

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA



**“Diseño y evaluación de un prototipo de turbina tipo
Pelton para una pequeña planta hidroeléctrica”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN
FÍSICA**

AUTOR: Bach. Encarnación Carlos Rojas

ASESOR: Dr. Alfonso Mendoza Gamarra

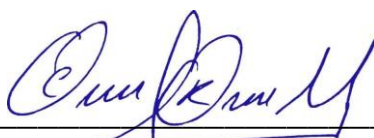
Lambayeque, julio del 2021

TESIS

“Diseño y evaluación de un prototipo de turbina tipo Pelton
para una pequeña planta hidroeléctrica”

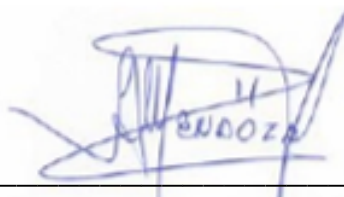
TESIS PARA OPTAR EL TITULO
PROFESIONAL DE LICENCIADO EN FÍSICA

ELABORADOR POR:



Bach. Encarnación Carlos Rojas
Autor

ASESORADO POR:



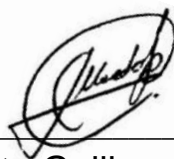
Dr. Alfonso Mendoza Gamarra
Asesor

TESIS

“Diseño y evaluación de un prototipo de turbina tipo Pelton
para una pequeña planta hidroeléctrica”

TESIS PARA OPTAR EL TITULO
PROFESIONAL DE LICENCIADO EN FÍSICA

APROBADO POR EL SIGUIENTE JURADO:



Mg. Ing. Jacinto Guillermo Uceda Pisfil

Presidente



Lic. Fís. Jesús Lusgardo Lozano Alvarado

Secretario



M.Sc. Gustavo Víctor Montalvo Soberón

Vocal



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DECANATO
Ciudad Universitaria - Lambayeque



ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL N° 002-2021-D/FACFyM

Siendo las ...10:00 am del día08 de Enero.....del 2021, se reunieron vía plataforma virtual, <https://meet.google.com/vss-fxgg-mko> . los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada:

“Diseño y Evaluación de un Prototipo de Turbina Tipo Pelton para una pequeña Planta Hidroeléctrica” ...

Designados por Resolución N°422-2017- D/FACFyM de fecha 26 de Abril del 2017.

Con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

Mg. Ing. Jacinto Guillermo Uceda Pisfil Presidente

Lic. Fís. Jesús Luzgardo Lozano Alvarado Secretario

M.Sc. Gustavo Víctor Montalvo Soberón Vocal

La tesis fue asesorada por el Dr. Alfonso Ausberto Mendoza Gamarra, nombrado por Resolución N° 1123-2016 - D/FACFyM de fecha 31 de Octubre del 2016.

El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 326-virtual-2020-D/FACFyM de fecha 30 Diciembre del 2020.

La Tesis fue presentada y sustentada por el Bachiller: Carlos Rojas Encarnación y tuvo una duración de 75 minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el Calificativo de (16) (DIECISEIS) en la escala vigesimal, mención (Bueno).

Por lo que queda apto para obtener el Título Profesional de **Licenciado en Física** de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 11:17 am se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

Mg. Ing. Jacinto Guillermo Uceda Pisfil
Presidente

Lic. Fís. Jesús Luzgardo Lozano Alvarado
Secretario

M.Sc. Gustavo Víctor Montalvo Soberón
Vocal

Dr. Alfonso Ausberto Mendoza Gamarra
Asesor

Declaración jurada de Originalidad

Yo, Bach. Encarnación Carlos Rojas, autor principal, Dr. Alfonso Mendoza Gamarra, asesor del trabajo de investigación “Diseño y evaluación de un prototipo de turbina tipo Pelton para una pequeña planta hidroeléctrica”, declaramos bajo juramento que este trabajo no ha sido plagiado, ni contiene datos falsos. En caso se demostrara lo contrario, asumo responsablemente la anulación de este informe y por ende el proceso administrativo a que hubiera lugar. Que puede conducir a la anulación del título o grado emitido como consecuencia de este informe.

Lambayeque, mayo del 2021



Bach. Encarnación Carlos Rojas
Autor



Dr. Alfonso Mendoza Gamarra
Asesor

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado primeramente a Dios, que me permitió concluir esta grandiosa profesión, como es la Física.

Está dedicado a mis padres Bernardo Carlos López y Paula Rojas Mendoza por sus valiosos esfuerzos que hicieron para brindarme educación, dándome fuerzas, amor, comprensión y apoyo incondicional para terminar mi profesión.

A mis hijos Iker Bernardo y Jordi Enrique, herederos de mi arte e inspiración, a mi esposa que siempre me alentó a continuar con mi investigación, a mis hermanos y toda mi familia por su comprensión.

Encarnación

AGRADECIMIENTO

Este trabajo de investigación fue una experiencia única, ya que me permitió trabajar sobre un tema relacionado de algún modo con la energía eléctrica y la mecánica de fluidos, proporcionándome la satisfacción de aportar al conocimiento científico, en especial en el campo de la energía eléctrica y la mecánica de fluidos; sin embargo, no habría sido posible realizarlo sin la participación de personas que estuvieron apoyándome durante el desarrollo de mi tesis de los cuales hago mención:

A Dios por darme la vida, sabiduría y la fuerza para seguir adelante cada día, y darme la oportunidad de llegar hasta donde he llegado, haciendo realidad este sueño anhelado.

A mis profesores de la Escuela de Física de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, todos aportaron en mi formación profesional, en especial al profesor MSc. Fis. Jesús Lozano Alvarado, por permanentemente motivarnos a seguir adelante ante cualquier adversidad, siempre basándonos en los principios de las ciencias físicas.

A mi asesor de Tesis, Dr. Alfonso Mendoza Gamarra por el apoyo y asesoramiento incondicional durante el desarrollo de mi tesis. A mis colegas y amigos con quienes compartí aulas durante mi formación profesional, entre ellos un agradecimiento muy especial a David Correa, por su apoyo en temas de programación y sus sugerencias sobre el presente informe.

Por último, son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional, a las que me encantaría agradecer por su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía, todas ellas quedan en mis recuerdos, sin importar en donde estén, a ellas quiero darles las gracias.

ÍNDICE GENERAL

	Páginas
DEDICATORIA	VIII
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE GENERAL	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
RESUMEN	XVII
ABSTRACT	XVIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. DISEÑO TEÓRICO	4
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2. FORMULACIÓN PROBLEMÁTICA	5
1.3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	5
1.3.2. <i>Objetivos Específicos.</i>	5
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	6
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	7
2.1.1. <i>Ubicación</i>	7
2.1.2. <i>Población</i>	9
2.1.3. <i>Actividades</i>	11
2.1.4. <i>Clima</i>	12
2.2. ANTECEDENTES	15
2.3. BASE TEÓRICA	17
2.3.1. <i>Centrales hidroeléctricas</i>	17
2.3.2. <i>Turbinas</i>	18
2.3.3. <i>Turbinas Pelton</i>	19
2.3.4. <i>Elementos constructivos básicos de una turbina Pelton</i>	21
CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. MATERIALES Y EQUIPOS	24
3.1.1. <i>Materiales</i>	24

3.1.2. Equipos	25
3.2. MÉTODOS Y FORMULACIÓN DE MECÁNICA DE FLUIDOS	27
3.2.1. Ecuación de continuidad.	27
3.2.2. Ecuación de Bernoulli para fluidos incompresibles.	27
3.2.3. Pérdidas primarias de energía	28
3.2.4. Pérdidas secundarias.....	31
3.3. PARÁMETROS ASOCIADOS AL DISEÑO DE UNA TURBINA PELTON	32
3.3.1. Triángulo de velocidades.....	32
3.3.2. Velocidad del chorro.....	33
3.3.3. Potencia ideal.....	33
3.3.4. Número específico de revoluciones	34
3.3.5. Número de chorros.....	34
3.3.6. Diámetro del chorro	34
3.3.7. Diámetro del rodete	34
3.3.8. Diámetro Externo e Interno.....	35
3.3.9. Número de cucharas	35
3.3.10. Dimensiones de las cazoletas o álabes.....	35
CAPITULO IV. RESULTADOS.....	36
4.1. PROPUESTA Y ANÁLISIS DE DISEÑO DE UNA TURBINA PELTON.....	36
4.1.1. Propuesta de diseño de turbina Pelton	36
4.1.2. Análisis del diseño de turbina Pelton.....	40
4.2. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL PROTOTIPO DE TURBINA PELTON	42
4.3. EVALUACIÓN DE VIABILIDAD DE CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA HIDROELÉCTRICA	50
4.4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO DE TURBINA PELTON	53
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y DISCUSIONES.....	60
5.1. CONCLUSIONES	60
5.2. DISCUSIONES	61
CAPITULO VI. RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS.....	66
ANEXO 01: CERTIFICADO DE HOMOLOGACIÓN DE PROTOTIPO DE TURBINA PELTON	66
ANEXO 02: DATOS REGISTRADOS DURANTE LA EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO DE LA TURBINA PELTON	67
ANEXO 03: FOTOS DE PARTES DEL PROTOTIPO DE LA TURBINAD PELTON.....	70
ANEXO 04: FOTOS DE FUNCIONAMIENTO DE PROTOTIPO DE TURBINA PELTON.....	74
ANEXO 05: CÓDIGO FUENTE DE APLICATIVOS.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura Nº 1: Catarata Santa Rosa, comunidad nativa Awajun Santa Rosa.</i>	<i>8</i>
<i>Figura Nº 2: Foto aerea de la comunidad nativa Awajun Santa Rosa</i>	<i>8</i>
<i>Figura Nº 3: Vista satelital de la comunidad nativa Awajun Santa Rosa.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura Nº 4 : Ubicación de la catarata Santa Rosa, comunidad nativa Awajun.</i>	<i>9</i>
<i>Figura Nº 5 : Serie de tiempo de la precipitación, temperatura máxima y mínima en la estación San Ramón, Yurimaguas, Loreto</i>	<i>14</i>
<i>Figura Nº 6 : Esquema de una central hidroeléctrica.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura Nº 7 : Esquema de funcionamiento de la turbina Pelton.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura Nº 8 ; Turbina Pelton de posición horizontal (izquierda) y posición vertical (derecha). ..</i>	<i>21</i>
<i>Figura Nº 9: Esquema de funcionamiento de una turbina Pelton.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura Nº 10: Esquema de inyector de una turbina Pelton.</i>	<i>22</i>
<i>Figura Nº 11 : Rodete Pelton (izquierda) y álabe (derecha).....</i>	<i>23</i>
<i>Figura Nº 12 : Ángulo de álabe Pelton.</i>	<i>23</i>
<i>Figura Nº 13: Rodete con 17 cazoletas elaborado en aluminio fundido.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura Nº 14 : Prototipo de Turbina Pelton con componentes</i>	<i>25</i>
<i>Figura Nº 15: Compilación de principales equipos utilizados en la investigación.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura Nº 16 : corte de la cazoleta o alabe atacado por el chorro de agua y triángulos de velocidades de entrada y salida.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura Nº 17: Dimensiones de las cazoletas o álaves en función del diámetro del chorro.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura Nº 18: Interface grafica de usuario desarrollado para la identificación del tipo de turbina a implementar.</i>	<i>36</i>
<i>Figura Nº 19: Interface grafica de usuario para la determinación de dimensiones del rodete y numero de cazoletas de un turbina Pelton.</i>	<i>37</i>
<i>Figura Nº 20 : Propuesta de diseño de turbina Pelton para pequeña planta hidroelectrica</i>	<i>37</i>
<i>Figura Nº 21: Prototipo terminado de turbina tipo Pelton (vista de la parte superior) para una pequeña planta hidroeléctrica.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura Nº 22: Prototipo terminado de turbina tipo Pelton (vista total) para una pequeña planta hidroeléctrica.</i>	<i>39</i>
<i>Figura Nº 23: Resultado de Presión vs Velocidad Angular de la evaluación del prototipo de turbina Pelton.....</i>	<i>43</i>

<i>Figura Nº 24: Resultado de Presión vs Caudal de la evaluación del prototipo de turbina Pelton.</i>	44
<i>Figura Nº 25: Presión vs Potencia de la evaluación del prototipo de turbina Pelton.....</i>	44
<i>Figura Nº 26: Resultado de Caudal vs Velocidad Angular de la evaluación del prototipo de turbina Pelton.....</i>	46
<i>Figura Nº 27: Potencia vs Velocidad Angular de la evaluación del prototipo de turbina</i>	46
<i>Figura Nº 28: Potencia vs Caudal de la evaluación del prototipo de turbina Pelton.</i>	47
<i>Figura Nº 29 : Resultado de la desviación estándar de la presión de la evaluación del prototipo de turbina Pelton.</i>	48
<i>Figura Nº 30 : Resultado de la desviación estandar de la potencia de la evaluación del prototipo de turbina Pelton.</i>	48
<i>Figura Nº 31 : Resultado de la desviación estandar del caudal de la evaluación del prototipo de turbina Pelton.</i>	49
<i>Figura Nº 32 : Resultado de la desviación estandar de la velocidad angulaar de la evaluación del prototipo de turbina Pelton.</i>	50
<i>Figura Nº 33 : Variación de caudales en la catarata Santa Rosa año 2016.....</i>	52
<i>Figura Nº 34 : Variación de caudales en la catarata Santa Rosa año 2017.....</i>	53
<i>Figura Nº 35 : Propuesta de diseño de turbina Peñton en circuito cerrado para el prototipo de turbina Pelton.....</i>	55
<i>Figura Nº 36 : Foto de prueba de prototipo de Turbina Pelton.....</i>	56
<i>Figura Nº 37 : Curvas de iso-eficiencia en función de la velocidad de rotación vs el caudal en el prototipo de la turbina Pelton.</i>	58
<i>Figura Nº 38 : Curvas de iso-eficiencia en función de la altura manométrica vs caudal en el prototipo de la turbina Pelton</i>	59

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Cantidad de habitantes del distrito de Manseriche.</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 2: Promedios mensuales de precipitación, temperatura máxima y mínima, estación San Ramón, SENAMHI, periodo mayo 1969 a julio 2014</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 3 : Valores Numéricos de presión, velocidad Angular, caudal y potencia obtenidos de la evaluación del prototipo de turbina Pelton para una hidroeléctrica</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 4 : Límites Máximos y Límites Mínimos de la Presión, Velocidad Angular, Caudal y Potencia en la evaluación del Prototipo Hidroeléctrico.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 5 : Registro de caudales de las precipitaciones en la catarata de la comunidad Santa Rosa durante el año 2016</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 6: Registro de caudales de las precipitaciones en la catarata de la comunidad Santa Rosa durante el año 2017</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 7 : Resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento del prototipo de turbina Pelton, durante los días 20 y 21 julio del 2016</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 8 : Eficiencia del prototipo en función de la velocidad angular y del caudal durante todo su campo de operación de la turbina.</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 9 : eficiencia del prototipo en función de la altura y del caudal durante todo su campo de operación de la turbina.....</i>	<i>59</i>

RESUMEN

“Diseño y evaluación de un prototipo de turbina tipo Pelton para una pequeña planta hidroeléctrica”

El presente trabajo de investigación tuvo por finalidad diseñar y evaluar un prototipo de turbina tipo Pelton para una pequeña planta hidroeléctrica, para determinar la capacidad de generación de energía eléctrica de la catarata Santa Rosa, en la comunidad nativa Awajun, en el distrito de Manseriche, provincia Datun del Marañón. Los resultados logrados se resumen en que se desarrollaron dos programas de interface gráfica de usuario, para el apoyo en el diseño de un prototipo de turbina Pelton. El primer aplicativo permite determinar el tipo de turbina a utilizar, en función a las características de la catarata y la eficiencia estimada, mientras que el segundo aplicativo permite determinar las dimensiones de tamaño del rodete y el número de cazoletas de una turbina Pelton. Basado en parámetros y principios físicos de conservación de energía cinética y mecánica se diseñó un prototipo de turbina Pelton; Se evaluó la capacidad de generación de energía eléctrica de la catarata Santa Rosa de la comunidad Awajun Villa Saramiriza, del distrito de Manseriche, llegándose a determinar que cuenta con un alto potencial energético por presentar disponibilidad de agua durante todo el año, por las condiciones natural de la zona; Se llegó a diseñar e implementar un prototipo de pequeña planta hidroeléctrica basada en el uso de una turbina Pelton, la cual fue sometida a pruebas de generación de energía eléctrica, llegándose a generar 1.5 hp de energía eléctrica a 220 voltios con un dinamo de 2 Hp de potencia nominal a una frecuencia de 60hz, con un amperaje de 2 amperios de corriente.

Palabras clave: Turbina tipo Pelton, prototipo hidroeléctrico, planta hidroeléctrica.

ABSTRACT

“Design and evaluation of a prototype Pelton type turbine for a small hydroelectric plant”

The purpose of this research work was to design and evaluate a prototype Pelton-type turbine for a small hydroelectric plant, to determine the capacity for generating electricity from the Santa Rosa waterfall, in the Awajun native community, in the Manseriche district, Daten of Marañón province. The results achieved are summarized in that two graphical user interface programs were developed, to support the design of a Pelton turbine prototype. The first application allows to determine the type of turbine to be used, based on the characteristics of the waterfall and the estimated efficiency, while the second application allows to determine the size dimensions of the impeller and the number of cups of a Pelton turbine. Based on parameters and physical principles of conservation of kinetic and mechanical energy, a Pelton turbine prototype was designed; The electric power generation capacity of the Santa Rosa waterfall of the Awajun Villa Saramiriza community, in the Manseriche district, was evaluated, determining that it has a high energy potential due to the availability of water throughout the year, due to natural conditions. Of the area; a prototype of a small hydroelectric plant based on the use of a Pelton turbine was designed and implemented, which was subjected to electrical power generation tests, leading to the generation of 1.5 Hp of electrical energy at 220 volts with a 2 Hp dynamo. Of nominal power at a frequency of 60 Hz, with an amperage of 2 amps of current.

Keywords: Pelton type turbine, hydroelectric prototype, hydroelectric plant.

INTRODUCCIÓN

En el Perú, los pueblos y comunidades rurales alejadas de las principales ciudades del país, presentan mayor carencia de energía eléctrica y a la vez presentan menores recursos económicos; a pesar de que las líneas de transmisión eléctricas pasan cerca de dichos pueblos y comunidades, la carencia de energía se debe a la ocurrencia frecuente de diversas situaciones imprevistas, asociadas al clima, que restringen el servicio eléctrico, principalmente en las zonas rurales de la amazonia peruana. Esta problemática se viene presentando desde hace muchos años, sumándose a los problemas sociales, lo que conlleva a la postergación de soluciones correctivas a la mejora del suministro eléctrico. Por parte de la población se supe la demanda de la energía eléctrica a través del uso de generadores o grupos electrógenos que consumen petróleo o gasolina, continuando con el estado de carencia de energía eléctrica.

Por otro lado, se conoce que el Perú cuenta con un alto potencial de generación de energía hidroeléctrica, de cual se estima que solo se utiliza el 5% de este potencial y que en el caso de elevarse la captación de energía al 25% del potencial, se podría captar aproximadamente 5 millones de Mega Watt horas mensuales. Por esta razón, desde los años 70 existen varios proyectos para la instalación de grandes centrales hidroeléctrica, los mismos que por motivos socioeconómicos y políticos, han quedado en Stand by, relegando al país a un atraso en lo que se refiera a producción de energía eléctrica.

Actualmente estos aspectos que impiden el desarrollo de grandes proyectos de centrales hidroeléctricas, como por ejemplo el proyecto Inambari, ante esta situación, implementar mini centrales hidroeléctricas, de menor tamaño y capacidad, podría ser una solución, las cuales por sus dimensiones demandan de menor inversión y mantenimiento, llegando hasta ser operadas y controladas por los mismos pobladores del lugar.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo general, diseñar y evaluar un prototipo de turbina tipo Pelton para una pequeña planta hidroeléctrica, para determinar la capacidad de generación de energía eléctrica de una catarata. Dentro de objetivos específicos se planteó, Diseñar el prototipo de una turbina Pelton, para evaluar sus parámetros de rendimiento; Evaluar la capacidad de generación de energía eléctrica por parte del prototipo de turbina Pelton; Analizar la viabilidad de construcción de una planta hidroeléctrica en el distrito de Manseriche, asociado a las condiciones físicas y ambientales naturales de la zona.

Los resultados logrados se resumen en que se desarrollaron dos programas de interface gráfica de usuario, para el apoyo en el diseño de un prototipo de turbina Pelton. El primer aplicativo permite determinar el tipo de turbina a utilizar, en función a las características de la catarata y la eficiencia estimada, mientras que el segundo aplicativo permite determinar las dimensiones de tamaño del rodete y el número de cazoletas de una turbina Pelton. Basado en parámetros y principios físicos de conservación de energía cinética y mecánica se diseñó un prototipo de turbina Pelton; Se evaluó la capacidad de generación de energía eléctrica de la catarata Santa Rosa de la comunidad Awajun Villa Saramiriza, del distrito de Manseriche, llegándose a determinar que cuenta con un alto potencial energético por presentar disponibilidad de agua durante todo el año, por las condiciones natural de la zona; Se llegó a diseñar e implementar un prototipo de pequeña planta hidroeléctrica basada en el uso de una turbina Pelton, la cual fue sometida a pruebas de generación de energía eléctrica, llegándose a generar 1.5 hp de energía eléctrica a 220 voltios con un dinamo de 2 Hp de potencia nominal a una frecuencia de 60hz, con un amperaje de 2 amperios de corriente; El análisis de evaluación del flujo de agua al paso por el inyector al impactar en los alabes de la turbina permitió determinar las diferentes variables como, Presión, caudal, potencia y la velocidad de giro en rpm, del prototipo hidroeléctrico; El diseño del módulo cuenta con los elementos necesarios para la generación de energía eléctrica a partir de la energía

hidráulica, sin embargo, se pueden adicionar algunos componentes como instrumentos de medición y una línea de derivación de la tubería de descarga que simule la caída del agua lluvia a un tanque que se puede ubicar en la parte posterior de la represa.

