultores en la ingeniería, diseño, procura, construcción y comisionamiento de un proyecto.

Los costos capitales considerados para la presente evaluación son los siguientes:

- ✓ Costo por procura de materiales.
- ✓ Costo por mano de obra de contratista de montaje.
- ✓ Costos indirectos del contratista de obra (movilización, talleres, oficinas, alimentación, alojamiento, etc.)
- ✓ El metrado de accesorios considera un adicional de 5% a su cantidad.
- ✓ Costo por transporte de materiales a site.

Costos operativos u OPEX

Son los gastos de por operación y mantenimiento.

Los cuales asumen los siguientes valores principales:

- ✓ Tasa de retorno.
- ✓ Costo de energía.
- ✓ Costo por mantenimiento anual: 10% del costo del equipo.
- ✓ Costos indirectos (debido al nivel de ingeniería), tales como costos asociados a ingeniería, EPCM,
- ✓ Comisionamiento.

Disponibilidad del Mercado

La información de precios de los principales equipos/accesorios ha sido facilitada por proveedores a nivel Budget, de acuerdo con las condiciones actuales del mercado. Los costos de materiales y servicios de construcción se han basado en la experiencia propia y de empresas del rubro.

Las condiciones del mercado son susceptibles a los impactos de la demanda y disponibilidad al momento de contratarse para la ejecución de este proyecto y podrían presentar variaciones, por ese motivo se dispone de factores de crecimiento y una contingencia que deberá ser revisada en conjunto con las estrategias de contratación y procura para disminuir su impacto.

Como se observa en la tabla 6 el presupuesto de la picoturbina pelton de la propuesta 1 es de **S/ 12,567.00**, considerando mantenimiento por 5 años, frecuencia de mantenimiento 1 por año debido a que se tiene un generador en 200 rpm que protege en cierta medida el rodete a los picos de velocidad.

Tabla 6

Presupuesto o budget del proyecto de la propuesta 1

PRESUPUESTO O BUDGET DEL PROYECTO DE PICOTURBINA TIPO PELTON					
1) PROPUESTA 1					
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.(S/.)	P.T.(S/.)
1.01	PICOTURBINA PELTON DIÁMETRO DE RODETE: 80 cm, MATERIAL: Acero Inoxidable AISI 303 MARTENSÍTICO	1	UND	S/ 1,500.00	S/ 1,500.00
1.02	GENERADOR SÍNCRONO DE 18 PARES DE POLOS, IP 44	1	UND	S/ 2,500.00	S/ 2,500.00
1.03	MATERIALES (CABLEADO, PERNOS, ETC)	1	GLB	S/ 500.00	S/ 500.00
1.04	DISEÑO DE INGENIERÍA A NIVEL EPCM	1	UND	S/ 600.00	S/ 600.00
1.05	INSTALACIÓN DEL SISTEMA PICOTURBINA- GENERADOR (MANO DE OBRA, VIÁTICOS, ETC)	1	GLB	S/ 3,000.00	S/ 3,000.00
1.06	MANTENIMIENTO ANUAL	5	UND	S/ 510.00	S/ 2,550.00
Subtotal					S/ 10,650.00
I.G.V. (18%)					S/ 1,917.00
TOTAL					S/ 12,567.00

Nota. Elaboración propia

Como se observa en la tabla 7 el presupuesto de la picoturbina pelton de la propuesta 2 es de S/ 10,926.00, considerando mantenimiento por 5 años, frecuencia de mantenimiento 2 por año debido a que se tiene un generador en 1200 rpm.

