

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**Diseño de una picoturbina Pelton para generación de potencial eléctrico
aprovechando el recurso hídrico del caserío La Manzana – Catache**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

Francis Patrick Soto Tenorio

ASESOR

Wilson Alejandro Jimenez Zuloeta

<https://orcid.org/0000-0001-7030-6345>

Chiclayo, 2023

**Diseño de una picoturbina Pelton para generación de potencial eléctrico aprovechando el recurso hídrico del caserío La Manzana
– Catache**

PRESENTADA POR

Francis Patrick Soto Tenorio

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Luis Alberto Gonzales Bazán

PRESIDENTE

Jorge Alberto Villanueva Zapata

SECRETARIO

Wilson Alejandro Jimenez Zuloeta

VOCAL

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios, quien me ha guiado y brindado la fortaleza para llegar hasta este punto de mi vida académica.

También quiero agradecer a mis padres por su apoyo incondicional en cada paso de mi camino.

Finalmente, dedico este logro a aquellas personas muy apreciadas en mi vida que no pudieron acompañarme hasta este punto, quienes me inspiraron y motivaron a seguir adelante en mi formación profesional.

Este trabajo es una muestra de mi gratitud y respeto hacia ellos.

Agradecimientos

Quiero agradecer de corazón a mis padres por su apoyo incondicional en cada paso de mi carrera universitaria y en la realización de esta tesis. Su amor y motivación fueron la clave para llegar hasta aquí.

Asimismo, agradezco a mis docentes por su enseñanza enriquecedora y su compromiso con mi formación académica. Han sido un gran ejemplo para seguir.

Finalmente, agradezco a Dios por su guía y bendiciones en cada etapa de mi vida. Este logro es gracias a Él y a todos aquellos que me apoyaron en el camino. Muchas gracias a todos...

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|---|----|
| 1 | repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080 Fuente de Internet | 1% |
| 2 | tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 3 | arqueologiadelperu.com Fuente de Internet | 1% |
| 4 | Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante | 1% |
| 5 | repositorio.uptc.edu.co Fuente de Internet | 1% |
| 6 | repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 7 | 1library.co Fuente de Internet | 1% |
| 8 | repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet | 1% |
| 9 | docplayer.es Fuente de Internet | |

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| CONTENIDO | 6 |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | 7 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 9 |
| RESUMEN | 10 |
| ABSTRACT..... | 11 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 12 |
| 1.1. OBJETIVOS | 13 |
| 1.1.1. OBJETIVOS GENERAL..... | 13 |
| 1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 13 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 14 |
| 2.1. ANTECEDENTES..... | 14 |
| 2.2. ANTECEDENTES..... | 17 |
| 2.2.1. BASES TEÓRICO CIENTIFICAS | 17 |
| 3. HIPÓTESIS..... | 24 |
| 4. DISEÑO METODOLÓGICO..... | 25 |
| 4.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN | 25 |
| 4.2. POBLACIÓN Y MUESTRA | 25 |
| 4.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES | 26 |
| 4.4. MATRIZ DE CONSISTENCIA..... | 28 |
| 4.5. DIAGRAMA METODOLÓGICO..... | 30 |
| 5. DESARROLLO Y RESULTADOS | 31 |
| 5.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO: | 31 |
| Objetivo N°01:..... | 34 |
| Objetivo N°02:..... | 47 |
| Objetivo N°03:..... | 61 |
| Objetivo N°04:..... | 73 |
| Objetivo N°05:..... | 76 |
| CONCLUSIONES | 78 |
| RECOMENDACIONES..... | 79 |
| REFERENCIAS..... | 80 |