CAPITULO I. DISEÑO TEÓRICO

1.1. Descripción del Problema

La región Loreto, se ubica en la selva noreste del Perú, es una región con un territorio muy amplio y una población bastante dispersa, presenta un clima lluviosa, que producen ríos, quebradas y cataratas caudalosas, con potencial para generar energía eléctrica, en su mayoría todos ellos son afluentes del río Marañón, que a su vez es aportante del río Amazonas, que termina en el océano atlántico..

La región Loreto, presenta déficit de energía eléctrica, además de permanentes cortes de la energía eléctrica, debido a la ocurrencia de fuertes vientos y torrenciales lluvias producen la caída de grandes árboles sobre el tendido eléctrico, causando pérdidas económicas en la población, por el deterioro de los electrodomésticos, además de tener que recurrir al uso de generadores eléctricos, que consumen petróleo o gasolina, contaminando el medio ambiente, para contar con energía eléctrica.

Sin energía eléctrica, la población difícilmente podrían desarrollarse gran parte de las actividades, en este sentido el aprovechamiento de la energía electromotriz que se pueda generar a través de las centrales hidroeléctricas serían una alternativa para cubrir el déficit de energía eléctrica en la región de Loreto, especialmente en los centros poblados y localidades alejadas de la selva peruana, como es el caso del distrito de Manseriche, Loreto, que presenta déficit de abastecimiento de energía eléctrica, lo cual se contrapone al alto potencial hidroenergético que tiene el río Marañón, por el gran volumen de agua que transcurre por el río y a las características físico naturales que presenta, con un gran número de cataratas con potencial energético para centrales hidroeléctricas.

Debido a la problemática antes mencionada es que se propuso la presente investigación que tiene por finalidad evaluar y diseñar un prototipo de turbina

Pelton, para analizar el potencial de generación de energía eléctrica de la catarata Santa Rosa, en la comunidad nativa Awajun Santa Rosa.

1.2. Formulación problemática

En las zonas rurales amazónicas, específicamente en el distrito de Manseriche, existe un alto potencial hidro-energético que es desaprovechado, especialmente por la presencia de cataratas con características físico naturales favorables para la generación de energía eléctrica, a través de sistemas simplificados, como una turbina Pelton, en este sentido se plantea evaluar la capacidad de las características físico naturales de la catarata Santa Rosa, para generar energía eléctrica en función del volumen de agua que transcurre por la catarata.

1.3. Objetivo de la Investigación

1.3.1. *Objetivo General*

Diseñar y evaluar un prototipo de turbina tipo Pelton para una pequeña planta hidroeléctrica, para determinar la capacidad de generación de energía eléctrica de una catarata.

1.3.2. *Objetivos Específicos.*

- ✓ Diseñar el prototipo de una turbina Pelton, para evaluar sus parámetros de rendimiento.
- ✓ Evaluar la capacidad de generación de energía eléctrica por parte del prototipo de turbina Pelton
- ✓ Analizar la viabilidad de construcción de una planta hidroeléctrica en el distrito de Manseriche, asociado a las condiciones físico natural de la zona.

1.4. Justificación e importancia de la investigación

El uso de fuentes de energía renovables no contaminantes como es la energía generada por la caída de las cataratas o quebradas, el flujo de agua del curso de los ríos llanos con pendiente de inclinación significativa, podrían contribuir a cubrir

la falta de energía eléctrica en las zonas rurales de la selva. En este sentido el presente proyecto intenta sentar las bases y dar un primer paso para obtener energía eléctrica, a través del aprovechamiento de las características físicas naturales de la zona, los procesos físicos asociados a la caída del agua de las cataratas o quebradas. Todo esto evaluado a través de un prototipo de planta hidroeléctrica para evaluar las capacidades energéticas de una catarata, de esta manera se sentaría la base para una futura planta hidroeléctrica que cubra las necesidades de la población rural de las comunidades y localidades del distrito de Manseriche, en la provincia de Datem del Marañón.

1.5. Hipótesis de la investigación

¿Es posible diseñar y evaluar un prototipo de turbina tipo Pelton para una pequeña planta hidroeléctrica, para determinar la capacidad de generación de energía eléctrica de una catarata?,

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se enmarca a la localidad de Saramiriza, ubicada a la margen del río Apaga, en las coordenadas geográficas de -4.565556° S de latitud Sur y -77.415833° W de longitud Oeste, (coordenadas GPS, $4^{\circ} 33' 56.1600''$ S y $77^{\circ} 24' 56.8800''$ W). Localidad que pertenece al distrito de Manseriche. Este distrito está compuesto de 42 comunidades, distribuidas en 04 zonas, de las cuales, la localidad de Saramiriza, es una de la más importante, ya que comprende una mayor concentración poblacional, por que alberga a la capital del distrito.

2.1.1. *Ubicación*

La localización exacta del proyecto, hace referencia a la catarata Santa Rosa, que tiene una altura aproximada de 60 metros, con una pendiente variable entre 60 a 70° de inclinación, la catarata se ubica en la comunidad nativa Awajun Santa Rosa, Figura N° 2 y Figura N° 3, la comunidad se ubica a 45 km al noroeste de la localidad de Saramiriza, Figura N° 4, políticamente pertenece al distrito de Manseriche, provincia de Datem del Marañón, departamento de Loreto. La catarata Santa Rosa, se encuentra cerca a la comunidad de Nuevo Israel, la cual está ubicada en la cabecera de la quebrada Saramiriza, a tres horas de camino de herradura desde la carretera Saramiriza – Santa María de Nieva, Figura N° 4.

Figura N° 1: Catarata Santa Rosa, comunidad nativa Awajun Villa Saramiriza



Fuente: Foto registrada por Encarnación Carlos (17 de setiembre del 2017).

Figura N° 2: Foto aerea de la comunidad nativa Awajun Villa Saramiriza



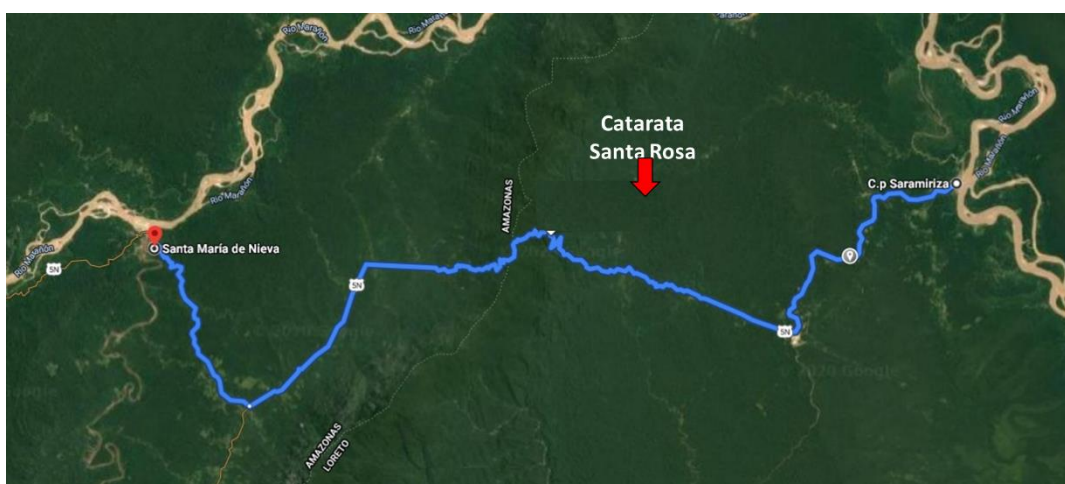
Fuente: Diario local de Loreto

Figura N° 3: Vista satelital de la comunidad nativa Awajun Santa Rosa.



Fuente: https://satellites.pro/mapa_de_Peru#-4.616283,-77.602787,16

Figura N° 4 : Ubicación de la catarata Santa Rosa, comunidad nativa Awajun.



Fuente: edición sobre mapa base google earth.

2.1.2. Población

El distrito de Manseriche alberga una población 14 472 habitantes, (INEI, 2017), con tradiciones culturales y sociales de épocas ancestrales, en un 66% pertenecen a la etnia “Awajun” (Aguarunas), mientras que el porcentaje restante lo constituyen población ribereña y migrantes. La Cultura Awajun viene siendo afectada por las costumbres occidentales, afectando sus rasgos característicos, como son: la vestimenta y artesanía, que lo identifican como grupo étnico (Wikipedia, 2020).

De acuerdo a las estadísticas existentes (INEI, 2015), el distrito de Manseriche es catalogado dentro de los pueblos en extrema pobreza del Perú, con un 59.8% de la total de la población distrital.

Tabla 1: Cantidad de habitantes del distrito de Manseriche.

Centros Poblados	Habitantes	Tiempo
Saramiriza	5420	00 segundos
Félix Flores	1399	30 min
Nuevo Jerusalén	798	20min
Santa Rosa	1006	45 min
Chapis	972	03 horas
Sachapapa	1491	03 horas
Atahualpa	1346	04horas 30min
Borja	703	02 horas
San Juan del Marañón	1337	1hora
Total	14 472	

Fuente: (INEI, 2017)

La población del área de estudio se encuentra dentro del Lote de concesión petrolera L-165, a cargo de PETROPERU, encontrándose expuestos a problemas de rotura de ductos o derrame de petróleo, como ocurrió en enero del 2019.

Que produjo que el alcalde provincial del Datem del Marañón, Adelino Rivera Pérez, solicitara declarar en estado de emergencia las 34 comunidades ubicadas en la zona afectada, las federaciones indígenas denominadas FENARA, ORPASY, UUNBAU CHAPY SHIWAG convocaron a las autoridades del Gobierno Nacional y del Gobierno Regional de Loreto a un debate político intercultural entre el Estado y los pueblos Awajun, (ProyContra, 2019). Produciéndose la intervención del Gobierno del central, a través de la declaratoria de estado de emergencia, por 60 días a las localidades de Santa

Rosa y Chapis del distrito de Manseriche, provincia del Datem del Marañón, siendo afectadas las familias por el derrame de petróleo, (ProyContra , 2019).

2.1.3. Actividades

Saramiriza, por encontrarse en la margen izquierda del río Marañón, constantemente es afectado por la crecida del río, que arrasa casas e inunda calles cercanas al borde del río, afectando de esta forma al desarrollo de las actividades socio-económicas de la población. En algunas ocasiones la prensa local y nacional da reporte de la afectación de la población de Saramiriza, (El Comercio, 2017).

Sus actividades socio-económicas se ven beneficiadas por el acceso a la carretera entre Bagua, Condorcanqui hasta Saramiriza y viceversa, carretera que frecuentemente es afectada por las lluvias, y el deslizamiento de lodo, bloqueando el tránsito de camiones y en algunos casos produciendo accidentes de tránsito, (Sqala, 2019).

En el año 2011, el gobierno central emitió un Decreto Supremo, en el que impulsaba 20 proyectos de centrales hidroeléctricas, de los cuales 15 de ellos se ubicaban a lo largo de la cuenta del río Marañón, de esta forma, el distrito de Manseriche y las localidades rivereñas al río Marañón adquirieron mayor importancia al ser categorizada como el principal centro energético del Perú con el planeamiento de un gran número de represas, (Decreto Supremo, 2011).

El potencial establecimiento de estas grandes obras de infraestructura en el río Marañón (uno de los principales afluentes del río Amazonas), fluye de una u otra manera sobre la gran diversidad terrestre y acuática, de los territorios de los pueblos nativos Awajún, y Wampis así como de otros poblados rivereños que dependen del río como medio de transporte y la pesca como fuente de alimentación y generación de ingreso, (BID, 2015).

El río Marañón es también conocido como la “arteria energética del Perú” por su importancia para la generación de energía eléctrica. El 26 de abril del 2011, el gobierno

Peruano declaró de interés nacional y social el desarrollo hidroeléctrico del río y sus afluentes y listó veinte lugares donde potencialmente pueden ser llevados a cabo obras de infraestructura para la generación hidroeléctrica, (Decreto Supremo, 2011).

A partir del descubrimiento de yacimientos petrolíferos, en el año 1971, por parte de la empresa Petroperú, en Pastaza, la construcción del Oleoducto Nor Peruano, entre el Puerto de Bayóvar (Piura) y Saramuro (Maynas), y la construcción de la carretera que une las ciudades de Bagua y Saramiriza. Estos hechos produjeron el incremento de la migración de pobladores procedentes de la costa y la sierra hacia el distrito de Manseriche.

2.1.4. **Clima**

La localidad en estudio, no cuenta con estaciones de monitoreo de las condiciones climáticas, por lo que se tomó información meteorológicas de precipitación, temperatura mínima y máxima de una estación más cercana, que en este caso es la Estación San Ramón, en el distrito de Yurimaguas, Alto Amazonas, región Loreto.

La estación meteorológica de San Ramón, pertenece al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), y cuenta con información diaria desde el 01 de mayo del año 1969 al 31 de julio del 2014, los datos pueden ser accesibles a través del link: www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos.

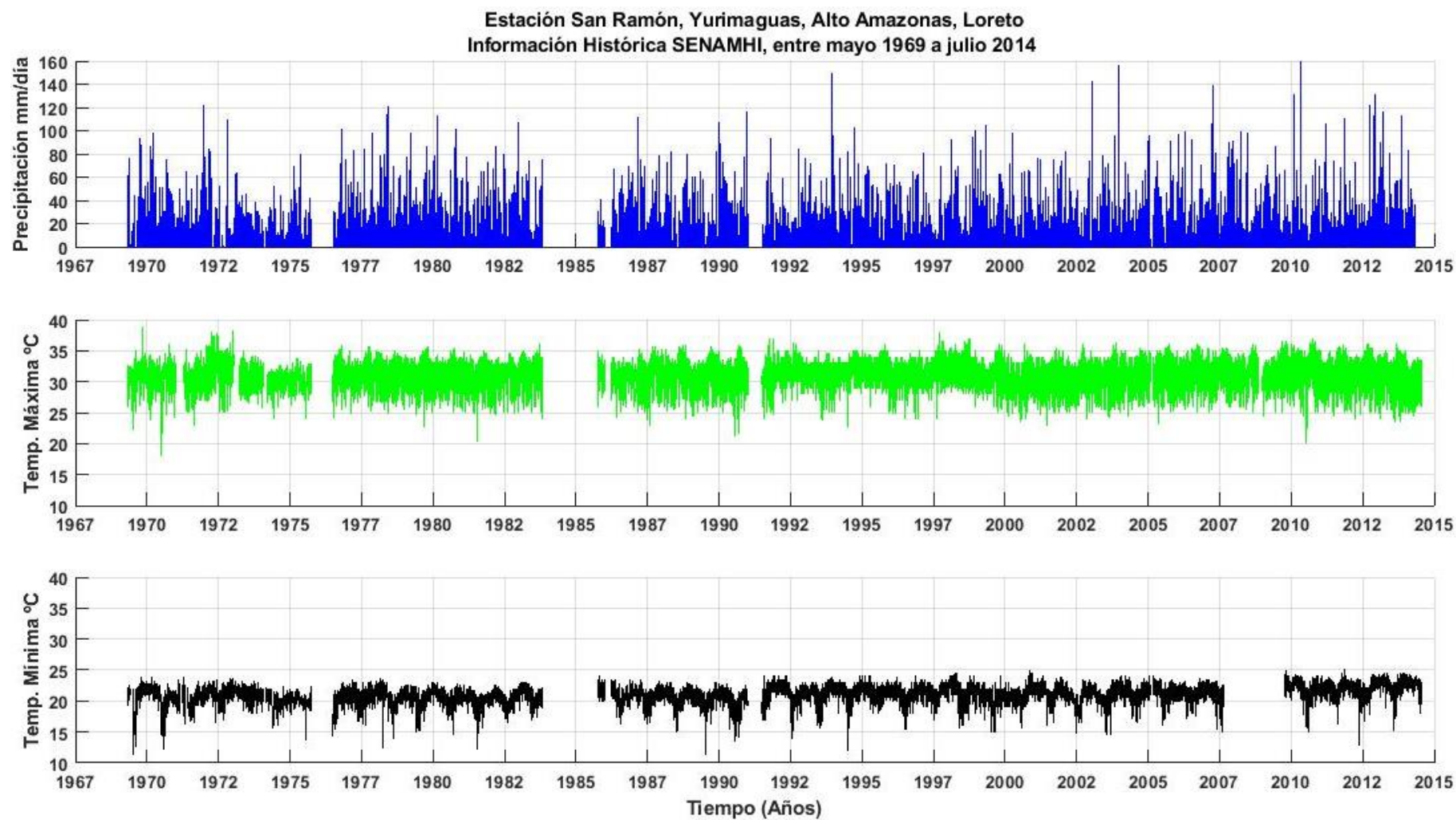
En la Tabla 2, se muestran los promedios mensuales de la precipitación, temperaturas máximas y mínima. En cuanto a la precipitación, en la zona de del Alto Amazonas, se registran precipitaciones durante todos los meses años, variando entre 3.3 a 10 milímetros por día, con registros mínimos durante los meses de junio a agosto. Respecto a la temperatura mínima, varía entre 19,8 a 21,7 °C, mientras que la temperatura máxima varía entre 30,7 a 32,1°C, ambas temperaturas presentan poca variabilidad a lo largo del año, lo cual indicaría que el clima es permanente y cálido durante el año. En la Figura N° 5, se muestra la serie de tiempo de los registros diarios de la precipitación, temperatura máxima y mínima, entre el 01 de mayo de 1969 al 31 de julio del 2014 en la estación San Ramón, Loreto.

Tabla 2: Promedios mensuales de precipitación, temperatura máxima y mínima, estación San Ramón, SENAMHI, periodo mayo 1969 a julio 2014

meses	Precipitación mm/día	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)
Enero	6.4	31.1	21.6
Febrero	7.8	30.9	21.6
marzo	10	30.7	21.6
abril	7.5	31	21.6
Mayo	5.5	31	21.1
Junio	4.1	30.7	20.3
Julio	3.4	30.8	19.4
Agosto	3.3	31.8	19.8
Septiembre	4.6	32.1	20.5
Octubre	6.2	31.8	21.3
Noviembre	7.7	31.2	21.6
Diciembre	7.1	31	21.7

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de SENAMHI

Figura N° 5 : Serie de tiempo de la precipitación, temperatura máxima y mínima en la estación San Ramón, Yurimaguas, Loreto



Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>

2.2. ANTECEDENTES

El desarrollo de proyectos de instalación de centrales hidroeléctricas, en su etapa inicial demanda de la determinación y análisis del potencial de caída de agua del río o cascada, a fin de determinar la cantidad de agua o caudal que transita por el medio. Bajo esta consideración Chuque y Ayllon, en el año 2012, como parte de su investigación de tesis, analizaron la sensibilidad, sostenibilidad económica del potencial hidro-energético de la cuenca Lircay, como etapa previa a la instalación de la central hidroeléctrica de 9100 KW en Angaraes, Huancavelica, para generar un estimado de 78000 MWH de energía eléctrica, (Chuque Suasnabar & Ayllon Clemente, 2012).

En el año 2014, Bermúdez, propuso el rediseño de la turbina Pelton de la mini central hidroeléctrica del distrito de Pataz, con la finalidad de aumentar el potencial de producción de energía, debido a que no cubría la necesidad energética de la población, desde su instalación diez años atrás. El rediseño de la turbina Pelton permitió generar y cubrir los 2400 Kw de potencia de energía eléctrica, proyectada y estimada para los siguientes diez años, (Bermudez Rodríguez, 2014).

En el 2017, Alania, desarrolló el diseño de un sistema de regulación del tipo electrohidráulico, enfocado en configurar la estructura del sistema de regulación de velocidad de una turbina Pelton, integrando el sensor de velocidad, la válvula de control y el servomecanismo. Los resultados muestran la capacidad de regular la velocidad de la Turbina Pelton a un determinado valor, este sistema se podría implementar en micro centrales hidroeléctricas garantizando mayor tiempo de funcionamiento y calidad de la energía a entregar, (Alania Meléndez, 2017).

En el año 2019, Hanco, desarrollo una investigación, para analizar las capacidades para la repotenciación en una hidroeléctrica en Machupicchu, a fin de incrementar y mejorar su potencia y eficiencia la turbina Pelton de eje vertical de cinco chorros de 26 MW de potencia nominal, para mejorar el rendimiento. Llegando a aumentar el caudal de captación de la turbina Pelton por aumento de la abertura de la tobera de

los inyectores. Llegando a asociar el incremento de la potencia de la hidroeléctrica con el perfil geométrico de las cucharas del rodete de la turbina, (Hanco Cruz, 2019).

En el año 2015, Huerta, utilizó reguladores digitales para el control de la velocidad de Turbinas Hidráulicas Pelton, tanto para nuevas centrales como antiguas centrales. Los reguladores digitales llegan a mostrar ventajas sobre los reguladores mecánicos, eléctricos y electrónicos analógicos. Llegando a incorporar funciones de regulación para variar los ajustes dependiendo de condiciones externas, (Huerta Estrada, 2015).

Židonis y Aggidis (2014), llegaron a analizar y determinar que en la actualidad se han cuenta con diversas herramientas de Dinámica de Fluidos Computacional (CDF, por sus siglas en ingles), para realizar el modelado numérico de las turbinas tipo Pelton, y se dividen en modelado de tipo euleriano y lagrangiano, siendo de mayor precisión el modelado de tipo euleriano, pero a la vez requieren de mayores recursos computacionales frente a los modelos de tipo lagrangiano. Los autores revisaron una serie de investigaciones relacionadas al diseño de Turbinas Pelton, llegando a identificar al menos tres software de tipo comercial, y uno de tipo open source (OPENFLOAM), que fueron utilizados para el modelado de alguno de los parámetros asociados al diseño de las turbinas Pelton. Finalmente este artículo define el estado del arte en el modelado numérico de la Turbina Pelton y serviría de guía al elegir la metodología y el software de modelado CFD a usar, (Židonis & Aggidis, 2014).

Sharma, Prashad y Kumar (2010) analizaron tres formas de lanzar agua a una turbina Pelton, usaron el software comercial ANSYS para evaluar diferentes velocidades de flujo de masa, para lo cual utilizaron el software ANSYS-CFX 10, para analizar la distribución de presión y velocidad del flujo de agua. Llegando a calcular las variaciones de pérdida en las boquillas de los propulsores de agua, para diferentes formas de lanzamiento, (Abhishek, Vishnu , & Kumar, 2010).