Tabla 7

Presupuesto o budget del proyecto de la propuesta 2

PRESUPUESTO O BUDGET DEL PROYECTO DE PICOTURBINA TIPO PELTON					
2) PROPUESTA 2					
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.(S/.)	P.T.(S/.)
2.01	PICOTURBINA PELTON DIÁMETRO DE RODETE: 20 cm, MATERIAL: Acero Inoxidable AISI 303 MARTENSÍTICO	1	UND	S/ 850.00	S/ 850.00
2.02	GENERADOR SÍNCRONO DE 3 PARES DE POLOS, IP 44	1	UND	S/ 980.00	S/ 980.00
2.03	MATERIALES (CABLEADO, PERNOS, ETC)	1	GLB	S/ 500.00	S/ 500.00
2.04	DISEÑO DE INGENIERÍA A NIVEL EPCM	1	UND	S/ 800.00	S/ 800.00
2.05	INSTALACIÓN DEL SISTEMA PICOTURBINA- GENERADOR (MANO DE OBRA, VIÁTICOS, ETC)	1	GLB	S/ 3,000.00	S/ 3,000.00
2.06	MANTENIMIENTO ANUAL	10	UND	S/ 313.00	S/ 3,130.00
				Subtotal	S/ 9,260.00
				I.G.V. (18%)	S/ 1,666.80
				TOTAL	S/ 10,926.80

Nota. Elaboración propia

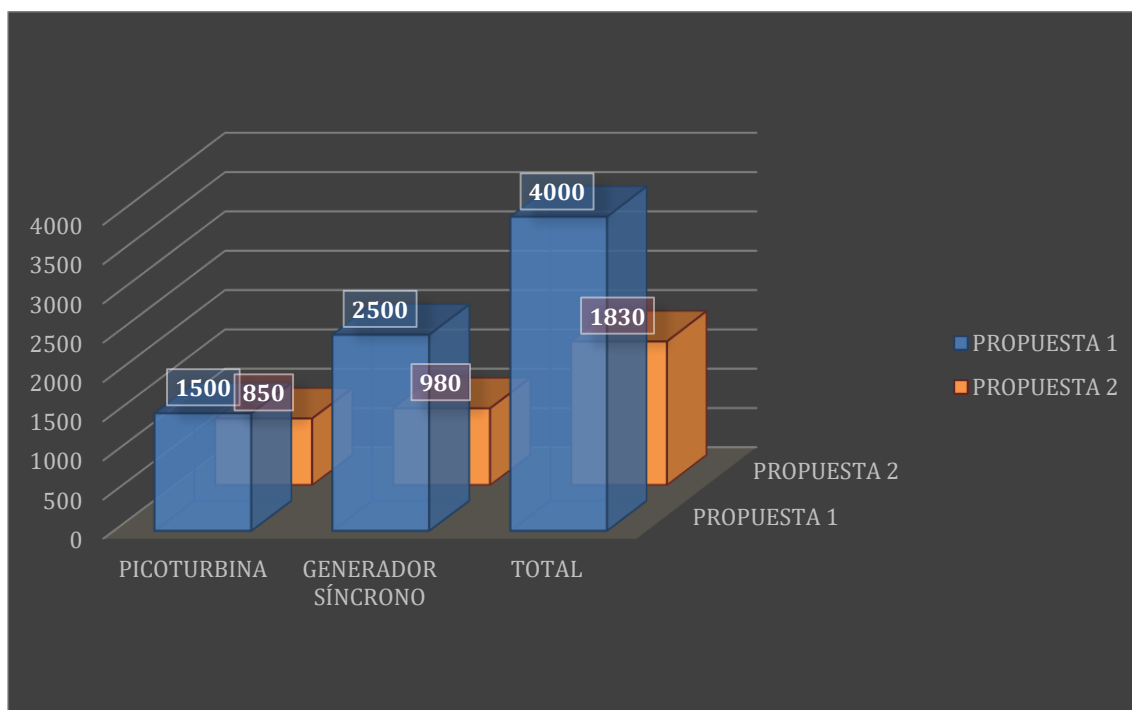
5.1.3 Decisión

Como se aprecia en la figura 25, existe una diferencia de más del doble (219 %) en costos de las picoturbinas y los generadores entre ambas propuestas.

- Diferencia de costos en las picoturbinas: Esto es debido a que en la propuesta 2 se tiene un diámetro de rodete 4 veces más pequeño (propuesta 1: 80 cm, propuesta 2: 20 cm).
- Diferencia de costos en los generadores: Esto es debido a que en la propuesta 1 se tiene un alternador de 18 pares de polo en contraparte con la propuesta 2 con un generador de 3 pares de polo lo que no solo es un generador más pequeño si no también más económico.