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| Ilustración 1: Clasificación de turbomáquinas [9] | 18 |
| Ilustración 2: Turbina axial | 21 |
| Ilustración 3: Turbina radial | 21 |
| Ilustración 4: Turbina tangencial | 22 |
| Ilustración 5: Limitación de la zona del proyecto | 32 |
| Ilustración 6: Medida de flujo haciendo uso recipiente de 20 litros. | 36 |
| Ilustración 7: Vertedor triangular [15] | 39 |
| Ilustración 8: Alineamiento del vertedero de tipo triangular. | 40 |
| Ilustración 9: Medición de la altura del agua en el vertedor de tipo triangular. | 41 |
| Ilustración 10: Variación del caudal a lo largo de la estación de verano en el caserío La Manzana utilizando el método de medición 02 | 42 |
| Ilustración 11: Representación gráfica de caudal mínimo a lo largo del tiempo. | 43 |
| Ilustración 12: Referencia método del carpintero. | 44 |
| Ilustración 13: Mapa de distribución de tubería 01 | 45 |
| Ilustración 14: Mapa de distribución de tubería 02 | 45 |
| Ilustración 15: Tubería de 4plg de PVC. | 50 |
| Ilustración 16: Ingreso de datos del pequeño embalse(tanque) en el software Pipe Flow Expert | 51 |
| Ilustración 17: Librería de materiales en el software Pipe Flow Expert | 52 |
| Ilustración 18: Características de la tubería de presión. | 52 |
| Ilustración 19: Selección de accesorios en software Pipe Flow Expert | 53 |
| Ilustración 20: Distribución de sistema de abastecimiento de picoturbina | 54 |
| Ilustración 21: Distribución sistema de abastecimiento de agua mediante software Pipe Flow Expert, nodo 1-8 | 55 |
| Ilustración 22: Distribución sistema de abastecimiento de agua mediante software Pipe Flow Expert, nodo 8-17 | 55 |
| Ilustración 23: Distribución sistema de abastecimiento de agua mediante software Pipe Flow Expert, nodo 17-23 | 56 |
| Ilustración 24: Distribución sistema de abastecimiento de agua mediante software Pipe Flow Expert, nodo 23-30 | 56 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 25: Representación gráfica de la variación de la presión a lo largo de los nodos. . | 59 |
| Ilustración 26: Representación gráfica de la variación de la carga de agua debido a pérdidas por fricción. | 59 |
| Ilustración 27: Diagrama de triangulo de velocidades en turbinas Pelton. | 62 |
| Ilustración 28: Velocidad absoluta de salida. | 65 |
| Ilustración 29: Rango de aplicación de pequeñas turbinas, según su número específico de revoluciones y Altura neta de caída. [18] | 67 |
| Ilustración 30: Inyector de una turbina Pelton | 69 |
| Ilustración 31: Dimensiones de cangilón Pelton escalables (%) [19] | 71 |
| Ilustración 32: Plano de detalle cangilón picoturbina Pelton | 76 |
| Ilustración 33: Plano de detalle picoturbina Pelton. | 77 |
| Ilustración 34: Caserío La Manzana - Catache | 83 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1-localización de la zona de trabajo..... | 31 |
| Tabla 2: Tabla de Estiaje Pluviométrico..... | 35 |
| Tabla 3: Medición de tiempo en segundos en la localidad La Manzana | 37 |
| Tabla 4: Caudal en l/s en la localidad La Manzana utilizando método 01. | 38 |
| Tabla 5: Variación del caudal a lo largo de la estación de verano en el caserío La Manzana utilizando el método de medición 01 | 38 |
| Tabla 6: Caudal recomendado según ángulos de diseño del vertedor | 39 |
| Tabla 7: Altura medida al circular el flujo a través del vertedor | 41 |
| Tabla 8: Caudal en l/s en la localidad La Manzana utilizando método 02. | 42 |
| Tabla 9: Cálculo de caudal promedio. | 43 |
| Tabla 10: Altura medida a lo largo de los 31 puntos. | 46 |
| Tabla 11:Rugosidad de tubería - Valores de diseño [15]..... | 47 |
| Tabla 12: Resultados de longitud de tubería mediante método Pitágoras. | 49 |
| Tabla 13: Características del fluido. | 53 |
| Tabla 14: Datos de presiones en las tuberías. | 57 |
| Tabla 15: Datos de presiones y perdidas de carga en los nodos. | 58 |
| Tabla 16: Lista de accesorios implementados en tuberías. | 60 |
| Tabla 17: Datos de parámetros hídricos disponibles para turbinar..... | 61 |
| Tabla 18: Tabla de resultados de medidas del inyector. | 69 |

RESUMEN

La ausencia de energía eléctrica en zonas remotas del Perú es una realidad, enfocándonos en un sector pequeño ubicado en Cajamarca, existen 9 viviendas ubicadas en el caserío La Manzana – Catache, las cuales no cuentan con suministro eléctrico debido a su difícil ubicación geográfica, pero sin embargo este caserío cuenta con la ventaja de tener un flujo de corriente de agua, el cual no es aprovechado. Entendiendo esta realidad se procedió al desarrollo de una propuesta de solución que genere energía limpia autosostenible.