Tilahun, Engeda, y Dribssa, (2017), realizaron el modelado y análisis del rendimiento de una turbina Pelton, usando herramientas CFD, para evaluar potenciales recursos para instalar micro hidroeléctrico en Etiopía para cumplir con los requisitos de las

demandas de energía. Llegando a ubicar lugar adecuados con altura neta de 47.5 y un caudal de $0.14 \text{ m}^3/\text{s}$. En una primera etapa se centró en el diseño del cucharón de la turbina Pelton, para lo cual se hizo uso del software ANSYS CFX (CFD) y se evaluaron determinadas condiciones de carga de la turbina. El resultado mostró que el modelo depende en gran medida de las características de altura y flujo de agua en donde instalara la turbina Pelton, (Tilahun, Engeda, & Dribssa, 2017).

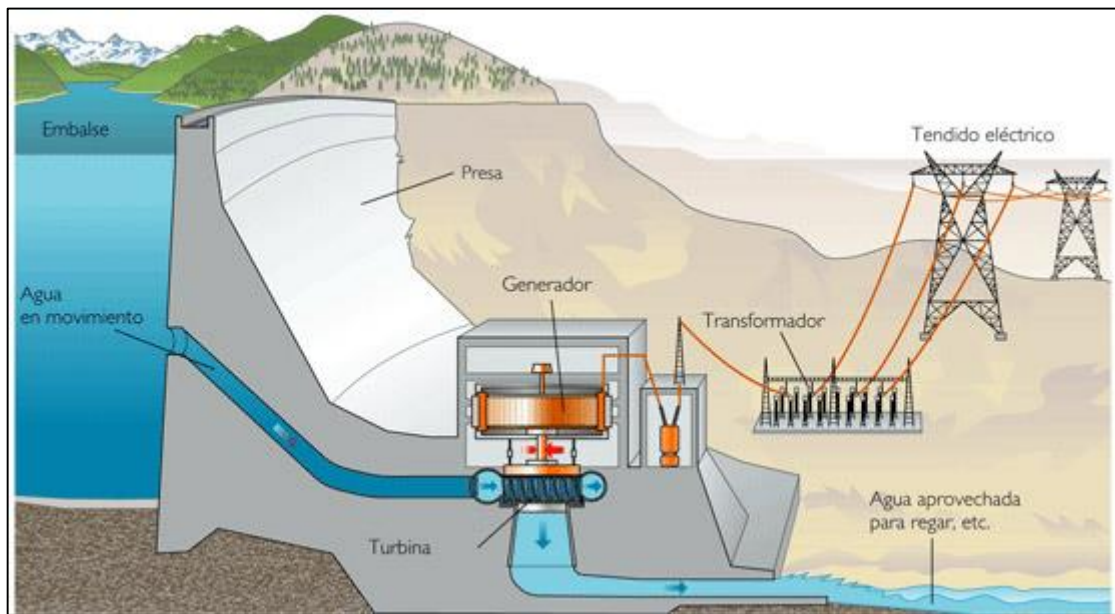
2.3. BASE TEÓRICA

El diseño de un prototipo de turbina hidráulica requiere del entendimiento de varios conceptos físicos, principalmente relacionados a mecánica de fluidos, entre los cuales destacan el principio de continuidad, la ley de conservación de energía, energía potencial y cinética, todos estos temas fueron revisados previamente para plantear el diseño de un prototipo de una turbina Pelton y fueron complementados con los conceptos propios relacionados al funcionamiento de una turbina tipo Pelton:

2.3.1. Centrales hidroeléctricas

El funcionamiento de las centrales hidroeléctricas, se basan principalmente en el aprovechamiento del desnivel del terreno, que convierte la caída del agua en energía potencial que es captada por las turbinas en la zona baja. Las turbinas al ser impactadas por el agua, giran y generan electricidad que luego se conduce a transformadores donde se eleva y se transporta a los diferentes puntos de consumo.

Figura N° 6 : Esquema de una central hidroeléctrica.



Fuente: www.renovables-energia.com

Las principales partes de una central hidroeléctrica, son las siguientes: Presa: Almacena el agua a una cierta altura de tal modo que pueda garantizar un golpe de suficiente fuerza para mover las turbinas; Turbinas: Es el elemento rotatorio que hace girar al generador; Generador: Es el dinamo que se encarga de generar electricidad; Ductos: que comprende a tuberías que llevan el agua,

Las turbinas representan un elemento principal de una central hidroeléctrica, existiendo una amplia variedad de turbo-maquinas, de la cual destacan las turbinas.

2.3.2. **Turbinas**

Las turbinas son bombas que trabajan a la inversa, ya que reciben la energía del fluido para transformarlo en energía mecánica., los elementos de una turbina son: Canal de llegada o tubería forzada; Caja espiral, parte donde la presión se transforma en velocidad; Distribuidor, parte donde se regula el flujo de agua, y funciona como una tobera; Rodete, parte giratoria donde choca el flujo de líquido; Tubo de aspiración, que viene a ser la tubería por donde se expulsa el agua, en las bombas es la tubería por donde se aspira el agua.

Las turbinas se clasifican según el grado de reacción, dando lugar a formar dos grupos: Turbinas de reacción (grado de reacción es diferente a cero) y turbinas de acción (grado de reacción es igual a cero). Se mide a través de la siguiente ecuación:

$$E_t = \frac{\text{Altura de presión absorbida por el rodete}}{\text{Altura total absorbida por el rodete}} \quad (1)$$

Las turbinas de acción son de admisión parcial, no llevan tubo de aspiración, la salida del rodete coincide con la salida de la turbina, y trabajan a presión constante ($P_1 = P_2$). Mientras que las turbinas de reacción, son de admisión total, presentan una presión superior a una atmósfera en la entrada del rodete y en la salida inferior.

Por otro lado, las turbinas hidráulicas se agrupan en tres tipos (Pelton, Francis, de hélice o Kaplan). La elección dependerá de la altura de la caída de agua y la potencia requerida. La potencia una turbina, vendrá determinada por la altura del salto de agua y del caudal que se disponga.

El parámetro clave para el diseño y eficiencia de una turbina es la velocidad específica (n_s), que puede variar desde $n_s = 10$ hasta 1150, los saltos de alta presión suelen producir velocidades específicas bajas, mientras que los saltos de baja presión (baja altura) producen velocidades específicas altas.

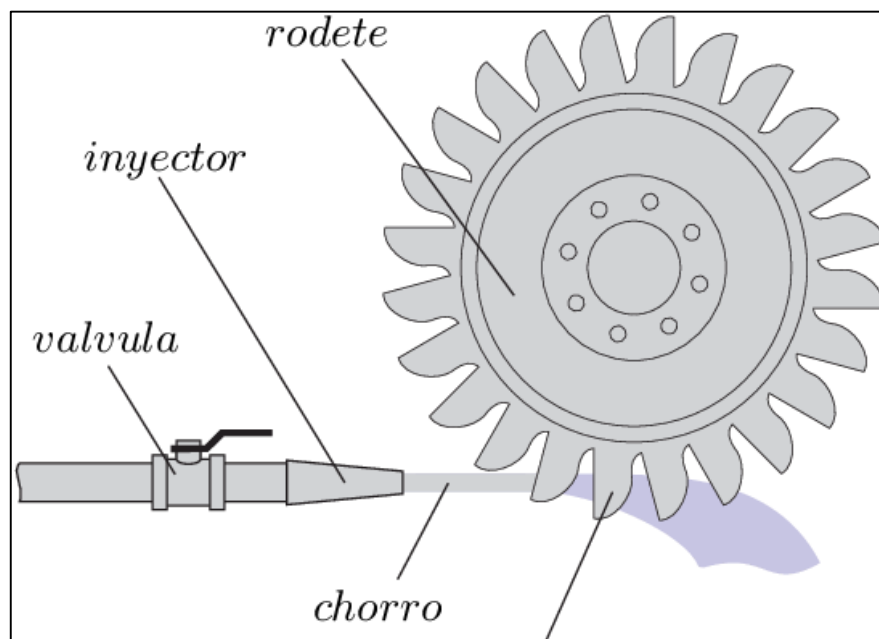
2.3.3. **Turbinas Pelton**

La turbina Pelton fue propuesta inicialmente por Lester A. Pelton, es considerada como una turbina de acción, de flujo tangencial y de admisión parcial, alcanza mayor eficiencia en condiciones de grandes saltos y bajos caudales, de acuerdo a (Tapia, Millán, Gómez-Estern, Lerardi, & del Nozal, 2017), se diferencian tres tipos Figura N° 7.

- **Microturbinas Pelton**, Se usan en zonas rurales aisladas donde se aprovechan los recursos hidro-energéticos que existen en pequeños ríos o quebradas para transformarlos en energía mecánica o eléctrica.

- **Miniturbinas Pelton**, Según las normas europeas de generación de energía, presentan potencia entre 100 a 1000 kW, mientras que la organización Latinoamericana de Energía las clasifican en el rango de 50 a 500kW.
- **Picoturbinas Pelton**, este tipo de centrales generan por debajo de 10kW y aprovechan recursos hidráulicos de quebradas muy pequeñas, manantiales u otras fuentes donde existen algunos chorros de agua y algunas pequeñas caídas de agua, que transformen la energía mecánica en energía eléctrica.

Figura N° 7 : Esquema de funcionamiento de la turbina Pelton.



Fuente: (Tapia, Millán, Gómez-Estern, Lerardi, & del Nozal, 2017)

Por otro, las turbinas Pelton de acuerdo a la posición de su eje se clasifican en turbinas Pelton de posición vertical y horizontal. Las turbinas de **posición horizontal**, es la más usada, pueden tener uno o dos inyectores, son de fácil mantenimiento, mientras que las turbinas de **posición vertical**, se usan para aguas limpias, que no afectan a las estructuras, tienen más inyectores en comparación a las de eje horizontal.

Figura N° 8 ; Turbina Pelton de posición horizontal (izquierda) y posición vertical (derecha).



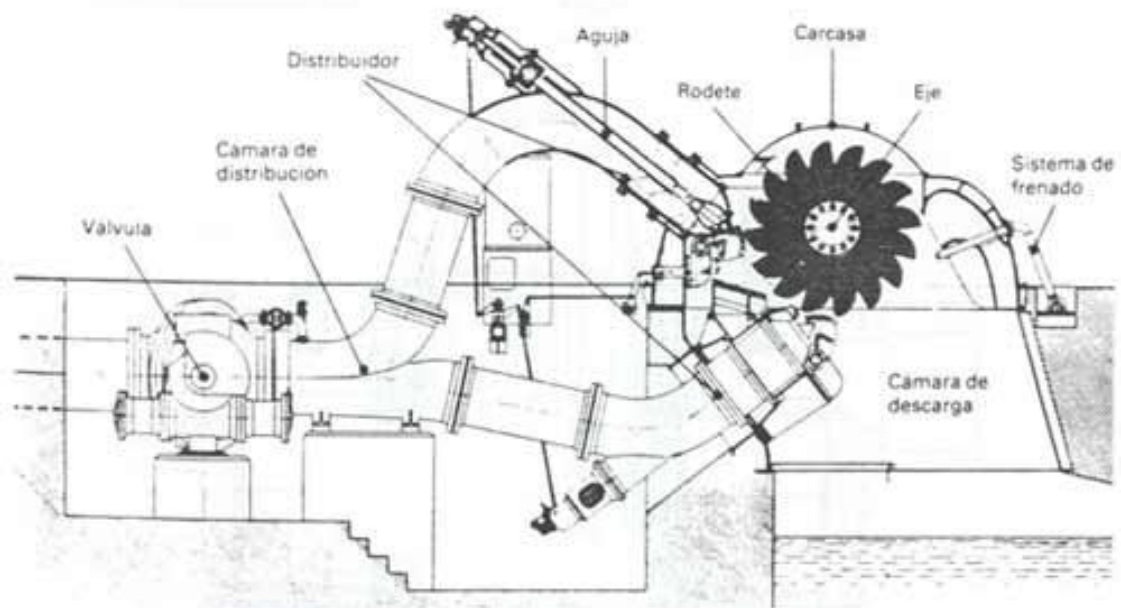
Fuente: (Murray Garcia, 2005)

Las turbinas Pelton, pueden disminuir su eficiencia por diversos factores, dentro los más comunes, se tiene: Fricción en la carcasa, fricción y turbulencia en las superficies guías, de acuerdo a la densidad del agua que ingresa al rodete, fricción en la estructura del rodete; Porosidad en los álabes y mal acabado de estos.

2.3.4. ***Elementos constructivos básicos de una turbina Pelton***

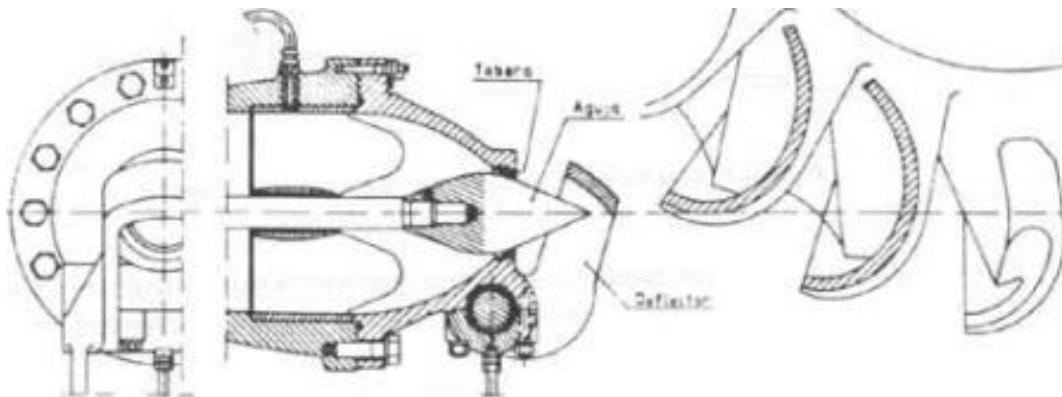
Las turbinas Pelton, conocidas también como turbinas de presión por ser ésta constante en la zona del rotor, de chorro libre, de impulsión, de admisión parcial por atacar el agua sólo una parte de la periferia del rotor. Así mismo entran en el grupo de las denominadas turbinas tangenciales y turbinas de acción. Una turbina Pelton consta principalmente de los siguientes componentes: el distribuidor, el rotor, la carcasa, la cámara de descarga, el sistema de frenado y el eje de la turbina, ver Figura N° 9 y Figura N° 10, cada uno de los componentes se encuentran descritos con mayor detalle en el blog FAEITCH2012 (FAEITCH, 2012).

Figura N° 9: Esquema de funcionamiento de una turbina Pelton.



Fuente: (FAEITCH, 2012)

Figura N° 10: Esquema de inyector de una turbina Pelton.



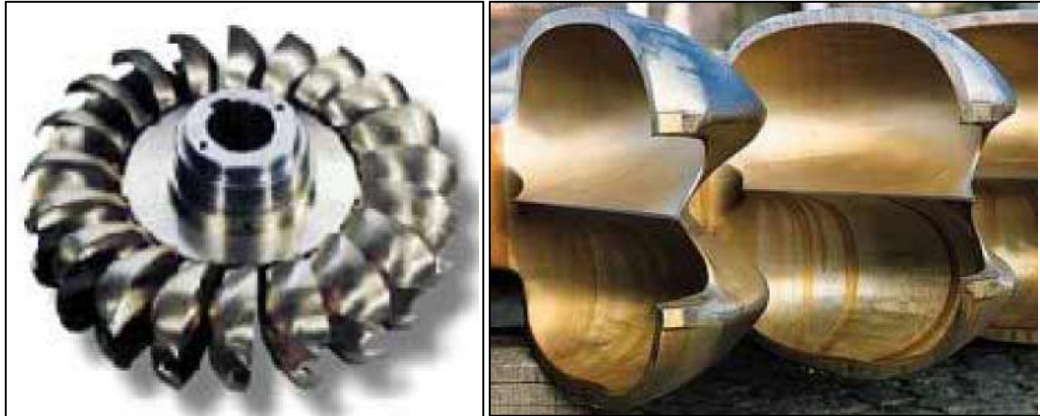
Fuente: (FAEITCH, 2012)

El rotor (rodete), es uno de los elementos más importante para la generación de energía hidráulica a energía mecánica, se acopla a la **rueda motriz**, que va ensamblada a las cazoletas, las **cazoletas (álabes o cucharas)**, reciben el impacto del chorro de agua, a través de una acción tangencial, generando la rotación del rodete, Figura N° 11.

Ángulos de las cazoletas, el ángulo α es el formado entre las dos caras interiores del álabe y mide alrededor de 20° , lo ideal era que fuera 0° pero de ser así debilitaría la arista o nervio central donde pega el chorro. Mientras que el ángulo β está entre 8° y 12° , ver Figura N° 12, (Murray Garcia, 2005).

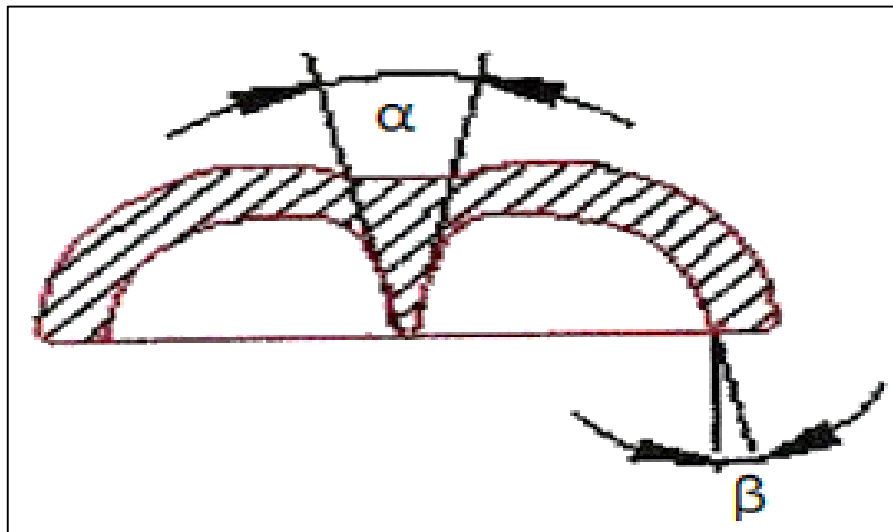
La carcasa, es la envoltura metálica que cubre los inyectores, el rotor y los otros elementos mecánicos de la turbina, evita que el agua salpique hacia afuera de la turbina, ver Figura N° 9.

Figura N° 11 : Rodete Pelton (izquierda) y álabe (derecha).



Fuente: (Orozco Aceves, 2016)

Figura N° 12 : Ángulo de álabe Pelton.



Fuente: (Murray Garcia, 2005)

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales y equipos

3.1.1. *Materiales*

Para la construcción del prototipo de la turbina Pelton se utilizó aluminio fundido para el diseño del rodete y cazoletas, Figura N° 13, para la carcasa de la turbina se utilizó un tambor de fierro, mientras que para el tanque se utilizó una plancha de acero inoxidable de 8 mm de espesor, para el flujo de agua se utilizó 80 cm de manguera de 1", y tubo PVC de 1", ver Figura N° 14.

Figura N° 13: Rodete con 17 cazoletas elaborado en aluminio fundido



Fuente: Foto registrada personalmente

Figura N° 14 : Prototipo de Turbina Pelton con componentes



Fuente: Foto registrada personalmente

3.1.2. **Equipos**

Dentro de los equipos utilizados, se tiene equipos de medición como el multítester, amperímetro, caudalímetro, manómetro, tacómetro, una bomba de agua de ½ HP a 2HP de potencia y una laptop, Figura N° 15.

Multítester: se utilizó para medir el voltaje y corrientes de corriente alterna, el multítester digital fue de marca PRASEK Premium, modelo PR-301C.

Amperímetro: es un dispositivo que permite realizar la medición de los amperios que tiene la corriente eléctrica, en este caso se utilizó una Pinza Amperimétrica de marca UNI – modelo T UT210.

Figura N° 15: Compilación de principales equipos utilizados en la investigación.



Fuente: Foto registrada personalmente

Tacómetro: es un dispositivo que permite medir la velocidad de rotación de un mecanismo de la máquina al que va acoplado, generalmente indica la velocidad en revoluciones por minuto (RPM). En la presente investigación se utilizó un Tacómetro Digital, de marca Víctor, modelo 6236P.

Manómetro de presión de agua: es un dispositivo que permite medir la presión de un gas o líquido, cuenta con un indicador analógico para medir la presión. En la presente investigación se utilizó un Manómetro de presión de agua, de marca Enzo, de uso industrial, con capacidad de medida de hasta 150 PSI.

Caudalímetro: es un instrumento para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido o para la medición del gasto másico, Estos aparatos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido. En la presente investigación se utilizó un caudalímetro ultrasónico, marca KUF, modelo KUFS2000A2.

Laptop: Para el procesamiento de la información recolectada se utilizó una Laptop Notebook, de marca HP de 14", con softwares de procesamiento de información como Excel y Matlab.

3.2. Métodos y formulación de mecánica de fluidos

3.2.1. *Ecuación de continuidad.*

Define la conservación de la masa de fluido a través de dos secciones (sean éstas A_1 y A_2) de un conducto o tubo de corriente, donde se establece que la masa que entra es igual a la masa que sale. Dando lugar a que la formulación de la ecuación de continuidad como se presenta en **(2)**:

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 = C \quad (2)$$

Donde:

A_1, A_2 : Área transversal de la tubería.

v_1, v_2 : Velocidad del fluido.

ρ_1, ρ_2 : Densidad del fluido.

Para el caso de fluidos incompresibles, la densidad es constante, **(3)**

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = Q \quad (3)$$

Donde:

Q : Caudal m^3/s .