Figura 25

Gráfico comparativo económico de las picoturbinas y los generadores



Nota. Se elaboró el gráfico con el programa Excel con el presupuesto de cada propuesta.

(Elaboración propia).

Se realizó el cálculo de CAPEX INICIAL y OPEX ACTUAL con el VAN (valor actual neto) en decir traer los precios al presente para calcular el VPN (valor presente neto) considerando una tasa del 10% (según el criterio económico).

Se realizó el trade-off económico de ambas propuestas, en donde se decidió por la propuesta 2 con un valor de 10.93 en frente a 12.57 de la propuesta 1. Ver tabla 8 y figura 26.

Tabla 8

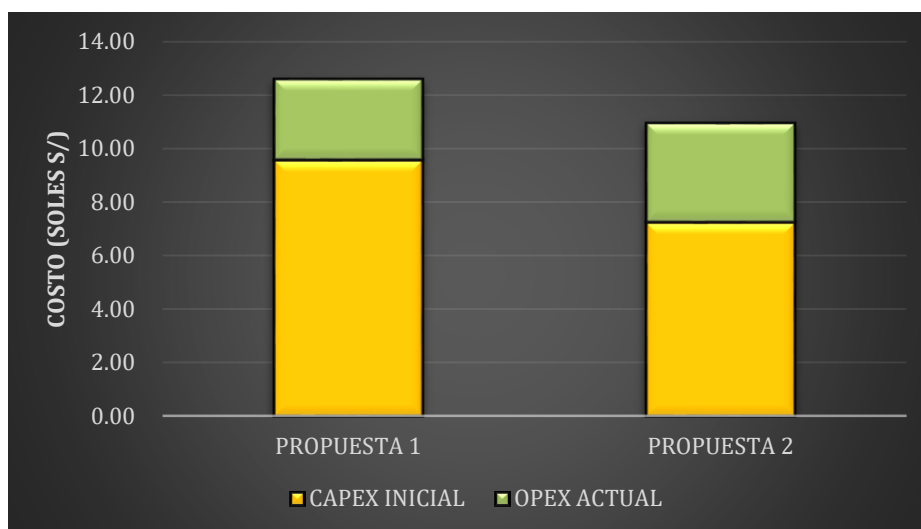
Resumen económico

	PROPUESTA 1	PROPUESTA 2
CAPEX INICIAL	9.56	7.23
OPEX ACTUAL	3.01	3.69
VPN	12.57	10.93

Nota. Elaboración propia

Figura 26

Trade-off económico



Nota. Del programa Solidworks exportó datos al Excel y se elaboró el gráfico. (Elaboración propia).

Se presenta en la tabla 9 un cuadro de ventajas y desventajas de ambas propuestas.

Tabla 9

Cuadro de ventajas y desventajas de ambas propuestas.

Ventajas / Desventajas	Propuesta 1	Propuesta 2
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Menor Opex ✓ Diseño seguro y ✓ Diseño seguro y cumple las necesidades técnicas 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Menor VPN ✓ Menor Capex ✓ Aporta 4% más en potencia generada.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mayor Capex (30% mayor) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mayor Opex actual, debido a la mayor velocidad angular.

Nota. Elaboración propia

CONCLUSIONES

Se realizó el diseño y simulación la picoturbina Pelton para abastecer de energía eléctrica al comedor popular “Matiaza Rimachi” situado en el distrito de Valera, provincia de Bongará, departamento de Amazonas en la cual se realizaron cálculos para 2 propuestas, una con la picoturbina accionada con un generador de 18 pares de polos y la otra con un generador 3 pares de polos.

La potencia demandada se calculó en base al gasto eléctrico promedio de un comedor popular, con ello se obtuvo una potencia requerida de $P = 398.5 \text{ W}$. Utilizando la ecuación de la potencia absorbida se calculó el caudal requerido de la picoturbina Pelton, el cual quedó establecido en 3.39 l/s.

Para la altura neta se usaron los valores de cotas de alturas con el programa Google Earth Pro y se consideró como criterio de diseño el valor de 15 m. Con las ecuaciones de velocidad del inyector o chorro se obtuvo una velocidad de chorro de 16.64 m/s. Con los criterios de diseño y las ecuaciones teóricas se diseñó la picoturbina de ambas propuestas.