Esta tesis tiene por objetivo diseñar una picoturbina Pelton, ésta hará uso de una fuente renovable, la cual se desarrollará con una alta eficiencia. Se analizará los parámetros que se deberán utilizar de acuerdo con las condiciones de trabajo, con el fin de dar solución a la ausencia energética que presenta dicho caserío, cubriendo las necesidades y brindando progreso en las viviendas. El diseño estará condicionando principalmente de acuerdo con la cantidad de flujo de agua que se tenga y el salto hidráulico con el que ingresa el flujo de agua a la turbina.

El trabajo comprende; el cálculo y parámetros de construcción de la turbina “Montaje de la turbina Pelton, sistema eléctrico”, también la selección de materiales y tipo de instrumentos a utilizar para la evaluación y diseño.

Palabras clave: Generación, ausencia energética, picoturbina Pelton, flujo de agua.

ABSTRACT

Lack of electricity in remote areas of Peru is a reality, for this reason, it focuses on a small sector located in Cajamarca, with 9 houses located in La Manzana - Catache hamlet, which it does not have electricity supply due to their difficult geographic location, however, this hamlet has the advantage of having a water flow, which is not used. Because of this reality, it proceeded to develop a solution proposal that generates self-sustaining clean energy.

This thesis aims to design a Micro Turbine Pelton, which will make use of a renewable source, which will be developed with high efficiency. The parameters to be used will be analyzed according to the working conditions, to solve the lack of energy in this hamlet, covering the requirements and providing progress in the houses. The design will be determined mainly according to the amount of water flow that it has and the hydraulic jump which the water flow get in the turbine.

This work includes the calculation and construction of the turbine "Pelton turbine assembly, electrical system", also the selection of materials and type of instruments to be used for evaluation and design.

Keywords: Generation, lack of electricity, Micro Turbine Pelton, water flow.

1. INTRODUCCIÓN

En estos tiempos de siglo XXI contar con energía eléctrica se ha convertido en un factor importante para tener una mejor calidad de vida. Sin embargo, aún existen familias que carecen de energía eléctrica a pesar de contar con recurso hídrico natural cercano el cuál podría ser utilizado para la generación de energía eléctrica. De acuerdo con el documento publicado por Arup [1], tres cuartas partes de la energía del mundo se consume en las ciudades, de las cuales el 80% de las emisiones de gases provocan el efecto invernadero, ocasionando daños en el medio ambiente.

Si bien es cierto la evolución del consumo de combustibles modernos muestra una tendencia favorable, de acuerdo con el informe realizado por Osinergmin [2]. En Perú, todavía hay muchas áreas que necesitan mejoras, especialmente en áreas rurales con bajos niveles de electrificación (78%), a comparación con la data obtenida en la zona urbana (99%); más aún, el consumo de combustibles tradicionales para cocinar alcanza el 80%. En modo de contrarrestar, el Estado, mediante el MEM (encargado del PNER), Osinergmin (encargado de la administración del Proyecto FISE) y Adinelsa (empresa pública), implementó diversas medidas encaminadas a lograr una transición al uso de combustibles limpios, lo cual derivará en mejores condiciones de vida y productividad para los hogares. Además, dichas políticas permitirán reducir la emisión de CO₂ y, por tanto, contribuirá a la descarbonización del sector energético.

Por otra parte, como solución ante las deficiencias energéticas y daños al medio ambiente, las turbomáquinas hidráulicas se consolidan como una alternativa aplicable a pico generación hidroeléctrica debido a su alta eficiencia. En la presente tesis se plantea el uso de una picoturbina Pelton la generación de potencial eléctrico en el caserío La Manzana, contribuyendo a disminuir la brecha de población que no está conectada al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

1.1. OBJETIVOS

1.1.2. OBJETIVOS GENERAL

Diseñar una picoturbina Pelton para generar potencial eléctrico en el caserío La Manzana – Catache.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar datos del flujo de agua y evaluar parámetros para determinar caudal y salto hidráulico.
- Diseñar un sistema de circulación que abastecerá a la picoturbina Pelton.
- Evaluar los parámetros hídricos en el diseño de la picoturbina Pelton.
- Evaluar los parámetros eléctricos de la picoturbina Pelton.
- Diseñar la picoturbina Pelton mediante software CAD.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES.