3.2.2. *Ecuación de Bernoulli para fluidos incompresibles.*

Si una corriente de fluido pasa por una o varias máquinas, y en el trayecto se suministra energía (mecánica o potencial), incrementando su energía total, con la finalidad de llevar el fluido hacia una mayor altura, este proceso equivale al

funcionamiento de un sistema de bombeo de fluido desde un punto bajo hacia un punto de mayor altura. En proceso inverso para a un sistema de bombeo se, denomina turbina, y tiene por finalidad disminuir la energía total de un fluido, que por encontrarse a cierta altura y al desplazarse hacia una menor altura, se convierte parte de la energía potencial en energía para movimiento de alguna máquina, de esta forma se puede obtener energía de la caída de agua, y se expresa en (4):

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \sum H_{r1-2} + \sum H_b - \sum H_t = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (4)$$

Donde:

$\frac{P_1}{\rho g}, \frac{P_2}{\rho g}$: Alturas de presión

z_1, z_2 : Alturas geodésicas

$\frac{v_1^2}{2g}, \frac{v_2^2}{2g}$: Alturas de velocidad

$\sum H_{r1-2}$: Suma de las pérdidas hidráulicas entre las alturas 1 y 2

$\sum H_b$: Suma de los incrementos de alturas proporcionados por las bombas instaladas entre las alturas 1 y 2.

$\sum H_t$: Suma de los incrementos de la altura absorbida por los motores (turbinas) instalados entre las alturas 1 y 2.

3.2.3. **Pérdidas primarias de energía**

Las pérdidas primarias de energía se originan por el rozamiento de la tubería, por accesorios que lleva a lo largo de todos los conductos y se expresan en (5):

$$H_{rp} = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

Donde:

H_{rp} : Pérdida de la carga primaria.

λ : Coeficiente de pérdida de carga primaria.

L : Longitud de la tubería.

D : Diámetro de la tubería

v : Velocidad media del fluido.

3.3.3.1 Número de Reynolds

Es un parámetro adimensional, que permite determinar el tipo de régimen de un fluido, siendo en este caso de régimen laminar o turbulento, depende de la velocidad, el diámetro y la viscosidad del flujo, ver **(6)**.

$$Re = \frac{VxD}{v} \quad (6)$$

Donde:

V : Velocidad del flujo.

D : Diámetro de la tubería, que en este caso permanece constante.

v : Viscosidad cinética del agua, también constante.

Si $Re < 2000$, el flujo es laminar.

Si $Re > 2000$, el flujo es turbulento.

3.3.3.2 Rugosidad relativa en la tubería

Toda superficie genera rozamiento, que frena el libre flujo del fluido, esto debido a que presenta rugosidad a lo largo de su dimensión, los manuales nos facilitan datos para el cálculo, estos son los responsables de las pérdidas que se generan a lo largo de una tubería, ver **(7)**.

$$e = \frac{k}{D} \quad (7)$$

Donde:

e : Rugosidad relativa (adimensional)

k : Rugosidad absoluta (en unidades de longitud)

D : Diámetro de la tubería

3.3.3.3 Parámetro de Darcy- Weisbach

A través de este parámetro se calculan las pérdidas energéticas, y se expresan a través de la ecuación **(8)**

$$H_{rt} = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

Donde:

H_{rt} : Pérdidas de energía en unidades de longitud

λ : Coeficiente de fricción

L : Longitud de la tubería

D : Diámetro

v : Velocidad

g : Constante de gravedad

El coeficiente de fricción " λ " es función del número de Reynolds.

Para calcular este coeficiente se han propuesto una serie de ecuaciones empíricas, ya que no hay un sustento teórico para su obtención, además de tablas, nomogramas y gráficos que se han implementado en los manuales de los fabricantes de equipos.

3.3.3.4 Ecuación de Pouiseuille

A través de esta ecuación se determina un factor de fricción, y se aplica a fluidos de régimen laminar, tuberías lisas y rugosas, **(9)**.

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (9)$$

3.3.3.5 Ecuación de blasius

Esta ecuación propone una expresión en la que el factor de fricción viene dado sólo como una función del número de Reynolds, para flujos turbulentos, tuberías lisas, $Re < 100000$, ver ecuación **(10)**.

$$\lambda = \frac{0.316}{Re^{1/4}} \quad (10)$$

3.3.3.6 Primera ecuación de Kármán - Prandtl

Para flujos turbulentos a través de tuberías lisas, $Re > 100000$, se calcula el coeficiente de fricción a través de **(11)**

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = [2 \log_{10}(Re\sqrt{\lambda})] - 0.8 \quad (11)$$

3.3.3.7 Ecuación de Colebrook- White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10}\left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}}\right) \quad (12)$$

3.3.3.8 Segunda ecuación de Kármán – Prandtl

Para flujo declaradamente turbulento, a través de tuberías rugosas, Re toma valores crecientes al aumentar k/D , y se expresa a través de la ecuación **(13)**.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10} \frac{D}{2k} + 1.74 \quad (13)$$

3.2.4. Pérdidas secundarias

Las pérdidas secundarias son las pérdidas de forma, que tienen lugar en las transmisiones (estrechamientos o expansiones de la corriente), codos, válvulas, y toda clase de accesorios de tuberías, y se expresa en la ecuación **(14)**.

$$H_{rs} = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (14)$$

Donde:

H_{rs} : Pérdidas de carga secundaria

ζ : Coeficiente adicional de pérdidas de carga secundaria.

v : Velocidad media en la tubería.

g : Constante gravitacional.

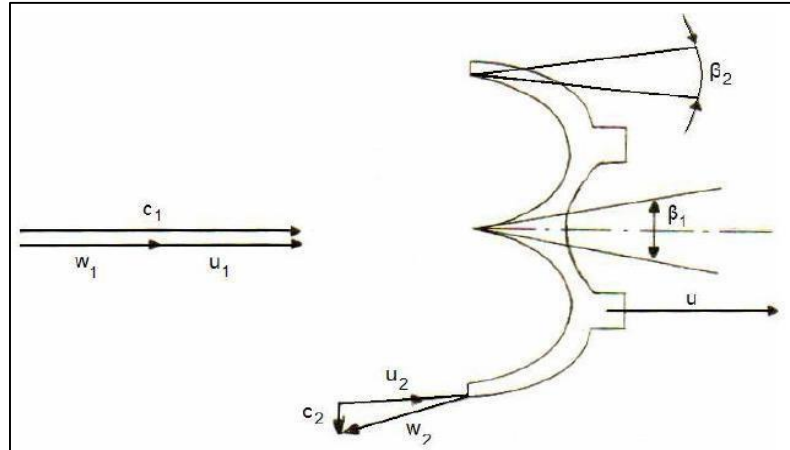
El coeficiente ζ de la ecuación depende del tipo de accesorio, el número de Reynolds, de la rugosidad y hasta de la configuración de la corriente antes del accesorio. Claudio Mataix- Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas.

3.3. Parámetros asociados al diseño de una turbina Pelton

3.3.1. *Triángulo de velocidades*

Para hacer los cálculos se asumió que el chorro pegara por completo y constantemente en la cazoleta o álabe, y que este siempre ataca en dirección perpendicular a la arista o nervio central de esta. En la práctica no es así, ya que la cazoleta solo recibe el chorro completo en una parte de su arco de actividad y el ángulo de ataque no es constante.

Figura N° 16 : corte de la cazoleta o alabe atacado por el chorro de agua y triángulos de velocidades de entrada y salida.



Fuente: (León Ribero & Riveros Santos, 2013)

En la Figura N° 16, se observa una vista de corte de la cazoleta o cuchara en el plano que siempre es atacado por el fluido. La velocidad absoluta del agua a la entrada (\bar{c}_1) tiene igual dirección que la velocidad tangencial del rodete (\bar{u}), por lo cual se obtiene un triángulo de velocidades que obliga a tener un ángulo β_1 de entrada nulo, situación que en la práctica no es posible debido a que la arista o

nervio central no se puede tener un espesor nulo. Esto se traduce en la existencia de un choque entre el chorro y el álabe de su arista o nervio central, pero será despreciado para fines de cálculo, ver (León Ribero & Riveros Santos, 2013).

A la entrada se tiene \bar{c}_1 , \bar{u}_1 , \bar{w}_1 con la misma dirección y sentido así.

$$\bar{c}_1 = \bar{u}_1 + \bar{w}_1 \quad (15)$$

Donde \bar{c}_1 es la velocidad de salida del chorro (del inyector), mientras que a la salida la velocidad relativa \bar{w}_2 tiene dirección del ángulo β_2 . Luego, la magnitud de la proyección de \bar{c}_2 en la dirección de \bar{u}_2 (c_{u2}), generando la ecuación (16)

$$c_{u2} = u_2 - w_2 \cos(\beta_2) \quad (16)$$

Como los puntos de entrada (1) y salida (2) del agua pertenecen a la cazoleta, se tiene que las velocidades tangenciales deben ser iguales, generando la igualdad de la ecuación (17).

$$\bar{u} = \bar{u}_1 = \bar{u}_2 \quad (17)$$

3.3.2. **Velocidad del chorro**

La velocidad del chorro teóricamente se determina de la siguiente manera:

$$c_1 = k_c \sqrt{2gH_n} \quad (18)$$

Donde:

k_c : Coeficiente de tobera

H_n : Altura neta

g : Gravedad

Por la forma del inyector, k_c varía entre 0.96 y 0.98 %.

3.3.3. **Potencia ideal**

La máxima potencia que se puede obtener con un salto de agua H_n y un caudal Q , se calcula a través de la ecuación (19).

$$N_i = \frac{\rho g Q H_n}{75} \quad (19)$$

Donde: Q : Caudal, ρ : Densidad, g : Gravedad, H_n : Altura neta.

3.3.4. **Número específico de revoluciones**

La velocidad específica (n_s), es el número de revoluciones por minuto (rpm) que da una turbina con otras dimensiones pero de similar forma (a escala) a una altura de 1m, que generaría 1cv de potencia.

$$n_s = n \sqrt{N_i} / H_n^{\frac{5}{4}} \quad (20)$$

Donde: n : Rpm, N_i : Potencia en el eje (cv), H_n : Altura neta.

3.3.5. **Número de chorros**

Cantidad de inyectores que se debería de instalar al contorno del rodete.

$$(n_s)_i = 576 \varphi^{\frac{1}{2}} \times Z^{\frac{1}{2}} \times k_p \times \left(\frac{d}{D}\right) \quad (21)$$

Se asume $(d/D) = 1/10$ que indicaría una relación perfecta, y se despeja Z .

Dónde: Z : chorros o inyectores.

3.3.6. **Diámetro del chorro**

El diámetro del chorro dependerá de las dimensiones de la cazoleta, (22)

$$d = \left[\left(\frac{4Q}{\pi * Z} \right) \left(\frac{1}{\varphi(\sqrt{2gH_n})} \right) \right]^{0.5} \quad (22)$$

Dónde: Q : Caudal, Z : Número de chorros, φ : Coeficiente

3.3.7. **Diámetro del rodete**

Se define el diámetro del rodete en función al diámetro de la rueda en la que se fijan las cucharas. Dónde: D : Diámetro del rodete, d : Diámetro del chorro.

$$D = \frac{576 \times \varphi^{\frac{1}{2}} \times Z^{\frac{1}{2}} \times K_p \times d}{(n_s)_i} \quad (23)$$

3.3.8. *Diámetro Externo e Interno*

$$D_{ext} = D + 2d \quad (24)$$

$$D_{int} = D - 2d \quad (25)$$

3.3.9. *Número de cucharas*

Cantidad de álabes que se fijaran en la rueda motriz, dónde: D: Diámetro del rodete, d: Diámetro del chorro.

$$N_{cu} = 12 + (0.74)\left(\frac{D}{d}\right) \quad (26)$$

3.3.10. *Dimensiones de las cazoletas o álabes*

En la Figura N° 17, se muestran las dimensiones de las cazoletas o álabes en función al diámetro del chorro, entre las ecuaciones (27) y (30), se detallan los cálculos del diámetro del chorro (d), ancho del álabe (b), profundidad del álabe (t), largo del álabe (h), Ancho en el destalonamiento (a)

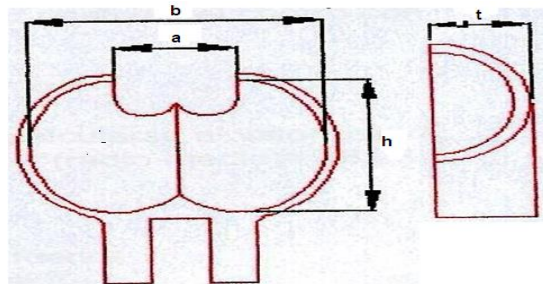
$$b = 2.85d \quad (27)$$

$$t = 0.9d \quad (28)$$

$$h = 2.4d \quad (29)$$

$$a = 1.2d \quad (30)$$

Figura N° 17: Dimensiones de las cazoletas o álabes en función del diámetro del chorro



Fuente: (León Ribero & Riveros Santos, 2013)

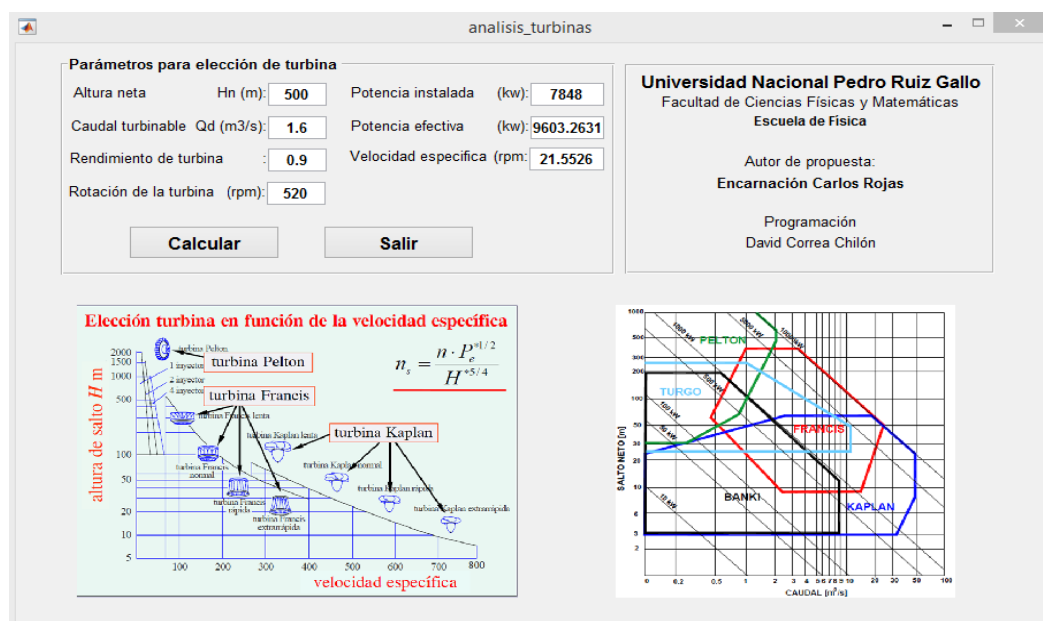
CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1. Propuesta y Análisis de diseño de una turbina Pelton

4.1.1. Propuesta de diseño de turbina Pelton

El potencial de energía eléctrica que se pueda generar por una cascada o quebrada, se basa en el flujo de agua, la altura de la caída de agua, el rendimiento y capacidad de rotación de la turbina, todos estos parámetros permiten determinar el tipo de turbina (Pelton, Francis y Kaplan) que mejor se adapte a las características físicas de la catarata, y se basan en los principios físicos de conservación de energía, entre energía potencial y cinética, los cuales fueron descritos en la sección anterior. En este sentido se desarrolló e implemento una Interface Grafica de Usuario (GUI) para la identificación del tipo de turbina, este aplicativo tiene la capacidad de calcular la potencia efectiva, y la velocidad de rotación especifica a lograr por el flujo de agua, Figura N° 18.

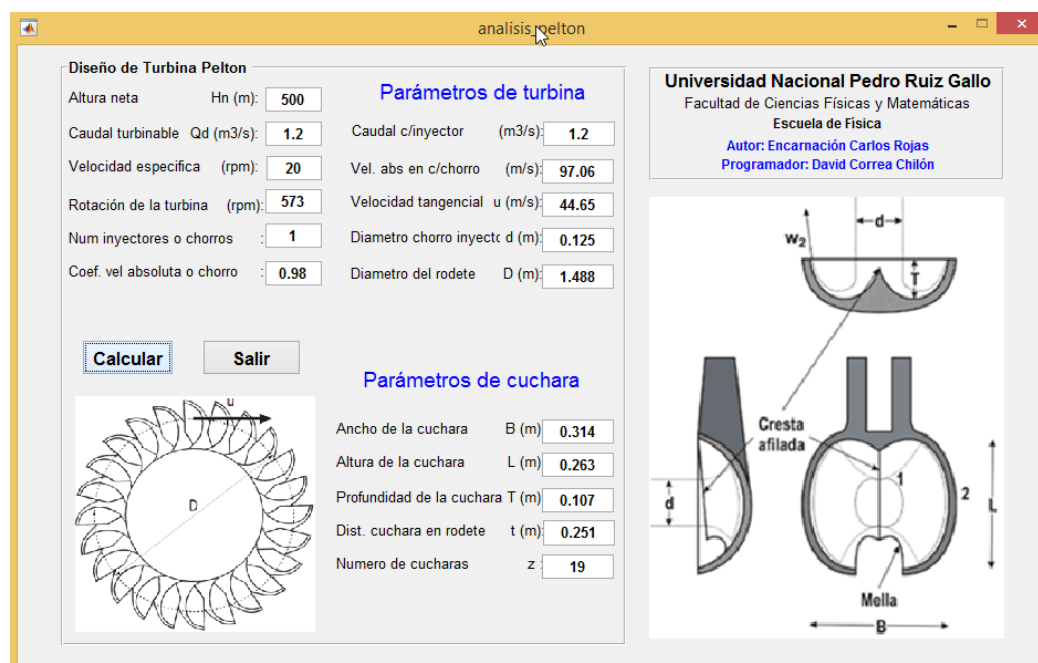
Figura N° 18: Interface grafica de usuario desarrollado para la identificación del tipo de turbina a implementar.



Fuente: Elaboración conjunta ¹

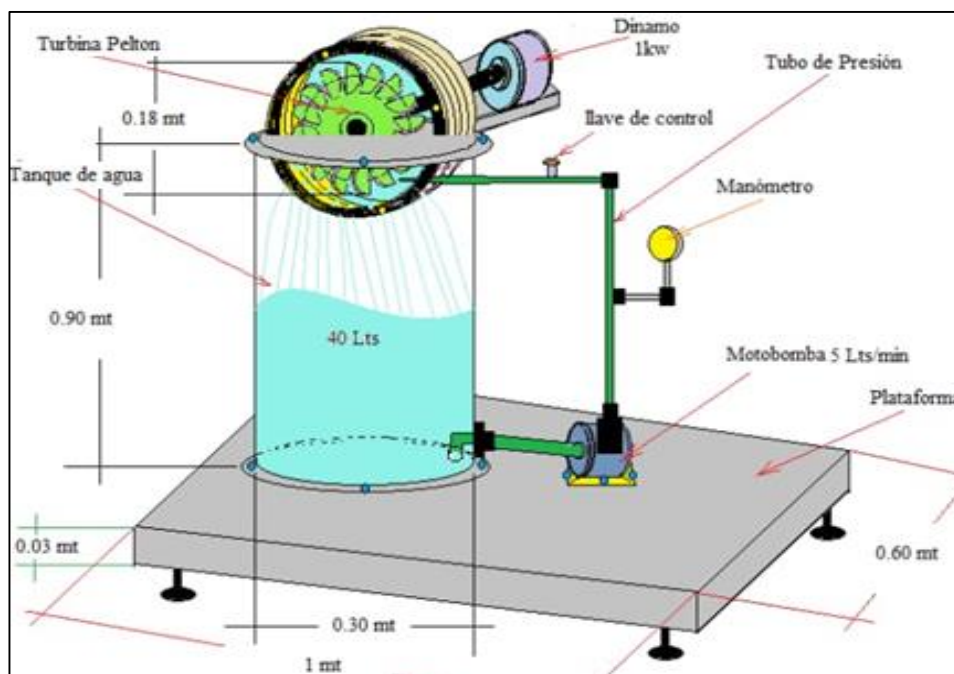
¹ Se desarrolló en colaboración con el Lic. Físico David Correa, quien apoyo en la programación e implementación del aplicativo en el software Matlab, versión 2017a

Figura N° 19: Interface grafica de usuario para la determinación de dimensiones del rodete y numero de cazoletas de un turbina Pelton.



Fuente: Elaboración conjunta ²

Figura N° 20 : Propuesta de diseño de turbina Pelton para pequeña planta hidroelectrica



Fuente: Elaboración propia

² Se desarrolló en colaboración con el Lic. Físico David Correa, quien apoyo en la programación e implementación del aplicativo en el software Matlab, versión 2017a

Debido al alto costo de fabricación de una turbina Pelton, es necesario verificar que el diseño propuesto asegure una alta eficiencia para la obtención de energía eléctrica. Con este propósito se construyó un prototipo de una turbina Pelton a escala para laboratorio, la cual fue instalada sobre una plataforma metálica de 8 mm de espesor, sobre un tanque de acero inoxidable AISI 304, de 2 mm de espesor, ver la Figura N° 21 y Figura N° 22.

Toda turbina funciona en una central hidroeléctrica, se compone de los siguientes elementos y funciones:

- ✓ El embalse que crea a la altura H.
- ✓ La tubería que transporta el caudal de agua.
- ✓ La turbina hidráulica que transforma energía hidráulica en mecánica.
- ✓ El generador eléctrico que transforma energía mecánica en eléctrica.
- ✓ Sin embargo, en el prototipo se replican a escala los componentes de la central hidroeléctrica.
- ✓ La bomba centrífuga hace las veces del embalse (5 - 200 Litros/minuto).
- ✓ La tubería desde la bomba centrífuga hasta el inyector equivale a la tubería desde el embalse hasta la casa de máquinas.
- ✓ La turbina Pelton con su válvula de inyección.
- ✓ El dinamo reemplaza al generador eléctrico.
- ✓ El cilindro de acero inoxidable con agua es el caudal de desagüe.
- ✓ Las variables que se deben medir en toda prueba son:
- ✓ La altura (H) se ajusta con la presión de la bomba y se mide con el manómetro.
- ✓ El caudal de agua (Q) y se mide con el caudalímetro.
- ✓ Par motor o torque es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia $T = P_s/n$. Donde, P_s es la potencia suministrada, y n es la velocidad de rotación la turbina.

-
- ✓ La velocidad de rotación (n) la cual depende de las otras variables y se mide con un tacómetro.

Figura N° 21: Prototipo terminado de turbina tipo Pelton (vista de la parte superior) para una pequeña planta hidroeléctrica.