Al reducir el número de pares de polo del alternador, aumentó la velocidad angular, redujo el diámetro del rodete, redujo el número de cucharas y la geometría de las mismas. Con el diseño ya elaborado de ambas propuestas, se usó el software Solidworks y su extensión Flow-Simulation, para realizar la simulación donde se evidenció una diferencia con los valores teóricos menor al 5% lo cual tiene un alto grado de convergencia y confiabilidad.

Finalmente, se realizó un análisis comparativo técnico económico entre ambas propuestas. En donde la reducción del número de pares de polo tuvo un impacto económico ya que la picoturbina y el generador de la propuesta 2 cuesta un poco menos de la mitad de la propuesta 1. A pesar de que el costo operacional actual de la propuesta 1 es menor. Se opta por la propuesta 2 ya que cuenta con un valor presente neto relativamente menor.

RECOMENDACIONES

- El diseño de la picoturbina Pelton sirve para una posterior construcción, para la cual se recomienda usar materiales de acero inoxidable MARTENSÍTICO, aunque a pesar de que sea un material costoso para el rodete en contra parte a ello el fin es darle una mayor vida útil. AISI 303 MARTENSÍTICO, acero inoxidable de cromo- carbono y níquel con aleación de azufre, que facilita su mecanización por arranque de virutas, calidad especial para trabajos en máquinas automáticas, anticorrosivo.
- Para una simulación con más detalle se podría usar otros softwares que son de paga o costo, adicionalmente se recomienda usar computadores con procesadores que cuenten con mejores prestaciones computacionales.
- Para otro estudio de investigación experimental se recomienda elaborar un prototipo físico de laboratorio donde se podría realizar dicho estudio el cual se podrían obtener también datos experimentales el cual permite una mejor comparación con el prototipo virtual.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Ahmed Haidar, M., Mohd Senan, F., Abdulhakim Noman, & Taha Radman. (2012). Utilization of pico hydro generation in domestic and commercial loads. *ScienceDirect*, 16, 518-524.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.017>
- Cortés, M. E., & Iglesias, M. (2004). *Generalidades sobre Metodología*. D.R Universidad Autónoma del Carmen.
- DePeru. (s.f.). *Creación del distrito de Valera (Bongará)*. DePeru. Consultado el 12 de Febrero de 2023. <https://www.deperu.com/calendario/2075/creacion-del-distrito-de-valera-bongara>
- Ferrada Sepúlveda, L. A. (2012). *Diseño de rodete de turbina hidráulica tipo Pelton para microgeneración [Tesis de licenciatura, Universidad de Chile]*. Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112366/cf-ferrada_ls.pdf
- García Ortiz, A. B. (2017). *Modelo de picoturbina Pelton para generación de energía eléctrica en zonas rurales [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]*. Repositorio Institucional.
<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3934/GarciaOrtiz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García Pérez, M. (2020). *Turbomáquinas-Turbinas hidráulicas*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Gardea Villegas, H. (1990). *Aprovechamientos hidroelectricos y de bombeo [fotografía]* (Primera edición ed.). Trillas.

Gil Bancallan, L. (2017). *Diseño de un módulo de simulación de generación hidroeléctrico utilizando turbinas Pelton y Francis abastecidas por un sistema de recirculación* [Tesis de Licenciatura, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio Institucional.

http://tesis.usat.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/20.500.12423/1131/TL_GilBancallanLuisOrlando.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gobierno regional de Amazonas. (2014). *Mapa de cuencas hídricas*.

Jara Tirapegui, W. (1998). *MAQUINAS HIDRAULICAS [fotografía]* (Primera edición ed.). INIFIM.

Peru Travel. (s.f.). *Atractivo Catarata del Gocta Aguas que cortan la selva*. Peru Travel.

Consultado el 17 de Marzo de 2023. <https://www.peru.travel/es/atractivos/catarata-de-gocta>

Salas, G., Ureña, B., & Villalta, M. (2017). *Diseño y construcción de una pico turbina hidroeléctrica* [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica]. UNIVERSIDAD DE COSTA RICA.