(1) **Título:** DISEÑO DE UN MÓDULO DE SIMULACIÓN DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICO UTILIZANDO TURBINAS PELTON Y FRANCIS ABASTECIDAS POR UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN

Autor(es): Gil Bancallan Luis Orlando. **TESIS 1**

Año: 2017

Correlación: El trabajo comprende el desarrollo y simulación de un módulo de funcionamiento de dos turbinas, una Pelton y una Francis, con lo cual se permitirá capacitar e incentivar a estudiantes el uso de energías limpias y renovables. A lo largo de la tesis se describe la construcción del módulo, componentes, instrumentos y dispositivos; mediante presente módulo se propone permitirá: visualizar los diferentes comportamientos hidráulicos y eléctricos que se presenten. [3]

(2) **Título:** MODELO DE PICO TURBINA PELTON PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ZONAS RURALES.

Autor(es): Alejandro Benjamin García Ortiz. **TESIS 2**

Año: 2017

Correlación: La tesis expone como objetivo principal la determinación de los parámetros adecuados para un modelo de pico turbina Pelton, con usos exclusivos en zonas rurales, todo esto teniendo como base a la energía hidráulica del agua. Para validar las hipótesis expuestas en dicha tesis se procedió a realizar una investigación de tipo básico y nivel correlacional, con los cuales se permitirá validar la hipótesis. [4]

(3) **Título:** ENERGÍA MINI Y MICRO HIDRÁULICA: APOORTE CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO

Autor(es): Teresa Reynaa, María Lábaqueb, Santiago Reynac, César Rihad, Belén Irazustae. **ARTICULO 1**

Año: 2017

Correlación: El artículo describe el desarrollo de máquinas hidráulicas a pequeña escala en la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), las cuales pueden ser instaladas en sitios de la Provincia de Córdoba, Argentina, y demuestran la factibilidad de manufacturarse en forma local. Se trata de tres microturbinas diferentes tipos: Michel - Banqui, Hélice y Turgo. En la parte de manufactura, se realizó siguiendo criterios teóricos, planteándose simplificaciones para facilitar su construcción tanto tecnológica como económicamente. [5]

(4) **Título:** MICROTURBINAS HIDRÁULICAS. DISEÑO, ADAPTACIONES PARA ENSEÑANZA DE MICROGENERACIÓN

Autor(es): Teresa Reyna, María Lábaque, Belén Irazusta, Santiago Reyna y Cesar Riha, **ARTICULO 2**

Año: 2018

Correlación: Con el fin de mejorar la enseñanza-aprendizaje a nivel universitario, se ha optado por recurrir a nuevas técnicas. En el presente artículo se habla principalmente de las energías renovables, fomentando el cuidado del medio ambiente, se trata acerca de las micro centrales hidroeléctricas. Describe como la Universidad Nacional de Córdoba con subsidios de la Secretaría de Ciencia y Tecnología desarrolla diferentes proyectos, los cuales fueron diseñados por alumnos y docentes de dicha institución. [6]

(5) **Título:** COLOMBIA: TERRITORIO DE INVERSIÓN EN FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA

Autor(es): Wiston Ñustes, Sergio Rivera, **ARTICULO 4**

Año: 2017

Correlación: Esta publicación es un artículo de reflexión, en donde se detalla los resultados de una investigación acerca del panorama del sector eléctrico de Colombia, en donde se describe el uso de energías mixtas, las cuales han llevado a una evolución de la industria eléctrica colombiana. Por otra parte, se mencionan las diferentes fuentes de financiación para la generación no convencional no renovable, sean nacionales o internacionales. [7]

2.2. ANTECEDENTES.

2.2.BASES TEÓRICO CIENTIFICAS

2.2.1. Energía potencial del agua

El agua en un embalse detrás de una presa hidroeléctrica es otro ejemplo de energía potencial. La energía almacenada en el depósito se convierte en energía cinética (de movimiento) como el agua fluye hacia abajo un tubo grande llamado canal de toma y hace girar una turbina.