Fuente: Foto registrada por el autor.

Figura N° 22: Prototipo terminado de turbina tipo Pelton (vista total) para una pequeña planta hidroeléctrica.



Fuente: Foto registrada por el autor

4.1.2. **Análisis del diseño de turbina Pelton**

La evaluación del diseño de la turbina Pelton se realiza a través de la eficiencia del funcionamiento de la turbina y se representa con la siguiente ecuación.

Ecuación para calcular la eficiencia de la energía.

$$\eta = (\text{potencia mecánica}) / (\text{potencia hidráulica}) = (F \cdot b \cdot \omega) / (\gamma \cdot QH)$$

Donde η es un número adimensional.

El cual es igual en el prototipo y en la planta real.

F.b es la tendencia de la fuerza para girar la polea alrededor del eje (torque).

ω es la velocidad angular de la turbina.

H es la altura equivalente a la presión de la bomba centrífuga.

Q es el caudal.

γ es el peso específico del agua.

Estos valores son diferentes en el modelo del prototipo y en la planta de la central hidroeléctrica.

La eficiencia se grafica en un plano de la altura (mH₂O) y del caudal para poder cubrir todo el campo de operación de la turbina.

Durante la evaluación del prototipo de la turbina Pelton, se debe seguir la siguiente secuencia de pasos:

- i. Cargar el tanque de agua luego cerrar la válvula de paso de agua.
- ii. Prender la bomba centrífuga hasta que alcance la presión máxima manométrica.
- iii. Abrir poco la válvula de paso de agua hasta obtener un chorro adecuado en el inyector.

-
- iv. Una vez que el prototipo esté funcionando obtener las lecturas en el manómetro, caudalímetro, tacómetro, tomar datos nueve veces.
 - v. Abrir un poco más la válvula de paso de agua, repetir las mismas pruebas nueve veces.
 - vi. Continuar con el procedimiento 15 veces hasta obtener una presión 10 PSI, siempre tomar 9 lecturas cada vez que se abre más la válvula de paso de agua.
 - vii. Una vez obtenido las 15 aberturas de la válvula de paso de agua, promediar los datos y hacer los cálculos de error.
 - viii. Con los datos obtenidos calculamos la eficiencia, la altura en (mH₂O), luego graficamos para su interpretación y conclusión.

4.2. Análisis de capacidad de generación de energía eléctrica del prototipo de turbina Pelton

Esta sección tiene por finalidad evaluar la capacidad de generación de energía eléctrica por parte del prototipo de turbina Pelton, lo cual se realiza a través de la evaluación de diversos parámetros de funcionamiento del prototipo de turbina Pelton para una hidroeléctrica, ver Tabla 3.

En la Figura N° 23, se muestran los resultados de la evaluación de la presión del chorro de agua sobre la rotación del prototipo de la turbina Pelton, llegándose a determinar que el prototipo de la turbina inicia con una presión de 150 PSI y con velocidad angular de 72 rpm, y a medida que disminuye la presión del chorro de agua sobre las cazoletas de la turbina, la velocidad de rotación de la turbina aumenta, alcanzando una velocidad angular de 5400 rpm con presión de 2 PSI.

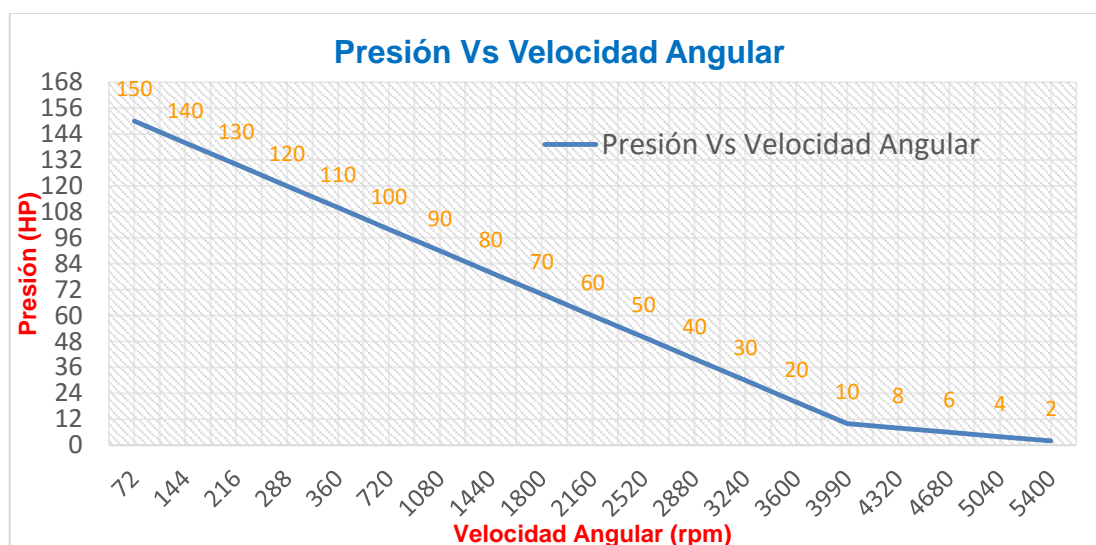
Tabla 3 : Valores Numéricos de presión, velocidad Angular, caudal y potencia obtenidos de la evaluación del prototipo de turbina Pelton para una hidroeléctrica

N°	Presión (PSI)	Velocidad Angular (rpm)	Caudal (Litros/ m)	Potencia (HP)
1	150	72	2.96	0.0003
2	140	144	6.24	0.0015
3	130	216	9.12	0.0032
4	120	288	11.94	0.0055
5	110	360	14.82	0.0084
6	100	720	29.64	0.0300
7	90	1080	44.46	0.0800
8	80	1440	58.68	0.1300
9	70	1800	73.80	0.2100
10	60	2160	88.20	0.3000
11	50	2520	103.20	0.4100
12	40	2880	117.60	0.5300
13	30	3240	132.60	0.6800
14	20	3600	147.00	0.8300
15	10	3990	163.20	1.0200
16	8	4320	176.40	1.2000

N°	Presión (PSI)	Velocidad Angular (rpm)	Caudal (Litros/ m)	Potencia (HP)
17	6	4680	191.40	1.4100
18	4	5040	206.40	1.6200
19	2	5400	220.80	1.8700

Fuente: Elaboración Propia

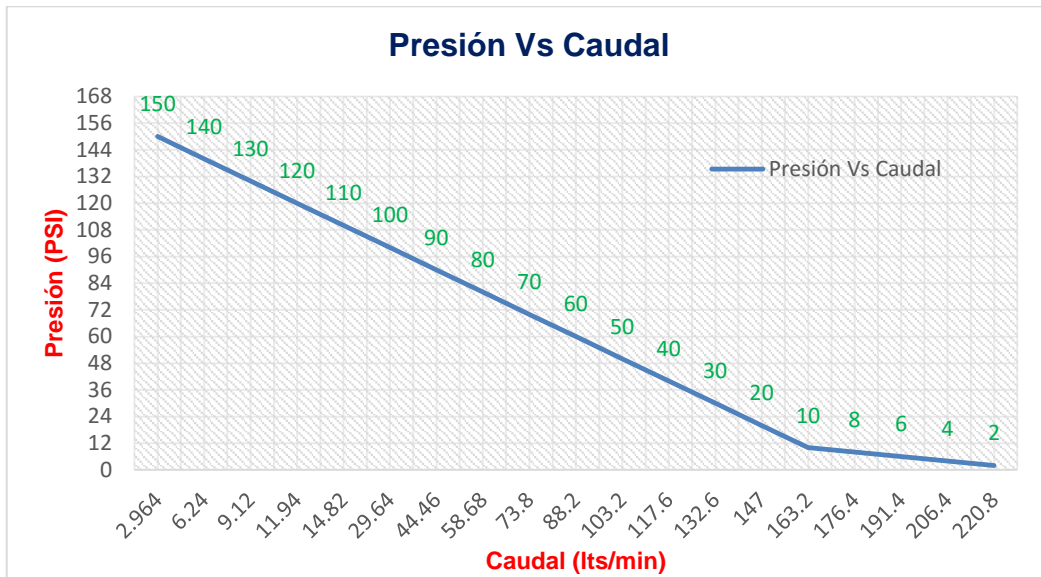
Figura N° 23: Resultado de Presión vs Velocidad Angular de la evaluación del prototipo de turbina Pelton.



Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 24, se muestran los resultados de la evaluación de la presión del chorro de agua en función del caudal que fluye por la turbina Pelton, llegándose a determinar que el prototipo de la turbina inicia con una presión de 150 PSI, recibiendo en sus alabes un caudal de 2.964 Litros/min, y a medida que disminuye la presión del chorro de agua, el caudal incrementa, llegando a alcanzando un caudal de 220.8 Litros/min en las cazoletas del prototipo de la turbina.

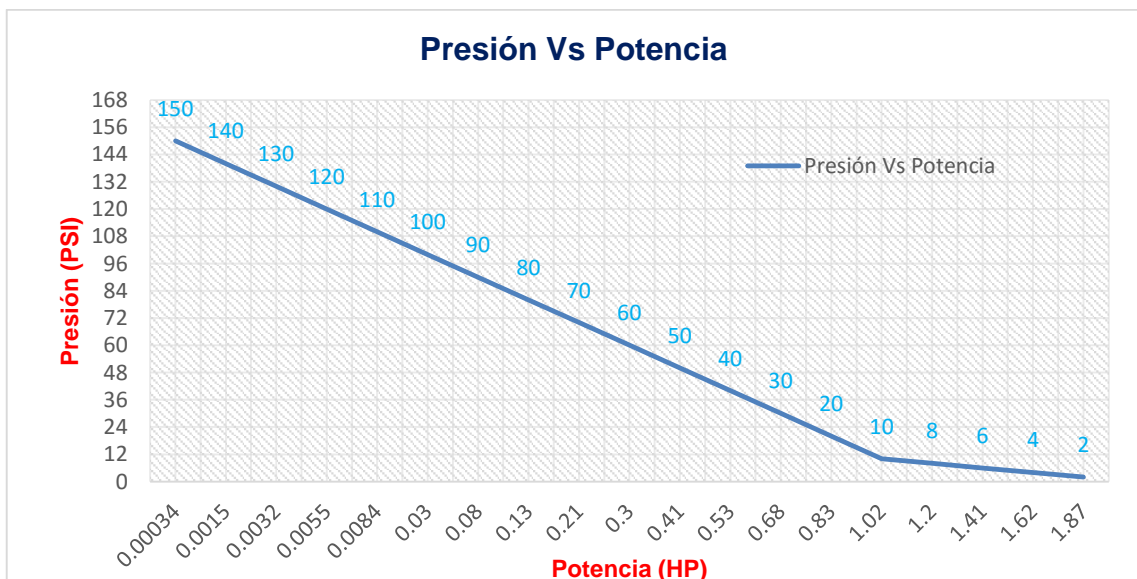
Figura N° 24: Resultado de Presión vs Caudal de la evaluación del prototipo de turbina Pelton.



Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 25, se muestran los resultados de la evaluación de la presión del chorro de agua en función de la potencia de la turbina Pelton, llegándose a determinar que el prototipo de la turbina inicia con una presión de 150 PSI con una potencia de 0.00034 HP, y a medida que disminuye la presión del chorro de agua, la potencia del prototipo de la turbina aumenta, hasta alcanzar una potencia de 1.87 HP.

Figura N° 25: Presión vs Potencia de la evaluación del prototipo de turbina Pelton.



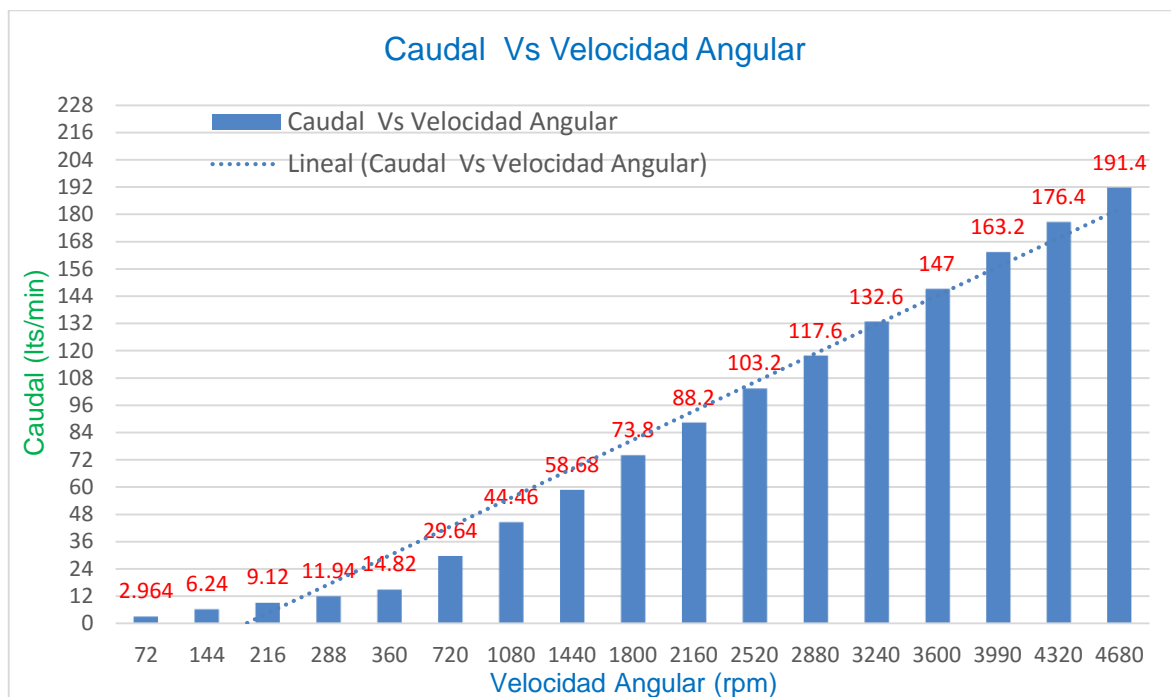
Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 26 se muestra la variación de la relación del caudal del flujo de agua que llega a las cazoletas del prototipo de la turbina en función de la velocidad de rotación de la turbina, llegándose a determinar que a medida que el caudal aumenta, también aumenta la velocidad de rotación de la turbina, en una proporción lineal, alcanzando un caudal del 191.4 Litros/min para una velocidad de rotación de 4680 RPM

En la Figura N° 27 se muestra la variación de la relación de la potencia de la turbina en función de la velocidad de rotación de la turbina, llegándose a determinar que a medida que la velocidad de rotación de la turbina aumenta, la potencia de la turbina también aumenta, la proporción de incremento se da en una relación exponencial, alcanzado una potencia de 1.87 HP para una velocidad de rotación de 5400 RPM.

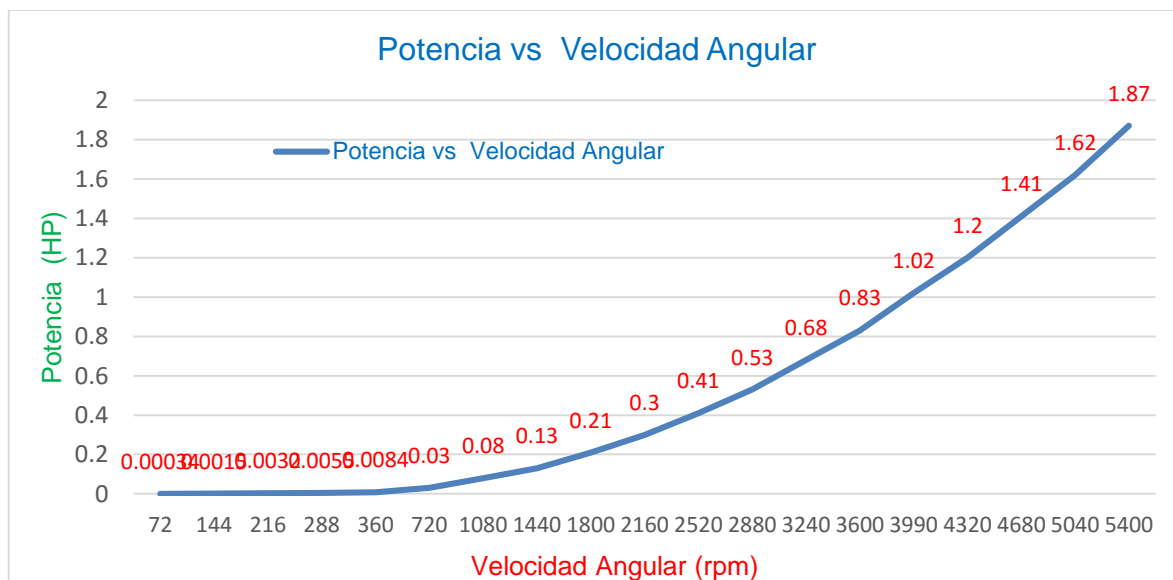
En la Figura N° 28 se muestra la variación de la relación de la potencia de la turbina en función del caudal de agua que fluye por las cazoletas de la turbina, llegándose a determinar que a medida que el caudal de agua que fluye por la turbina aumenta, la potencia de la turbina aumenta, la proporción de incremento se da en una relación exponencial, alcanzado una potencia de 1.41 HP para un caudal de 191.4 Litros/min.

Figura N° 26: Resultado de Caudal vs Velocidad Angular de la evaluación del prototipo de turbina Pelton.



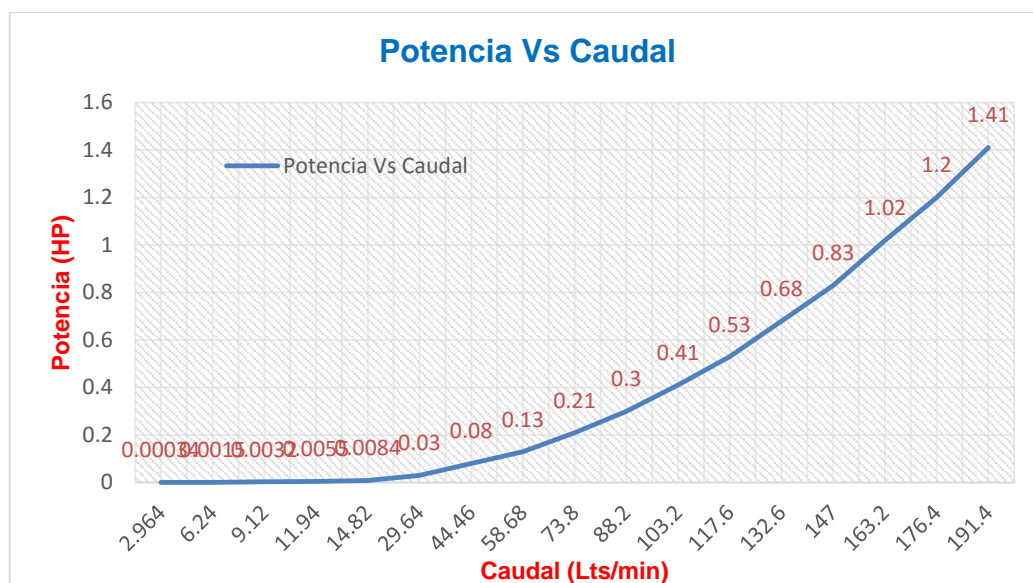
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 27: Potencia vs Velocidad Angular de la evaluación del prototipo de turbina



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 28: Potencia vs Caudal de la evaluación del prototipo de turbina Pelton.



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4, se muestra un resumen de los valores máximos, mínimos, promedio y desviación estándar de los parámetros evaluados del prototipo de la turbina Pelton para un planta hidroeléctrica en el distrito de Manseriche, en el Daten del Marañón, Loreto.

Tabla 4 : Límites Máximos y Límites Mínimos de la Presión, Velocidad Angular, Caudal y Potencia en la evaluación del Prototipo Hidroeléctrico

Variables	Velocidad Angular (rpm)	Caudal (Lts/min)	Potencia (HP)	Presión (PSI)
Promedio	2313.16	94.66	0.54	64.2
Desviación estándar	1768.65	72.25	0.59	49.0
Límite Máximo	4081.81	166.91	1.14	113.3
Límite Mínimo	544.50	22.40	-0.05	15.1

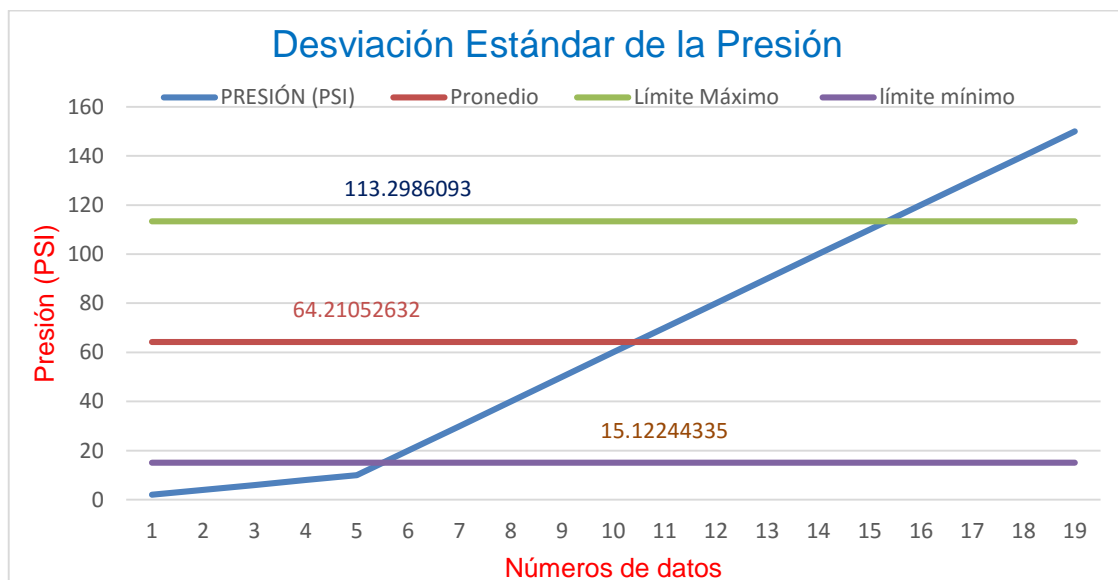
Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 29 se muestra la presión ejercida por el fuljo del agua sobre las cazoletas, las cuales van desde 113.3 hasta 15.1 PSI, con un valor promedio de 64.2 PSI.