<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/5566/1/42347.pdf>

Sobachkin, A., & Dumnov, G. (2014). *Base numérica de CFD integrada en CAD*. SolidWorks.

Obtenido de

https://www.solidworks.es/sw/docs/Flow_Basis_of_CAD_Embedded_CFD_Whitepaper_ESP.pdf

Sopla, F. (s.f.). *Provincia de Bongara [fotografía]*. Peru Tops Tours:

https://www.perutoptours.com/index01bo_jumbilla.html

Trujillo Guayara, A. M. (2017). *Diseño de una pico central hidroeléctrica en la localidad de Usm, Bogotá* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional.

https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/15273#.XIQ_5EEHoEQ.mendeley

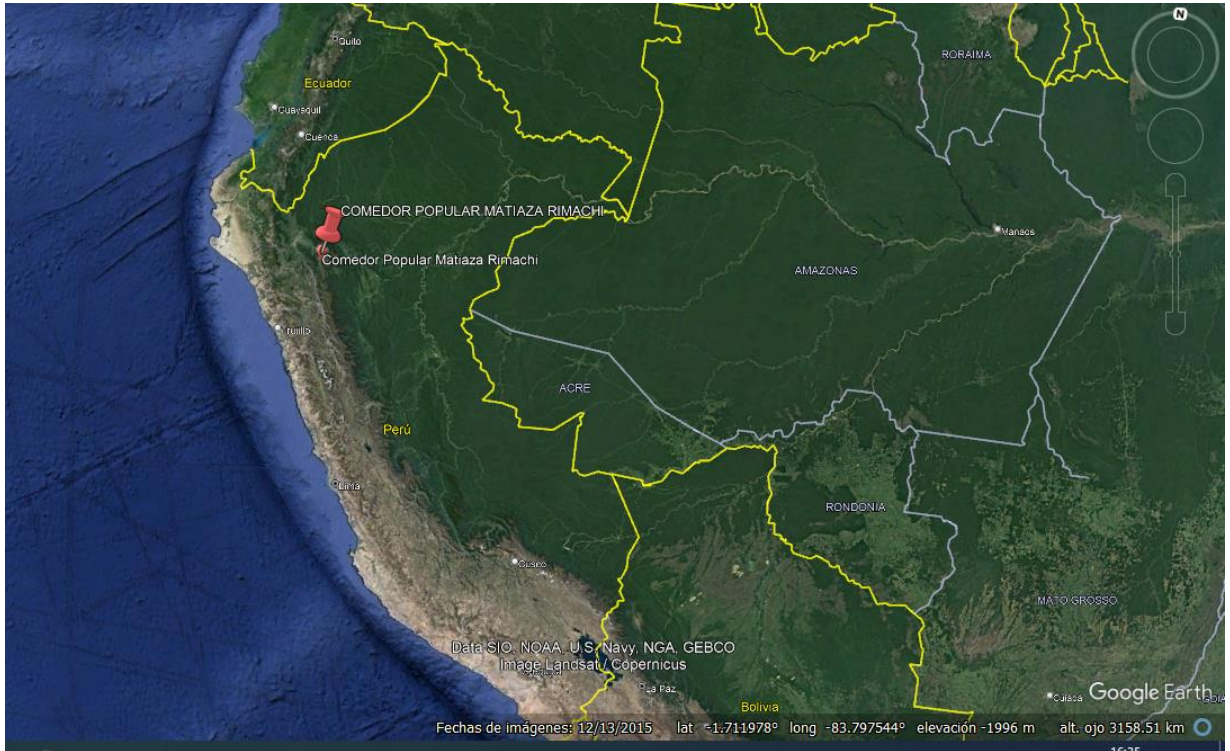
UN. (s.f.). *OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE*. NACIONES UNIDAS Consultado el 24 de agosto de 2022. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>