La existencia de esta energía potencial se debe a la gravitación (fuerza de gravedad), su nombre más completo es energía potencial gravitatoria. [8]

2.2.2. Turbomáquinas

Son máquinas de flujo en las que existe comunicación continua entre la entrada y la salida de fluido, en donde éstas cumplen la función de realizar un intercambio de energía con el fluido, así extrayendo o suministrando energía del, o hacia el fluido, todo dependerá del tipo de aparato.

Una corriente de flujo “continuo” a través del rotor con el que intercambia su energía representa a este tipo de máquinas, a diferencia de las máquinas de desplazamiento positivo, en que el flujo a través de la maquina se produce de una manera “discreta”. [9]

2.2.3. Clasificación de las turbomáquinas

Según la compatibilidad del fluido de trabajo en turbomáquinas se clasifican en turbomáquinas térmicas y turbomáquina hidráulicas.

Si bien todo fluido real es compresible, al trabajar con líquidos la variación que tiene de densidad, y de manera consecuente volumen específico, es tan pequeña que podría despreciarse. De acuerdo con el sentido en el que se desarrolla la

transmisión de la energía, las turbomáquinas hidráulicas pueden clasificarse en motoras y generadoras [10]:

Turbomáquinas motoras: es donde el fluido cede energía al rodete.

Turbinas generadoras: es donde el rodete cede energía al fluido.