En la Figura N° 30 se muestra los diferentes flujos de caudales evaluados a través del prototipo de la turbina de Pelton, llegándose que la turbina funcionaría sobre una

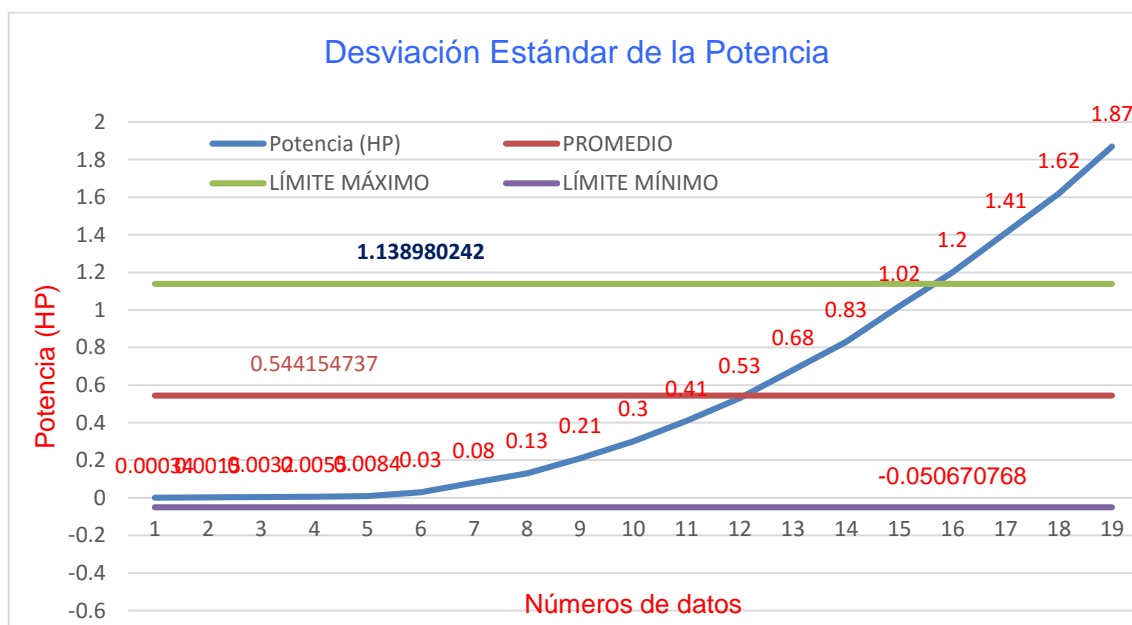
potencia mínima de 0.54 HP. Adicionalmente se determinó que el prototipo proporcionaría una potencia máxima de 1.139 HP. Cumpliendo de esta manera con la estimación de potencial requerida.

Figura N° 29 : Resultado de la desviación estándar de la presión de la evaluación del prototipo de turbina Pelton.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 30 : Resultado de la desviación estandar de la potencia de la evaluación del prototipo de turbina Pelton.

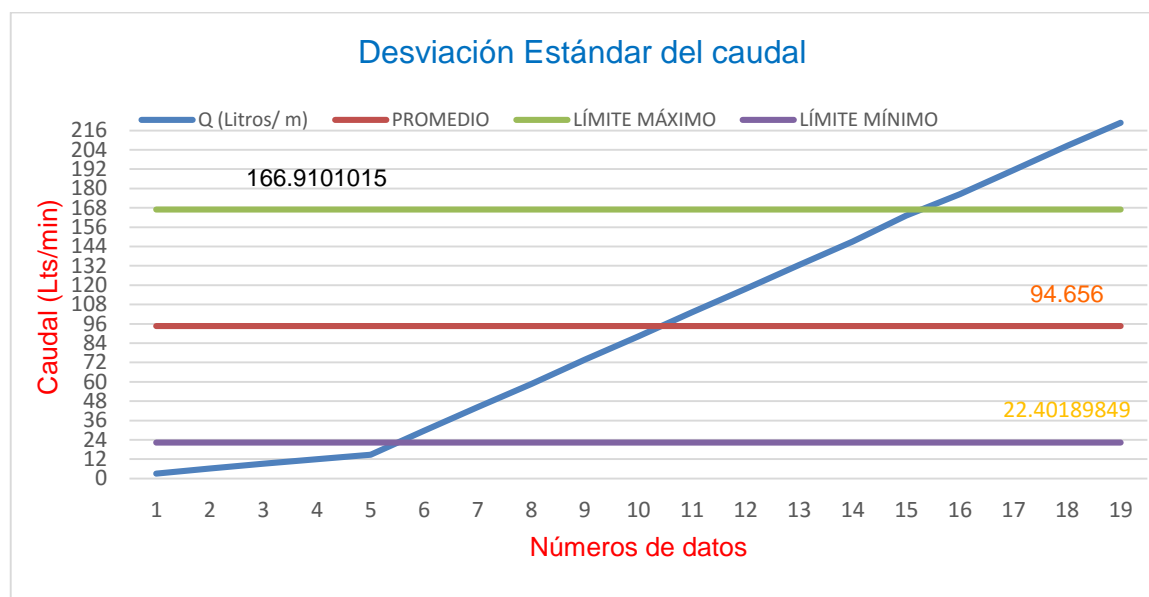


Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 31, se muestran los caudales adecuados para el funcionamiento del prototipo de la turbina Pelton, que oscila entre un caudal mínimo de 22.4 Litros/min hasta un máximo de 166.9 Litros/min, con promedio de 94.7 Litros/min.

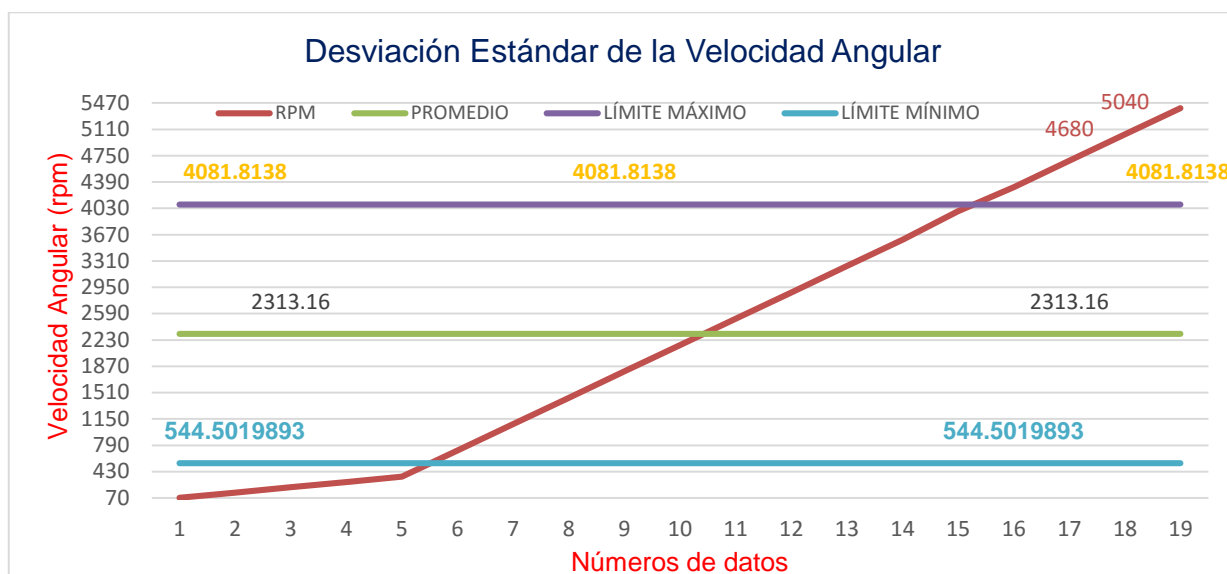
En la Figura N° 32, se muestra que el prototipo de la turbina Pelton podría alcanzar un rendimiento óptimo que oscilaría entre un valor mínimo de 544.5 RPM, y un máximo de 4081 RPM, con una velocidad promedio de 2313 RPM, coincidiendo con valores de tablas de diseño turbinas, de dimensiones de diámetro como las que se evaluaron en la presente investigación.

Figura N° 31 : Resultado de la desviación estandar del caudal de la evaluación del prototipo de turbina Pelton.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 32 : Resultado de la desviación estandar de la velocidad angular de la evaluación del prototipo de turbina Pelton.



Fuente: Elaboración propia

4.3. Evaluación de viabilidad de construcción de una planta hidroeléctrica

La viabilidad de la construcción de una planta hidroeléctrica en el distrito de Manseriche depende en primer lugar de contar con lugares con caídas de agua (cataratas y quebradas), que garanticen el aprovechamiento de la energía potencia del agua, por otro lado, se necesita contar con un caudal de agua mínimo necesario para alimentar la planta hidroeléctrica, para asegurar su funcionamiento durante gran parte del año, la disponibilidad del flujo de agua va asociado a la ocurrencia de precipitaciones en la zona, en la Tabla 5 y Tabla 6, se muestran los caudales promedios de precipitación registrados durante los meses de enero a diciembre de los años 2016 y 2017, en la catarata Santa Rosa, en la comunidad Awajun Santa Rosa, Manseriche, en el Daten del Maraón, Loreto.

Tabla 5 : Registro de caudales de las precipitaciones en la catarata de la comunidad Santa Rosa durante el año 2016

Meses	Caudal m³/s	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo
Enero	7.7	6.71666667	8.839920197	4.593413136
Febrero	8.84	6.71666667	8.839920197	4.593413136
Marzo	9.12	6.71666667	8.839920197	4.593413136
Abril	9.15	6.71666667	8.839920197	4.593413136
Mayo	8.25	6.71666667	8.839920197	4.593413136
Junio	8.16	6.71666667	8.839920197	4.593413136
Julio	5.71	6.71666667	8.839920197	4.593413136
Agosto	4.61	6.71666667	8.839920197	4.593413136
Setiembre	3.44	6.71666667	8.839920197	4.593413136
Octubre	3.35	6.71666667	8.839920197	4.593413136
Noviembre	4.67	6.71666667	8.839920197	4.593413136
Diciembre	7.6	6.71666667	8.839920197	4.593413136

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Registro de caudales de las precipitaciones en la catarata de la comunidad Santa Rosa durante el año 2017

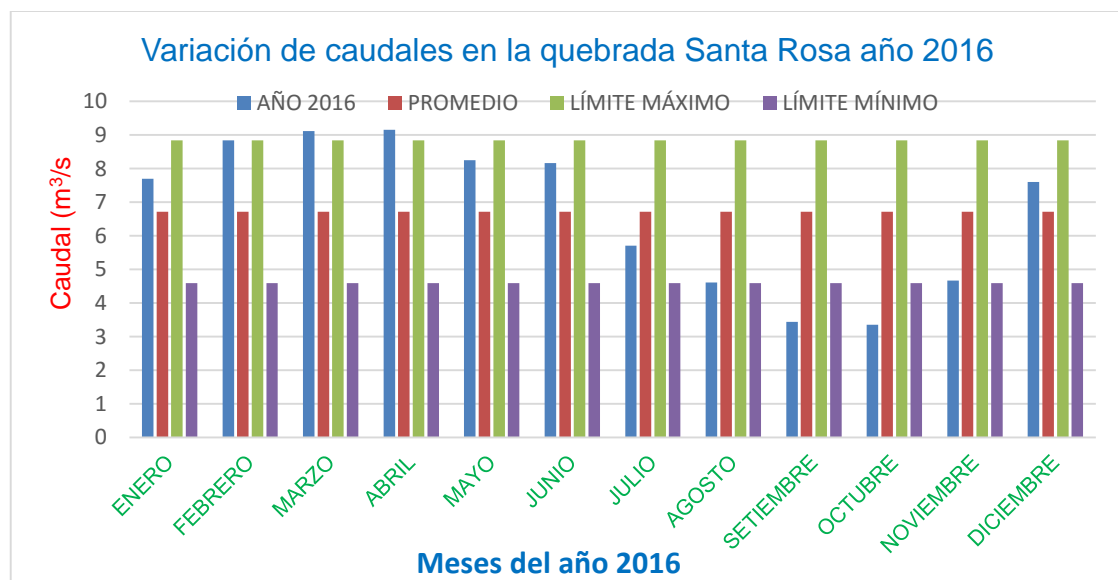
Meses	Caudal m³/s	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo
Enero	8.76	6.92583333	8.707216028	5.144450638
Febrero	7.65	6.92583333	8.707216028	5.144450638
Marzo	9.55	6.92583333	8.707216028	5.144450638
Abril	8.67	6.92583333	8.707216028	5.144450638
Mayo	7.78	6.92583333	8.707216028	5.144450638
Junio	6.98	6.92583333	8.707216028	5.144450638
Julio	6.45	6.92583333	8.707216028	5.144450638
Agosto	5.56	6.92583333	8.707216028	5.144450638
Setiembre	4.67	6.92583333	8.707216028	5.144450638

Meses	Caudal m ³ /s	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo
Octubre	3.45	6.92583333	8.707216028	5.144450638
Noviembre	5.34	6.92583333	8.707216028	5.144450638
Diciembre	8.25	6.92583333	8.707216028	5.144450638

Fuente: Elaboración propia.

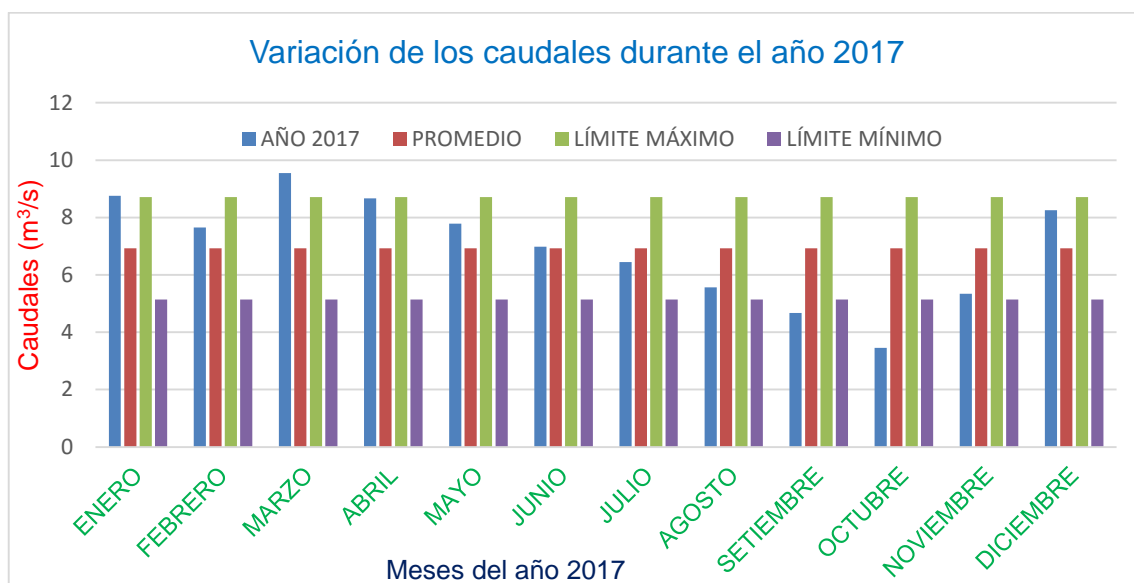
El caudal promedio durante los meses del año 2016 fue de 6.72 m³/s, disminuyendo a un mínimo de 4.6 m³/s para épocas de sequía, alcanzando un máximo de 8.8 m³/s, en época lluviosa, ver Figura N° 33. Mientras que para los meses del año 2017, se registró un caudal promedio de 6.93 m³/s, disminuyendo hasta un mínimo de 5.14 m³/s para épocas de sequías, alcanzando máximo de 8.71 m³/s para épocas lluviosas, Figura N° 34. Llegándose a determinar que la catarata Santa Rosa de la comunidad Awajun registra caudales suficientes para la instalación de una Planta hidroeléctrica con una turbina Pelton.

Figura N° 33 : Variación de caudales en la catarata Santa Rosa año 2016.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 34 : Variación de caudales en la catarata Santa Rosa año 2017.



Fuente: Elaboración propia

4.4. Pruebas de funcionamiento del prototipo de turbina Pelton

A partir del análisis de las características de flujo de agua y la determinación de las dimensiones de la turbina se llegó a desarrollar el prototipo de la turbina Pelton, la cual alcanzaría a desarrollar una potencia de 1.14 Hp, una velocidad de giro igual a 4081 rpm, con un caudal de diseño igual a 167 Litros/min, con una presión de diseño igual a 113 Psi.

Los componentes del prototipo, fueron fabricados en la empresa Turbinas Ayala, el rodete fue fabricado en aluminio fundido, con las dimensiones siguientes: 137 mm de diámetro, con 17 alabes y con un inyector de chorro de 11mm de diámetro.

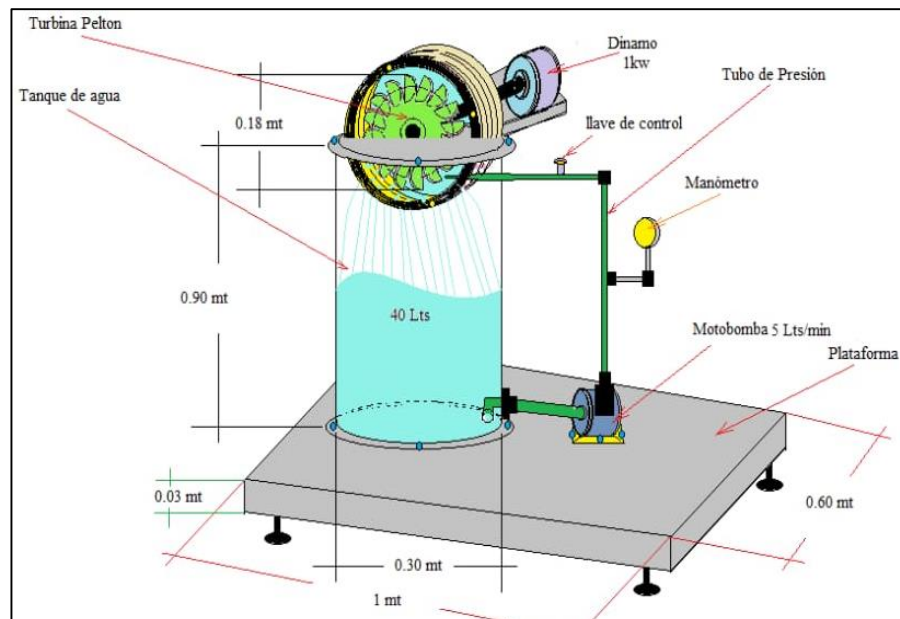
Para la evaluación del prototipo se utilizaron: Una bomba centrífuga de 2 Hp de marca Leo, con un caudal de 140 Litros/min, que hizo la función de la caída neta de agua a una altura de 110 cm, un tacómetro digital Lazar y de contacto de marca Víctor 6236P, los tacómetros fueron usados para medir las revoluciones en la turbina al impactar el chorro de agua en los alabes, un manómetro Enzo ITALY DESIGN INDUSTRIAL TOOLS con lecturas en PSI y bar con un rango de lectura

de 0 a 170 Psi, usado para medir las diferentes presiones del caudal de agua, un Caudalímetro ultrasónico modelo KUFS2000A2, para medir los caudales de agua.

El módulo cuenta con los elementos necesarios para la generación de energía eléctrica a partir de la energía hidráulica, sin embargo, se pueden adicionar algunos componentes como instrumentos de medición y una línea de derivación de la tubería de descarga que simule la caída del agua lluvia a un tanque que se puede ubicar en la parte posterior de la represa.

El principio básico de funcionamiento del prototipo es muy similar al de una pequeña central hidroeléctrica (PCH); la represa en el prototipo es la bomba centrífuga, ya que es el que proporciona la altura necesaria para que el chorro al final de la conducción tenga la suficiente energía cinética para impactar sobre los alabes de la turbina y la haga girar, para este caso se tiene un circuito cerrado que consiste en tomar agua de un depósito y transportarlo a través de una tubería que está acoplada con una tobera en la descarga, aumentando la energía cinética del chorro e impactando en la turbina al igual que la PCH. Seguidamente, esta misma cantidad de agua que sale y pasa por la turbina se atrapa, y se aprovecha la gravedad para conducirla al mismo depósito de succión de la bomba.

Figura N° 35 : Propuesta de diseño de turbina Peñton en circuito cerrado para el prototipo de turbina Pelton



Fuente: Elaboración propia

Las primeras pruebas de funcionamiento del prototipo de la turbina Pelton, se realizó el día 20 de julio del 2018, en un inicio llegó a generar energía eléctrica de 220 voltios y 0.5 amperios de corrientes, lo cual fue considerado un buen inicio, en una segunda evaluación, el prototipo de la turbina logró generar energía eléctrica de 220 voltios y 1 amperios, mientras que durante la tercera evaluación se llegó a generar energía eléctrica de 220 voltios y 2 amperios de corriente.

El segundo conjunto de pruebas se realizó el día 21 de julio del 2018, durante estas pruebas, el prototipo de la turbina Pelton, llegó a alcanzar energía eléctrica con voltaje mayor a 220 voltios y 3 amperios de corriente, en la última prueba, se logró alcanzar 220 voltios y 5 amperios de corrientes eléctrica.

En la Tabla 7, se muestran los resultados obtenidos durante las pruebas de funcionamiento del prototipo de turbina Pelton, con un caudal de flujo de agua de 35 Litros/segundos, fueron realizadas el día 20 y 21 de julio del 2018, en cada día se realizaron tres pruebas cada día. El prototipo de la

pequeña planta hidroeléctrica generó 1.5 Hp de energía eléctrica a 220 voltios con un dinamo de 2 Hp de potencia, de frecuencia de 60 Hz, de 6 Amperios.

Tabla 7 : Resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento del prototipo de turbina Pelton, durante los días 20 y 21 julio del 2018

Prueba	20/07/2018	21/07/2018
1	220 volt, 0.5 amp	220 volt, 3 amp
2	220 volt, 1 amp	220 – 230 volt, 5 amp
3	220 volt, 2 amp	220 – 240 volt, 5 – 6 amp

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 36 : Foto de prueba de prototipo de Turbina Pelton.