ANEXOS

Ubicación geográfica

Figura 27

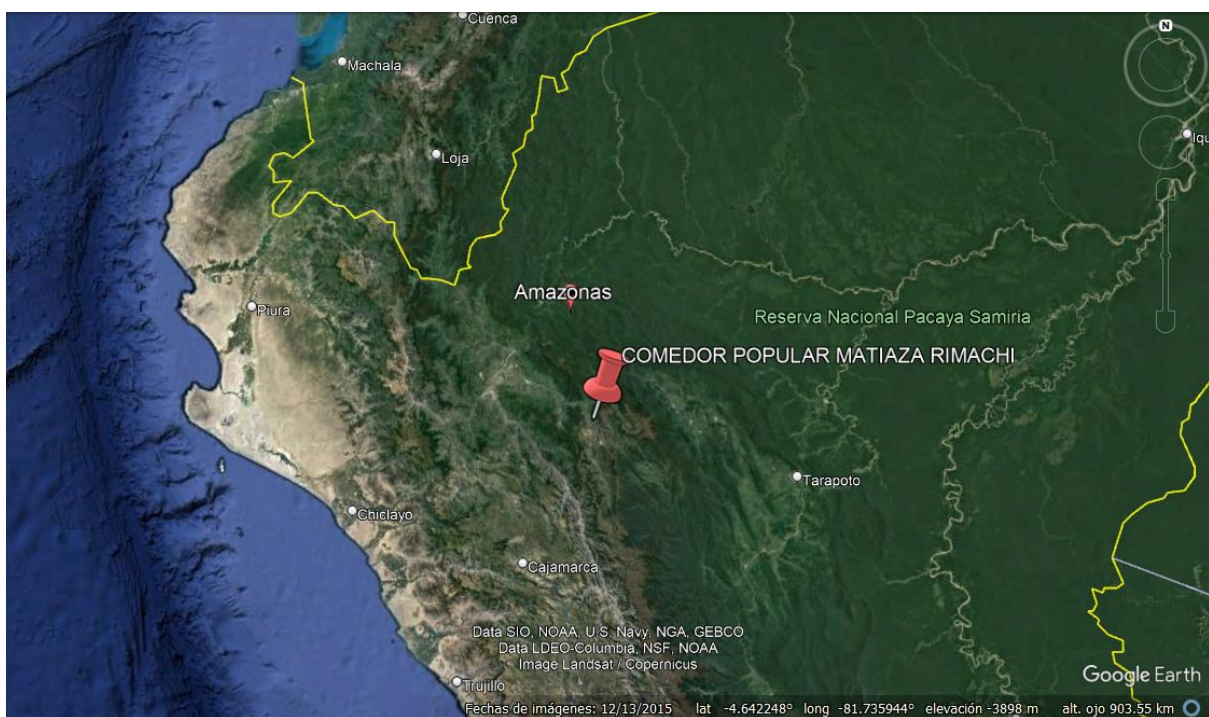
Ubicación geográfica del comedor popular - Perú



Nota. Adaptación del programa Google Earth Pro. (Elaboración propia)