Fuente: Foto registrada personalmente

4.5 Pruebas de optimización del prototipo de la turbina tipo Pelton

Los valores de las variables obtenidos en la prueba de evaluación se agrupan en tres valores adimensionales, los cuales se graficaron y servirán para diseñar cualquier tipo de turbina tipo Pelton de tamaño real. Los datos recolectados se muestran en el anexo 7.2.

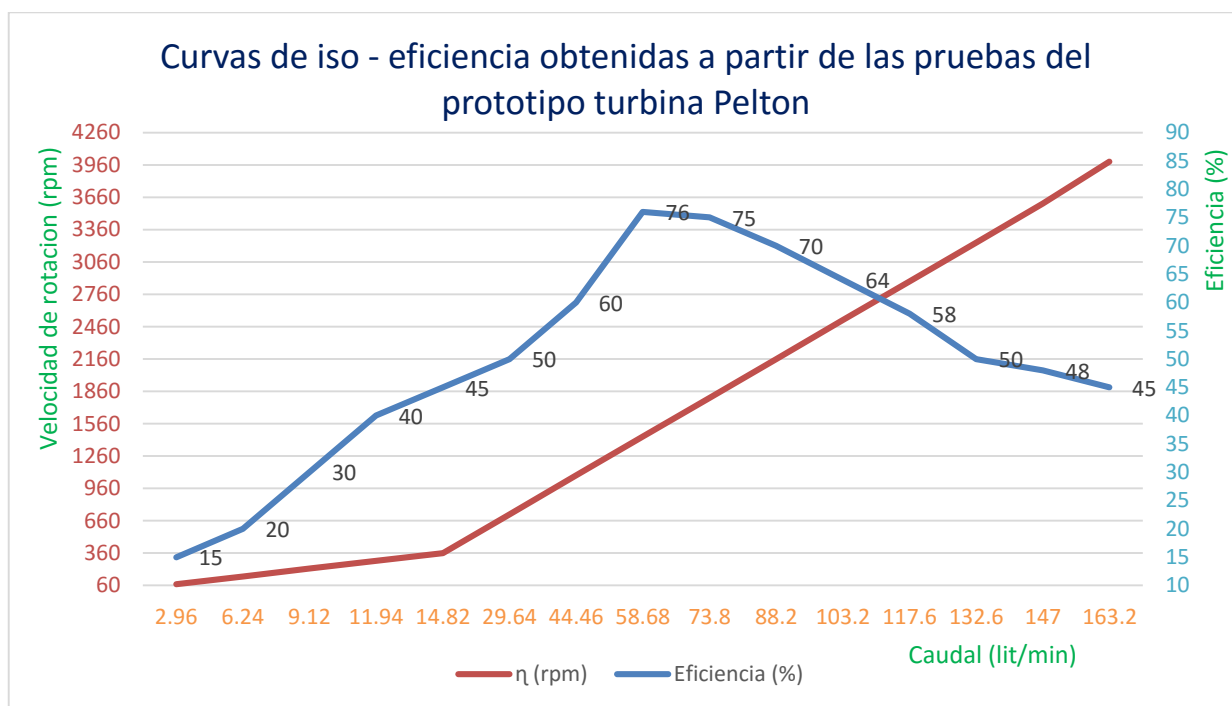
En la Figura N° 37, muestran el comportamiento de la velocidad y la eficiencia en función al caudal de agua. Determinándose que .conforme se va abriendo la válvula de agua, el caudal aumenta provocando mayor revolución en el eje de la turbina, alcanzando una revolución de 3990 rpm, mientras la eficiencia baja a 45%, como consecuencia de pérdida de presión en la bomba. Esto nos lleva a concluir que la planta real podría trabajar con un salto neto de 7 metros, ver Tabla 8.

Tabla 8 : Eficiencia del prototipo en función de la velocidad angular y del caudal durante todo su campo de operación de la turbina.

N°	Velocidad de Rotación n (rpm)	Caudal Q (L/min)	Eficiencia η (%)
1	72	2.96	15
2	144	6.24	20
3	216	9.12	30
4	288	11.94	40
5	360	14.82	45
6	720	29.64	50
7	1080	44.46	60
8	1440	58.68	76
9	1800	73.8	75
10	2160	88.2	70
11	2520	103.2	64
12	2880	117.6	58
13	3240	132.6	50
14	3600	147	48
15	3990	163.2	45

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 37 : Curvas de iso-eficiencia en función de la velocidad de rotación vs el caudal en el prototipo de la turbina Pelton.



Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 38, se muestran los valores de la eficiencia obtenida para diferentes ajustes del caudal mediante la llave de paso de agua; los datos indican que cuando el sistema entra en funcionamiento, la bomba centrífuga alcanza la presión máxima, equivalente a una altura de 105 mH₂O de agua, con un caudal mínimo de 2.96 Litros/min, produciendo una eficiencia de 15%, a medida que el caudal aumenta el sistema es más eficiente, alcanzando una eficiencia máxima del 76 %. A partir de su rendimiento máximo desciende hasta un 45% lo que nos indica que la turbina alcanza su velocidad máxima de rendimiento, porque el caudal es casi constante en el inyector al impactar con los alabes de la turbina.

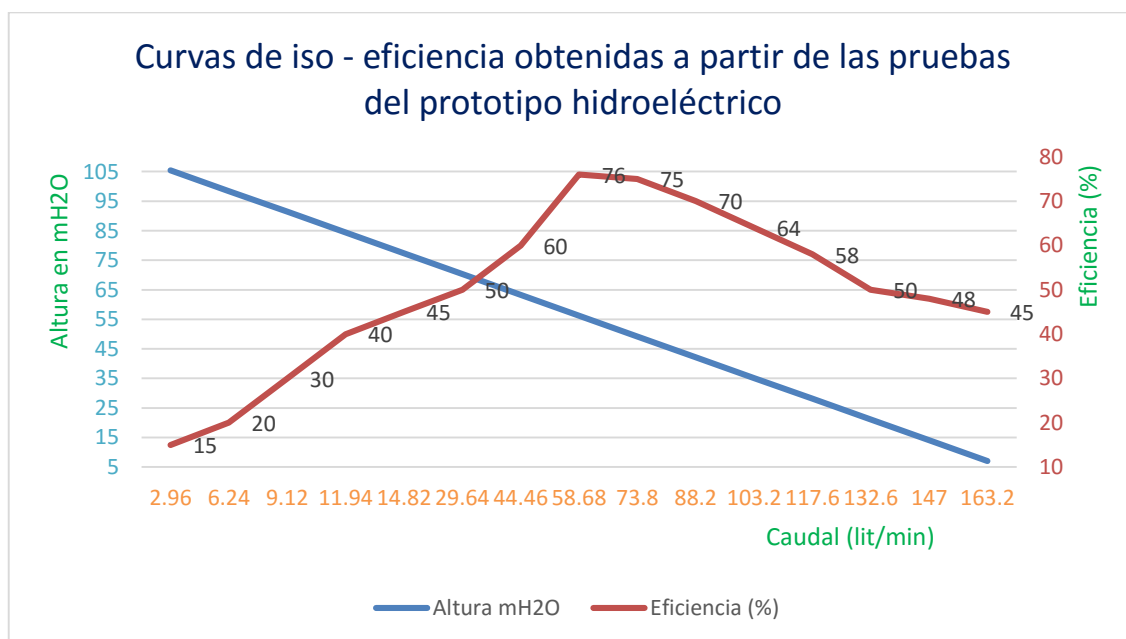
El ensayo de la evaluación muestra que cuando el caudal supera los 30 Litros/min la turbina alcanza la eficiencia óptima, y eficiencia superior al 50%, ver Tabla 9.

Tabla 9 : eficiencia del prototipo en función de la altura y del caudal durante todo su campo de operación de la turbina

N°	Altura manométrica mH ₂ O	Caudal Q (lit/m)	Eficiencia η (%)
1	105.46	2.96	15
2	98.43	6.24	20
3	91.4	9.12	30
4	84.37	11.94	40
5	77.34	14.82	45
6	70.31	29.64	50
7	63.28	44.46	60
8	56.25	58.68	76
9	49.213	73.8	75
10	42.183	88.2	70
11	35.151	103.2	64
12	28.121	117.6	58
13	21.09	132.6	50
14	14.06	147	48
15	7.03	163.2	45

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 38 : Curvas de iso-eficiencia en función de la altura manométrica vs caudal en el prototipo de la turbina Pelton



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y DISCUSIONES

5.1. Conclusiones

- i. Se desarrolló el diseño de un prototipo de turbina Pelton, considerándose las características de la catarata y la eficiencia estimada y las dimensiones de tamaño del rodete y el número de cazoletas de una turbina Pelton, basado en parámetros y principios físicos de conservación de energía cinética y mecánica se diseñó un prototipo de turbina Pelton.
- ii. Se evaluó la capacidad de generación de energía eléctrica de la catarata Santa Rosa de la comunidad Awajun Villa Saramiriza, del distrito de Manseriche, llegándose a determinar que cuenta con un alto potencial energético por presentar disponibilidad de agua durante todo el año, por las condiciones natural de la zona.
- iii. Se llegó a diseñar e implementar un prototipo de una turbina Pelton, la cual fue sometida a pruebas de generación de energía eléctrica, llegándose a generar 1.5 Hp de energía eléctrica a 220 voltios con un dinamo de 2 Hp de potencia nominal a una frecuencia de 60hz, con un amperaje de 2 amperios de corriente. Las pruebas de eficiencia muestran que el prototipo de la turbina Pelton tendría una eficiencia superior al 50%.
- iv. La evaluación el prototipo de la turbina Pelton cumple con todas las características para implementarse en proyectos hidroeléctricos el distrito de Manseriche, el Datem del Marañón Loreto, ya que cuenta con recursos hídricos de promedio anual de 6.83 m³/s y un salto de agua de altura neta de 60 m, este proyecto beneficiaría al mismo distrito, y comunidades nativas Awajun en aproximadamente 1000 familias.
- v. De acuerdo a la evaluación de los caudales durante los años 2016 y 2017, el promedio del caudal es de 6.83 m³/s, bajando a 4.87 m³/s, esto demuestra que el caudal es suficiente para implementar el proyecto en una planta hidroeléctrica en el distrito de Manseriche, el Datem del Marañón Loreto.

5.2. Discusiones

Los resultados de la presente investigación, muestra que las cataratas de la zona de la comunidad Awajun Villa Saramiriza, del distrito de Manseriche, Loreto, presentan condiciones para la generación de energía eléctrica a través del uso de turbinas de tipo Pelton, y se sientan las bases para posteriores estudios, que podrías abordar propuesta de rediseño y mejora de eficiencia de las turbinas para la captación de energía eléctrica en la región Loreto. Similares procedimientos siguieron Chuque y Ayllon en el año 2012, al analizar la sensibilidad y sostenibilidad económica del potencial hidro-energético en la cuenca Lircay, Huancavelica, antes la instalación de la central hidroeléctrica en Angaraes (Huancavelica).

CAPITULO VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda que en estos tipos de prototipos hidroeléctricos la presión del agua no debe superar los 113 psi.
- ✓ Utilizar para hacer la toma de datos instrumentos digitales, para mayor precisión, así evitar márgenes de errores muy grandes.
- ✓ Para la implementación del prototipo de la turbina Pelton, el caudal debe superar los 22 Litros/min, caso contrario no se tendría buena eficiencia de la turbina.
- ✓ Se debe promover la implementación de prototipos de turbinas a escala en los laboratorios de las universidades, ya que sería de bastante utilidad para realizar pruebas de diseño.

BIBLIOGRAFÍA

- Abhishek, S., Vishnu, P., & Kumar, A. (2010). Numerical Simulation of Pelton Turbine Nozzle for Different Shapes of Spear. *Mat.Sci.Res.India*, 8(1). doi:<http://dx.doi.org/10.13005/msri/080108>
- Alania Meléndez, M. Á. (2017). *Regulación por sistema electrohidráulico para obtener velocidad constante de la turbina Pelton de la FIMUNCP*. Informe de tesis para optar el grado de ingeniero mecánico, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
- Bermudez Rodríguez, F. J. (2014). *Rediseño de la turbina Pelton de la minicentral hidroeléctrica del Distrito de Pataz para aumentar su producción de energía eléctrica*. Informe de tesis de pregrado, Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Trujillo.
- BID. (05 de agosto de 2015). *Hablemos de sostenibilidad y cambio climático*. (E. Ibarra, Editor) Recuperado el 17 de mayo de 2020, de El río Marañón, ¿fuente de vida y de energía?: <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/maranon-river-a-source-of-life-and-energy/>
- BUN-CA. (2002). *Manuales Sobre Energía Renovable: Hidráulica A Pequeña Escala /Biomass Users Network (Bun-Ca)* (1er Edición ed.). San José, Costa Rica. Obtenido de <http://www.bun-ca.org/publicaciones/HIDRA.pdf>
- Carlos Rojas, E. (2016). Prototipo de una pequeña planta hidroeléctrica. Manseriche, Datem del Marañón, Perú.
- Chuque Suasnabar, E. R., & Ayllon Clemente, E. E. (2012). *Estudio técnico y económico del potencial hidroenergetico de la cuenca de Lircay para la instalación de una central hidroeléctrica de 9100 Kw, Angaraes - Huancavelica*. Informe de tesis para optar título profesional, Universidad Nacional del Centro, Huacayo, Perú.
- COLLEGE OF POWER TECHNOLOGY. (1997). Entrenamiento en mini centrales hidroeléctricas. *Curso de base, módulo 1*.
- Cuandovisitar. (17 de mayo de 2020). *Cuandovisitar*. Recuperado el 17 de mayo de 2020, de Pronóstico del clima para Saramiriza: https://www.cuandovisitar.pe/peru/saramiriza-2984388/#Clima_Saramiriza
- Decreto Supremo. (26 de abril de 2011). Declaran de interés nacional y social la construcción de veinte (20) centrales hidroelectricas en la cuencia del río El Marañón. *Decreto Supremo 020-2011-EM*. Lima, Lima, Perú: Diario El Peruano.

-
- El Comercio. (23 de agosto de 2017). Loreto: corriente de río arrasa varias casas en Saramiriza. (D. Carbajal, Ed.) Loreto, Datem del Maraón, Perú. Recuperado el 17 de mayo de 2020, de <https://elcomercio.pe/peru/loreto/loreto-corriente-rio-arrasa-casas-saramiriza-noticia-452670-noticia/?ref=ecr>
- FAEITCH. (28 de febrero de 2012). *Blog Faeitch*. Obtenido de Turbina Pelton: <https://faeitch2012.wordpress.com/2012/02/28/turbinas-pelton>
- Hanco Cruz, R. (2019). *Análisis de la repotenciación de una turbina tipo pelton*. Informe de tesis para optar el grado de ingeniero, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Huerta Estrada, J. (2015). *Diseño de un sistema de regulación de velocidad de una turbina peltón usando el algoritmo PI digital*. Informe de tesis para optar el grado de ingeniero, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- I.E.P.V.A. Gran Mariscal Andrés Bello Cáceres. (22 de julio de 2016). *Prototipo de una planta hidroeléctrica*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=zLxBn-M5OE4>
- INEI. (2015). *Mapa de pobreza provincial y distrital 2013*. Lima: INEI.
- INEI. (2017). *XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas o Censo peruano de 2017*. Perú.
- Kenneth, J. (1978). *Bombas selección uso y mantenimiento*. Mc Graw Hill.
- León Ribero, J. H., & Riveros Santos, V. A. (2013). *Diseño, construcción, montaje y operación de una turbina pelton para generar electricidad*. Informe de tesis para optar grado de ingeniero, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia.
- Mataix, C. (1982). *Mecánica de fluidos y maquinas hidraulicas*. Madrid, España: Del Castillo.
- Murray Garcia, H. E. (2005). *Controles de calidad en la fabricación de un rodete Pelton*. Informe de tesis para optar el grado de ingeniero mecánico de fluidos, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de ciencias físicas, Lima.
- Orozco Aceves, G. (2016). *diseño y construcción de un prototipo de turbina para generación de energía eléctrica en una micro planta*. Informe de tesis para optar el grado de maestro en ciencias en ingeniería mecánica, Instituto Politécnico Nacional ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México D.F.
-

Pérez Pantoja, P. (2007). GRUPO DE GENERACIÓN KAPLAN TUBULAR PARA 3 kW DE CAPACIDAD. 1.

ProyContra . (14 de febrero de 2019). *Pro y Contra, noticias regional de la amazonia*. (Pro y Contra) Recuperado el 17 de mayo de 2020, de Sin ayuda en Santa Rosa y Chapis: <http://proycontra.com.pe/sin-ayuda-en-santa-rosa-y-chapis/>

ProyContra. (09 de enero de 2019). *Pro y Contra, noticias regional de la amazonia*. (Pro y contra) Recuperado el 17 de mayo de 2020, de Plantean declarar en emergencia provincia de Datem del Marañón: <https://proycontra.com.pe/plantean-declarar-en-emergencia-provincia-de-datem-del-maranon/>

Sqala. (08 de marzo de 2019). <https://www.sqala.tv/noticias/regionales>. (Sqala TV) Recuperado el 17 de mayo de 2020, de Camión se quedó atascado interrumpiendo el pase: <https://www.sqala.tv/noticias/regionales/bagua-camion-se-quedo-atascado-interrumpiendo-el-pase/>

Streeter, V. L., Wyle, E. B., & Bedford, k. W. (2011). *Mecánica de fluido* (Novena edición ed.). Santafé de Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.

Tapia, A., Millán, P., Gómez-Estern, F., Lerardi, C., & del Nozal, A. (2017). Modelado de micro-central hidráulica para el diseño de controladores con aplicación en regiones aisladas de Honduras.

Tilahun, N., Engeda, A., & Dribssa, E. (2017). Design, Modeling, and CFD Analysis of a Micro Hydro Pelton Turbine Runner: For the Case of Selected Site in Ethiopia. (R. Al-Waked, Ed.) *International Journal Rotating Machinery, Rotating Machinery in Renewable Energy Systems*, 17. doi:<https://doi.org/10.1155/2017/3030217>

Vélez Uribe, G. (1985). *Diseño y construcción de un módulo didáctico de una micro central hidroeléctrica*. Informe de tesis para obtener grado de ingeniero, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.

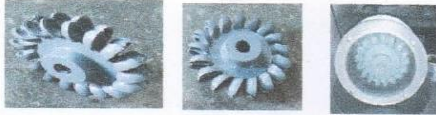
Wikipedia. (19 de abril de 2020). *Distrito de Manseriche*. Recuperado el 17 de mayo de 2020, de https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Manseriche

Židonis, A., & Aggidis, G. (2014). StateoftheartinnumericalmodellingsPelton turbines. *RenewableandSustainableEnergyReviews*, 45(2015), 35–144.

ANEXOS

Anexo 01: Certificado de homologación de prototipo de turbina Pelton

PROTOTIPO DE TURBINA TIPO PELTON



Descripción:

El prototipo hidroeléctrico tipo pelton, es un sistema hidroeléctrico a escala de laboratorio, que permite mediante ensayos conocer con anticipación la eficiencia que tendrán las turbinas antes de fabricarla de este modo que los resultados que se obtengan nos indicarán los valores adecuados de las variables necesarias de las turbinas que se desee construir, siendo su principal uso en los laboratorios de mecánica de fluidos, de diferentes universidades, en los ensayos para diferentes estudios de aplicación así como para alguna empresa del rubro hidroeléctrico.

Dimensiones

Tanque de Agua		Plataforma del tanque	Plataforma de la turbina	Altura bomba inyector
Diámetro	0.3 m	1 m x 0.6 m	0.4 m x 0.6 m	1.1 m
Altura	0.9 m			

Aplicaciones

El prototipo que fue diseñado y construido para el proyecto de investigación de la tesis que tiene como título.

“Diseño y Evaluación de un Prototipo de turbina tipo pelton para una pequeña planta hidroeléctrica”

Cumple con las siguientes aplicaciones:

-Para hacer pruebas completas de ensayos obteniendo los las variables como la altura donde se ajusta con la presión de la bomba, el caudal el cual se ajusta con la variación de la válvula y se mide con el vatímetro, la velocidad de rotación la cual depende de las otras variables y se mide con el tacómetro, estos valores nos permite hallar la eficiencia en todo el rango de funcionamiento de la turbina que se quiera construir a partir de las gráficas de iso – eficiencia.

-Para hacer cálculos experimentales en laboratorios de mecánica de fluidos, con trabajos de investigación de pregrados o posgrados en las carreras afines.

Características Técnicas

1	Eficiencia (%)	30 - 76
2	Velocidad de rotación (rpm)	216 - 3990
3	Presión manométrica (PSI)	10 - 150
4	Altura manométrica (mH ₂ O)	7.03 – 91.4
5	Caudal (lit/min)	9.12 – 163.2
6	Diámetro del rodete de la turbina (mm)	137.5
7	Diámetro del inyector (mm)	11
8	Numero de alabes	17
9	Peso de la turbina (kg)	0.5

Otras Características Técnicas

La turbina pelton está construida en aluminio fundido para soportar más de 240 PSI de presión.

Referencias sobre el diseño del prototipo.

1. Interface grafica de usuario desarrollado para la identificación del tipo de turbina a implementar Físico David Correa, quien apoyo en la programación e implementación del aplicativo en el software Matlab, versión 2017a
2. Fabricación. Turbinas Ayala www.turbinasayala.blogspot.com WhatsApp 990312575.

Certificado por el profesional ingeniero mecánico


EDWIN CASTRO LOPEZ
ING. MECANICO ELECTRICISTA
C.I.P. 35511

Anexo 02: Datos registrados durante la evaluación del prototipo de la turbina Pelton

Lectura del caudalímetro durante la evaluación del prototipo para diferentes caudales.

Nº	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7	Q_8	Q_9	Q_{10}	Q_{11}	Q_{12}	Q_{13}	Q_{14}	Q_{15}
1	2.95	6.25	9.12	11.94	14.84	29.64	44.46	58.68	73.80	88.20	103.20	117.60	132.6	147.00	163.20
2	2.94	6.24	9.12	11.76	14.85	29.63	44.45	58.67	73.80	88.21	103.21	117.60	132.61	147.00	163.20
3	2.96	6.24	9.13	11.94	14.84	29.65	44.46	58.67	73.81	88.20	103.20	117.62	132.61	147.00	163.20
4	2.96	6.23	9.12	11.95	14.84	29.64	44.46	58.68	73.82	88.20	103.20	117.60	132.60	147.02	163.22
5	2.95	6.24	9.12	11.94	14.85	29.64	44.45	58.68	73.80	88.20	103.20	117.61	132.60	147.00	163.20
6	2.96	6.24	9.14	11.94	14.84	29.64	44.47	58.68	73.80	88.20	103.20	117.60	132.60	147.00	163.20
7	2.96	6.24	9.13	11.94	14.84	29.64	44.46	58.67	73.80	88.20	103.20	117.60	132.61	147.01	163.20
8	2.96	6.24	9.12	11.95	14.85	29.65	44.46	58.68	73.80	88.20	103.20	117.60	132.60	147.00	163.21
9	2.97	6.27	9.13	11.94	14.86	29.64	44.46	58.68	73.80	88.22	103.21	117.61	132.60	147.00	163.20
promedio	2.96	6.24	9.12	11.94	14.84	29.64	44.46	58.68	73.8	88.2	103.2	117.6	132.6	147	163.2
E_a	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$E_r \%$	0.34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Lectura del manómetro durante la evaluación del prototipo para diferentes presiones.

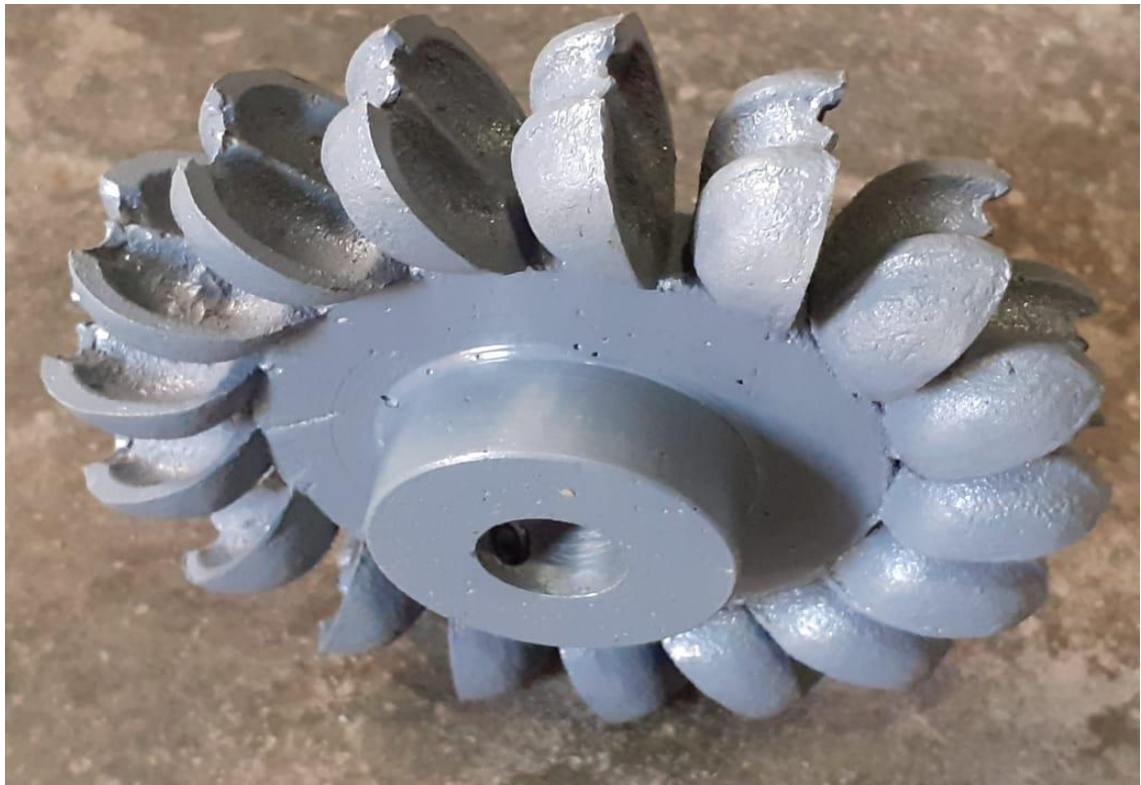
Nº	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	H_8	H_9	H_{10}	H_{11}	H_{12}	H_{13}	H_{14}	H_{15}
1	105.46	98.43	91.40	84.37	77.34	70.31	63.28	56.25	49.213	42.183	35.151	28.121	21.09	14.06	7.03
2	105.45	98.44	91.41	84.36	77.34	70.31	63.29	56.26	49.213	42.182	35.150	28.121	21.09	14.06	7.03
3	105.46	98.43	91.41	84.37	77.35	70.32	63.28	56.25	49.213	42.183	35.151	28.120	21.09	14.06	7.03
4	105.46	98.43	91.40	84.38	77.34	70.31	63.27	56.25	49.212	42.183	35.151	28.121	21.09	14.06	7.03
5	105.46	98.45	91.40	84.37	77.35	70.31	63.28	56.26	49.213	42.182	35.152	28.122	21.09	14.06	7.03
6	105.45	98.43	91.40	84.37	77.34	70.30	63.28	56.25	49.213	42.183	35.151	28.121	21.09	14.06	7.03
7	105.46	98.43	91.40	84.37	77.35	70.31	63.27	56.25	49.211	42.184	35.150	28.121	21.09	14.06	7.03
8	105.44	98.43	91.40	84.36	77.34	70.31	63.28	56.25	49.213	42.183	35.151	28.121	21.09	14.06	7.03
9	105.46	98.43	91.40	84.37	77.34	70.31	63.28	56.25	49.213	42.183	35.151	28.121	21.09	14.06	7.03
Promedio	105.46	98.43	91.40	84.37	77.34	70.31	63.28	56.25	49.213	42.183	35.151	28.121	21.09	14.06	7.03
E _a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E _r %		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Lectura del tacómetro durante la evaluación del prototipo para diferentes presiones y caudales

Nº	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8	n_9	n_{10}	n_{11}	n_{12}	n_{13}	n_{14}	n_{15}
1	72.11	144.11	216.10	288.08	360.10	720.00	1080.11	1440.10	1800.12	2160.08	2520.10	2880.00	3240.00	3600.00	3990.00
2	72.10	144.00	216.11	288.10	360.11	720.10	1080.10	1440.11	1800.00	2160.09	2520.11	2880.00	3240.11	3600.00	3990.09
3	72.00	144.11	216.11	288.10	360.00	720.00	1080.12	1440.10	1800.00	2160.00	2520.00	2880.00	3240.12	3600.00	3990.11
4	72.00	144.12	216.10	288.00	360.00	720.11	1080.00	1440.00	1800.00	2160.00	2520.00	2880.12	3240.00	3600.00	3990.10
5	72.00	144.11	216.00	288.00	360.00	720.00	1080.00	1440.00	1800.00	2160.00	2520.10	2880.10	3240.00	3600.12	3990.00
6	72.00	144.00	216.00	288.00	360.00	720.00	1080.00	1440.00	1800.00	2160.00	2520.09	2880.00	3240.00	3600.09	3990.00
7	72.11	144.00	216.00	288.10	360.00	720.10	1080.00	1440.00	1800.00	2160.10	2520.00	2880.00	3240.11	3600.08	3990.00
8	72.00	144.00	216.00	288.00	360.00	720.10	1080.11	1440.00	1800.11	2160.00	2520.00	2880.00	3240.11	3600.10	3990.00
9	72.00	144.00	216.00	288.00	360.00	720.00	1080.00	1440.00	1800.10	2160.00	2520.00	2880.11	3240.00	3600.00	3990.00
Promedio	72	144	216	288	360	720	1080	1440	1800	2160	2520	2880	3240	3600	3990
E_a	0.04	0.05	0.05	0.04	0.02	0.05	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03
$E_r \%$	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Error absoluto promedio total				0.04											
Error relativo porcentual				0.01											

Anexo 03: Fotos de partes del prototipo de la turbinad Pelton





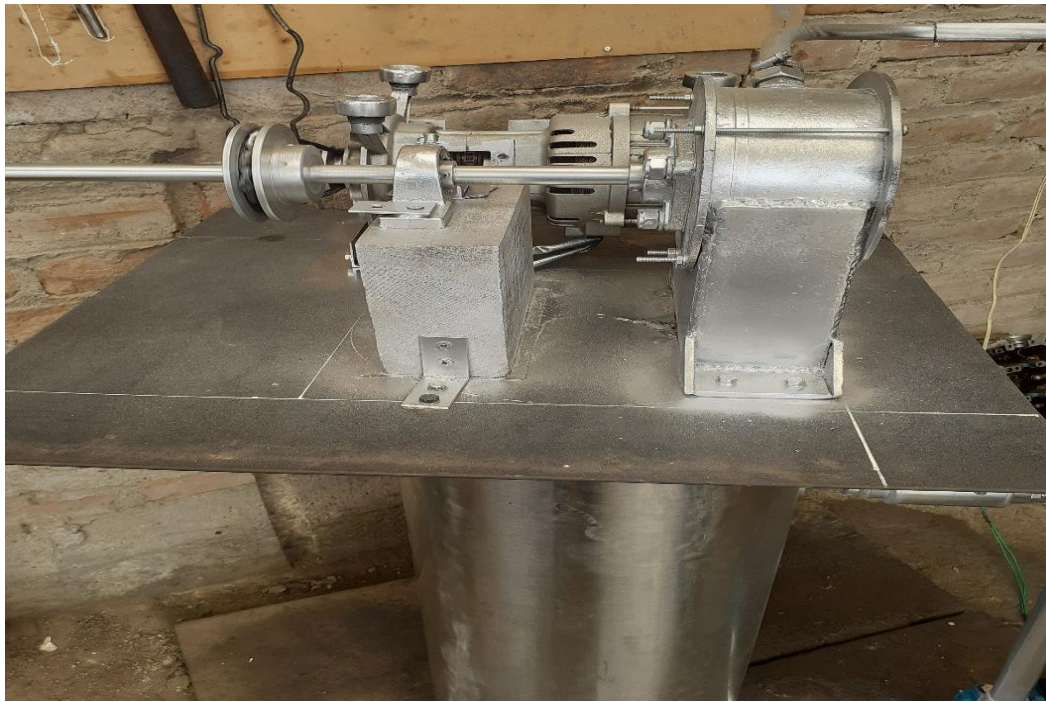




Anexo 04: Fotos de funcionamiento de prototipo de turbina Pelton



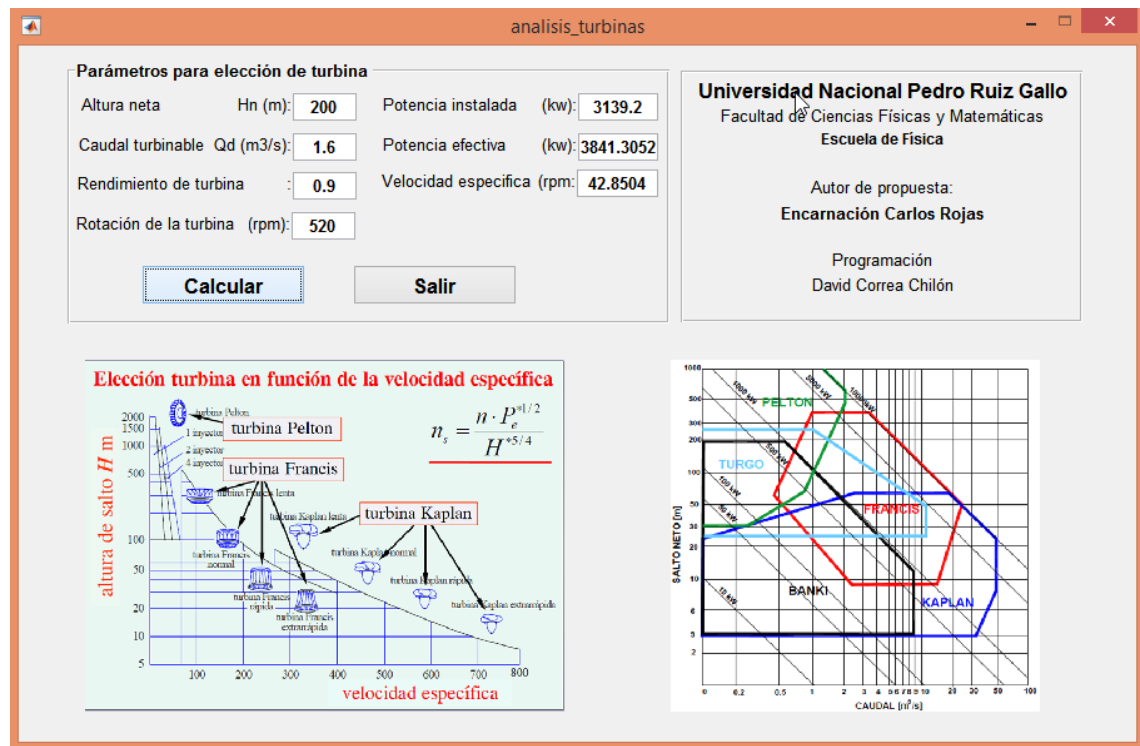






Anexo 05: Código fuente de aplicativos

Aplicativo para análisis de turbinas



```
function varargout = analisis_turbinas(varargin)
% ANALISIS_TURBINAS MATLAB code for analisis_turbinas.fig
%     ANALISIS_TURBINAS, by itself, creates a new ANALISIS_TURBINAS
%
%     H = ANALISIS_TURBINAS returns the handle to a new
ANALISIS_TURBINAS or the handle to
%     the existing singleton*.
%
%     ANALISIS_TURBINAS('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...)
calls the local
%     function named CALLBACK in ANALISIS_TURBINAS.M with the given
input arguments.
%
%     ANALISIS_TURBINAS('Property','Value',...) creates a new
ANALISIS_TURBINAS or raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property value
pairs are
%     applied to the GUI before analisis_turbinas_OpeningFcn gets
called. An
%     unrecognized property name or invalid value makes property
application
%     stop. All inputs are passed to analisis_turbinas_OpeningFcn
via varargin.
%
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows
only one
%     instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
```

```

% Edit the above text to modify the response to help analisis_turbinas

% Last Modified by GUIDE v2.5 24-May-2020 08:26:07

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @analisis_turbinas_OpeningFcn,
                  ...
                  'gui_OutputFcn',  @analisis_turbinas_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before analisis_turbinas is made visible.
function analisis_turbinas_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin    command line arguments to analisis_turbinas (see
VARARGIN)

% Choose default command line output for analisis_turbinas
handles.output = hObject;

i1 = imread('imagen_01.png');
i2 = imread('imagen_02.png');

axes(handles.axes1)
imshow(i1)

axes(handles.axes2)
imshow(i2)

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes analisis_turbinas wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = analisis_turbinas_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function Hn_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Hn_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Qd_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Qd_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Rend_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Rend_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function boton_01_Callback(hObject, eventdata, handles)

Hn = str2num(get(handles.Hn,'string'));
Qd = str2num(get(handles.Qd,'string'));
Rend = str2num(get(handles.Rend,'string'));
rpm = str2num(get(handles.rpm,'string'));

g = 9.81;    % Gravedad
pe = 9.81;    % peso especifico del agua

Pi = pe*Qd*Hn;
Pe = (Rend*Pi)/0.7355;

Ns = (rpm * sqrt(Pe))/(Hn^(5/4));

set(handles.Pi,'string',num2str(Pi))
set(handles.Pe,'string',num2str(Pe))

```

```

set(handles.Ns,'string',num2str(Ns))

function boton_02_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Pi_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Pi_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Pe_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Pe_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Ns_Callback(hObject, eventdata, handles)

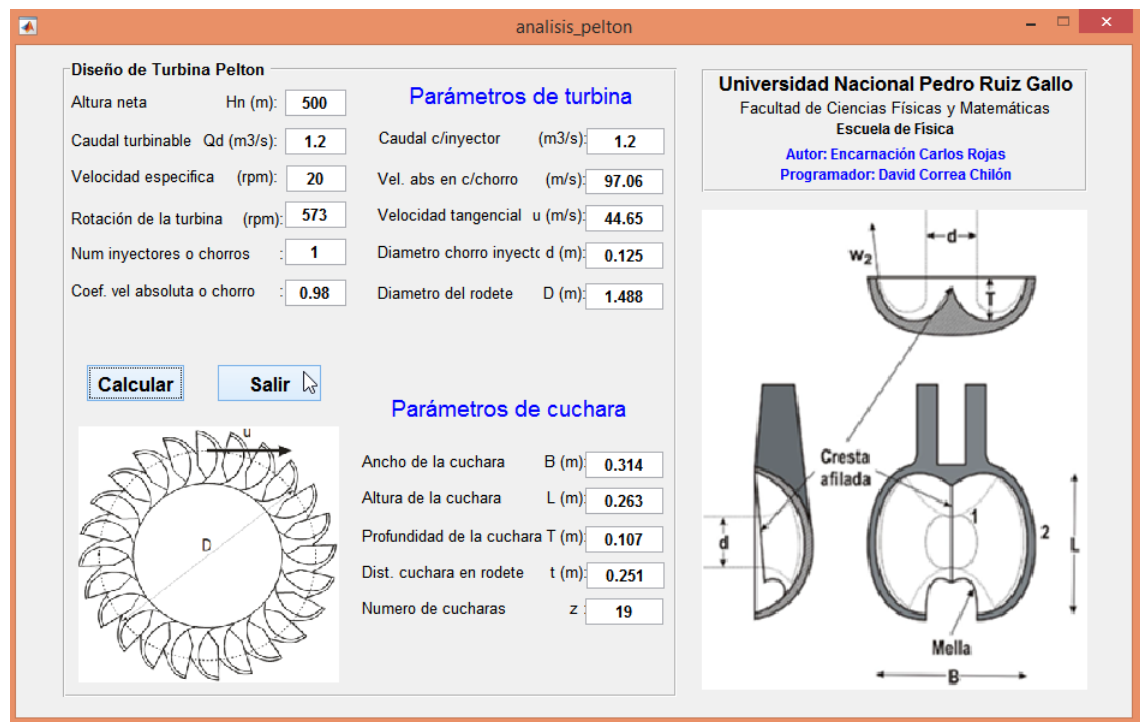
function Ns_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function rpm_Callback(hObject, eventdata, handles)

function rpm_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

Aplicativo para análisis de turbina Pelton



```
function varargout = analisis_pelton(varargin)
% ANALISIS_PELTON MATLAB code for analisis_pelton.fig
%     ANALISIS_PELTON, by itself, creates a new ANALISIS_PELTON
%
%     H = ANALISIS_PELTON returns the handle to a new ANALISIS_PELTON
or the handle to
%     the existing singleton*.
%
%     ANALISIS_PELTON('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls
the local
%     function named CALLBACK in ANALISIS_PELTON.M with the given
input arguments.
%
%     ANALISIS_PELTON('Property','Value',...) creates a new
ANALISIS_PELTON or raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property value
pairs are
%     applied to the GUI before analisis_pelton_OpeningFcn gets
called. An
%     unrecognized property name or invalid value makes property
application
%     stop. All inputs are passed to analisis_pelton_OpeningFcn via
varargin.
%
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows
only one
%     instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help analisis_pelton

% Last Modified by GUIDE v2.5 24-May-2020 10:27:52
```

```

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn',   @analysis_pelton_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',    @analysis_pelton_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',    [], ...
                  'gui_Callback',     []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT


% --- Executes just before analysis_pelton is made visible.
function analysis_pelton_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin    command line arguments to analysis_pelton (see VARARGIN)


% Choose default command line output for analysis_pelton
handles.output = hObject;


i3 = imread('imagen_03.png');
i4 = imread('imagen_04.png');

axes(handles.axes1)
imshow(i3)

axes(handles.axes2)
imshow(i4)

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes analysis_pelton wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);


% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = analysis_pelton_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)


% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

```

```

function Hn_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Hn_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Qd_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Qd_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Kch_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Kch_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function boton_01_Callback(hObject, eventdata, handles)

Hn = str2num(get(handles.Hn,'string'));
Qd = str2num(get(handles.Qd,'string'));
% Rend = str2num(get(handles.Kch,'string'));
rpm = str2num(get(handles.rpm,'string'));
Ns = str2num(get(handles.Ns,'string'));
Nch = str2num(get(handles.Nch,'string'));
Kch = str2num(get(handles.Kch,'string'));

g = 9.81;    % Gravedad
pe = 9.81;    % peso especifico del agua

Qch = Qd/Nch;
Qch = Qd/Nch;
Cch = Kch*( (2*g*Hn)^0.5);

```

```

u1 = 0.46*Cch;
dch = sqrt((4*Qd)/(pi*Cch));
D = (60*u1)/(pi*rpm);

B = 2.5*dch;
L = 2.1*dch;
T = 0.85*dch;
t = 2*dch;
z = pi*D/t;

% set(handles.Pi,'string',num2str(Pi))
% set(handles.Pe,'string',num2str(Pe))
% set(handles.Ns,'string',num2str(Ns))
set(handles.Qch,'string',num2str(round(Qch,2)))
set(handles.Cch,'string',num2str(round(Cch,2)))
set(handles.u1,'string',num2str(round(u1,2)))
set(handles.dch,'string',num2str(round(dch,3)))
set(handles.D,'string',num2str(round(D,3)))

set(handles.B,'string',num2str(round(B,3)))
set(handles.L,'string',num2str(round(L,3)))
set(handles.T,'string',num2str(round(T,3)))
set(handles.tt,'string',num2str(round(t,3)))
set(handles.z,'string',num2str(round(z)))

function boton_02_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Pi_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Pi_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Pe_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Pe_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Ns_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

function Ns_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Rend_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Rend_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Nch_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Nch_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function rpm_Callback(hObject, eventdata, handles)

function rpm_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Qch_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Qch_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Cch_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Cch_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function ul_Callback(hObject, eventdata, handles)

function ul_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function dch_Callback(hObject, eventdata, handles)

function dch_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function D_Callback(hObject, eventdata, handles)

function D_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function B_Callback(hObject, eventdata, handles)

function B_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function L_Callback(hObject, eventdata, handles)

function L_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function T_Callback(hObject, eventdata, handles)

function T_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function tt_Callback(hObject, eventdata, handles)

function tt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function z_Callback(hObject, eventdata, handles)

function z_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```