Figura 28

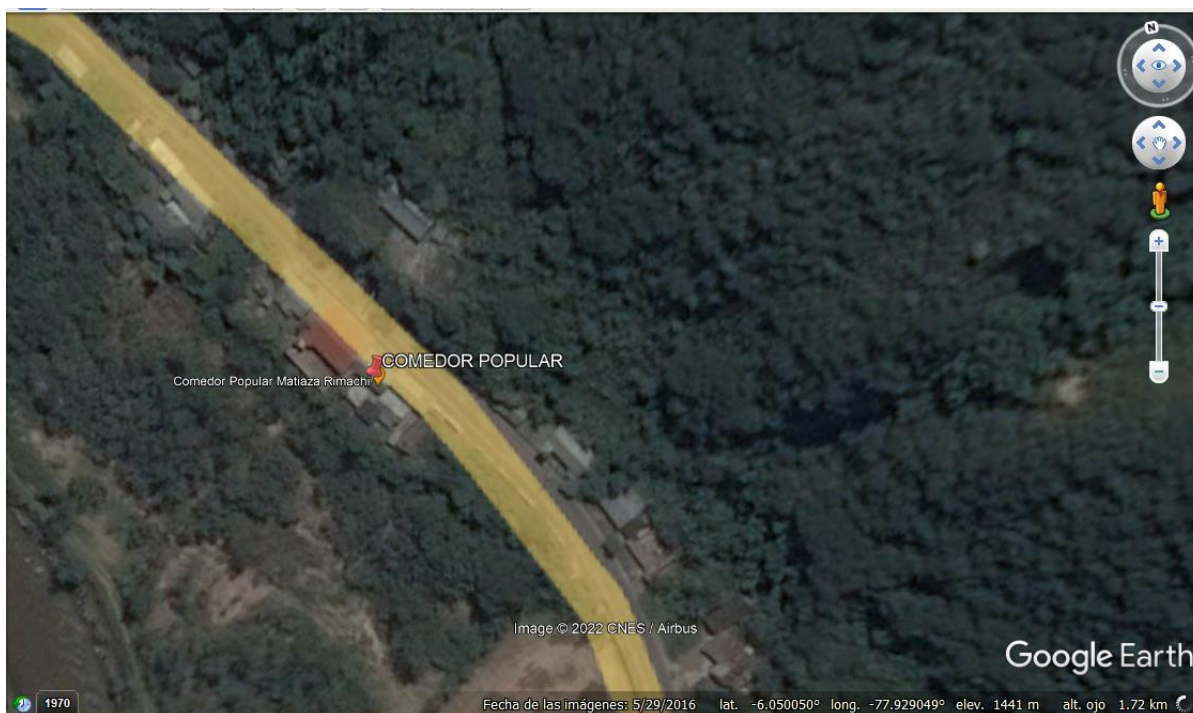
Ubicación geográfica del comedor popular – Amazonas, Perú



Nota. Adaptación del programa Google Earth Pro. (Elaboración propia)

Figura 29

Ubicación geográfica del comedor popular Chachapoyas, Amazonas - Perú



Nota. Adaptación del programa Google Earth Pro. (Elaboración propia)

Reseña del distrito de Valera

Mediante la Ley N° 787 fue creado el distrito de Valera, un 3 de noviembre de 1993 todo esto sucedió mientras gobernaba el presidente Óscar R. Benavides (DePeru, s.f., párrafo primero).

El distrito de Valera podría contar para el año 2024 con aproximadamente con un poco más de 1500 pobladores. Ver figura 30.

Figura 30

Distrito de Valera



Nota. Tomada de (Sopla, s.f.).

Reseña sobre la catarata Gocta

La catara Gocta es una de las cataratas más grandes del mundo (Nº 17 con exactitud), cuenta con casi 800 m de altura en dos etapas lo que la hace poseedora de un gran potencial hidráulico. Se le considera un atractivo turístico ya que permite conectarse con la naturaleza y disfrutar de la flora y fauna de este lugar magnífico. Se puede observar el colibrí de cola de espátula y el grandioso gallito de las rocas (Peru Travel, s.f., párrafo segundo). Ver figura 31.

Figura 31

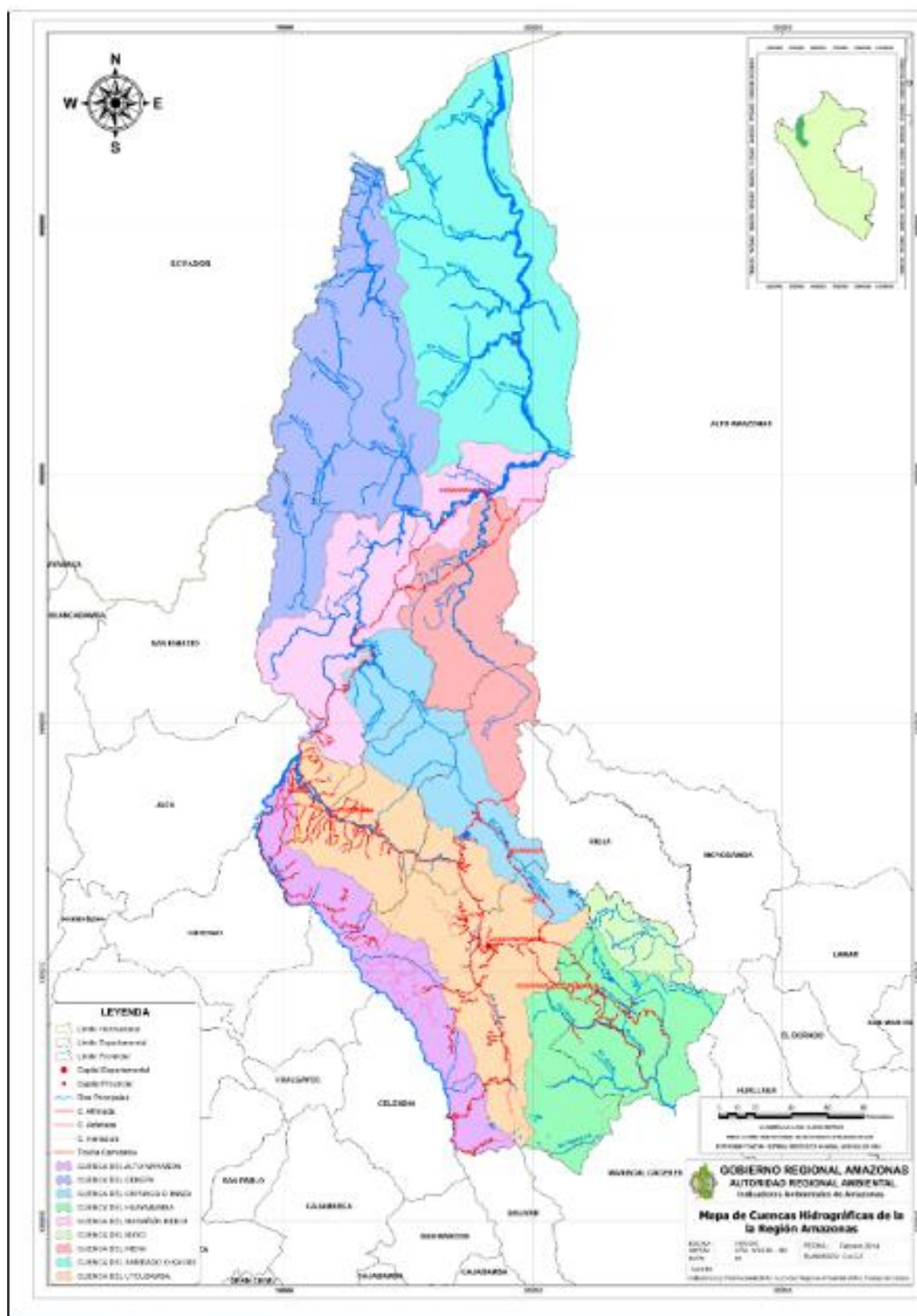
Gallito de las rocas



Nota. Tomada de (Peru Travel, s.f.)

Figura 32

Mapa de Cuencas Hidrográficas de la región Amazonas – Escala 1:900,000. Fecha: Feb 2014



Nota. Tomada de (Gobierno regional de Amazonas, 2014)

Tabla de clasificación de turbinas.

Como se aprecia en la tabla 10 para el pico turbina del presente trabajo de tesis se tiene: para la propuesta 1, un N_s de 4.986 mCV y para la propuesta 2, se tiene un N_s de 29.917 mCV y de altura neta de 15 m, que corresponde a una turbina Pelton de 1 chorro o inyector para ambas propuestas. Se tomó este criterio en contraparte a la tabla de Quantz o la tabla de Zoppetti debido a que la tabla de Humberto Gardea es de corte más conservativa debido a que se está considerando pico turbinas.

Tabla 10

Tabla de Stoll para la determinación del número específico en función de la altura neta.

TURBINA		n_s (unitario)	H (m) máx. admisible
P	De 1 chorro	4 – 35	2 200
E	De 2 chorros	17 – 50	--
L	De 3 chorros	20 – 60	--
T	De 4 chorros	24 – 70	--
O	De 6 chorros	30 – 85	150
N			
MICHELL BANKI		29 – 220	400 – 80
F R A N C I S	Lenta	70	380
		100	220
		150	110
	Normal	200	80
		250	60
	Rápida	300	45
		350	35
	Ultra rápida	400	30
450		25	
KAPLAN y de Hélice		300	70
		500	40
		800	10
		1000	6

Nota. Tomada de (Gardea Villegas, 1990).