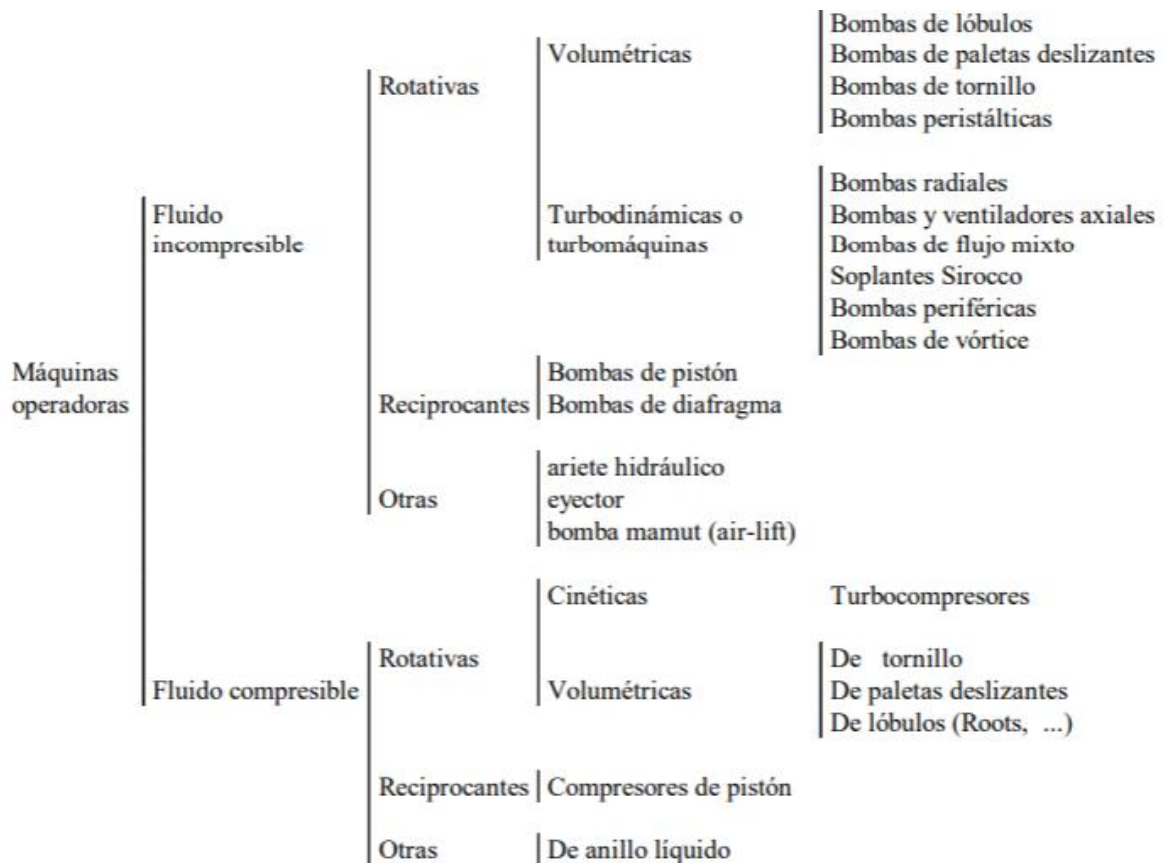


Ilustración 1: Clasificación de turbomáquinas [9]

2.2.4. Sistemas Minihidráulicos

Son aquellos que pueden ser utilizados en todos los casos donde exista una deficiencia de suministro de energía y haya a disposición un flujo de agua, con un salto hidráulico de pocos metros. En esos casos, la utilización de este tipo de sistema energético no afecta al curso del agua, que tal vez puede ser vital para el suministro en zonas aisladas.

Existen diferentes organizaciones que clasifican las centrales hidroeléctricas según su potencia:

Clasificación de PCH según la OLADE

| Potencia | Tipo | Salto | | |
|---------------|--------------|-------|--------|------|
| | | Bajo | Medio | Alto |
| 0.5 – 5 KW | Picocentral | N.A. | | |
| 5 – 50 KW | Microcentral | < 15 | 15-50 | >50 |
| 50 – 500 KW | Minicentral | < 20 | 20-100 | >100 |
| 500 – 5000 KW | Peq. Central | < 25 | 25-130 | >130 |

Tabla 01: Clasificación de centrales según Olade.

2.2.5. Turbinas hidráulicas

La turbina hidráulica se puede definir como una máquina rotativa, que utiliza la energía potencial y cinética del agua y la convierte en energía mecánica útil. Por consiguiente, las turbinas hidráulicas se encargan de convertir la energía del agua, la cual se presenta en forma de presión (mejor conocida como energía

potencial o de posición) y velocidad (también conocida como energía cinética), en fuerzas motrices que dan movimiento a un rodete.

Según la forma de transferencia de energía, existen dos tipos de turbinas hidráulicas, turbinas de impulso y turbinas de reacción. En las turbinas de impulso, el agua que sale de la boquilla al final de la compuerta se hace golpear una serie de cucharas colocados en la periferia de la rueda o corredor. Antes de llegar a la turbina, la energía de presión del agua se convierte completamente en energía cinética. El agua sale de la boquilla a presión atmosférica. La rueda gira libremente en el aire. La transferencia de energía se produce debido a la acción impulsiva. La turbina Pelton y la turbina de impulso Turgo entran en esta categoría.

Están compuestos por tres órganos diferentes por los que pasa el fluido de forma secuencial, el distribuidor, el rodete y el difusor; al tratarse de turbinas un diseño de turbina Pelton el rodete es el elemento esencial, éste estará compuesto por cucharas donde se realizará el intercambio entre la máquina y la energía potencial del agua. [11]

2.2.6. Pico-turbinas hidroeléctricas

Usualmente las turbinas hidráulicas se diseñaban para producir grandes cantidades de energía (kW o MW), en la actualidad hay nuevas tecnologías para la producción de energía, dando cabida a la aparición de pequeñas máquinas como las pico-turbinas hidráulicas.

Las pico-turbinas hidroeléctricas, en su mayoría se utilizan en zonas remotas donde el acceso es limitado, donde su característica predominante es que son diseños que representan bajo costo, duraderos y de eficiencia razonable. Una vez instalada la turbina, el costo se limita al mantenimiento del equipo. [12]

Otra ventaja usar picoturbinas hidroeléctricas es la posibilidad de un diseño simplificado de una central hidroeléctrica, cuando la turbina y el generador están instalados en el mismo eje o están conectados directamente entre sí mediante una conexión flexible sin caja de cambios o sistema de transmisión.

2.2.7. Clasificación de las picoturbinas de acuerdo con la dirección de entrada del agua

Turbinas axiales: (Kaplan, hélice, Bulbo), son aquellas en donde el agua ingresa de manera paralela al eje.

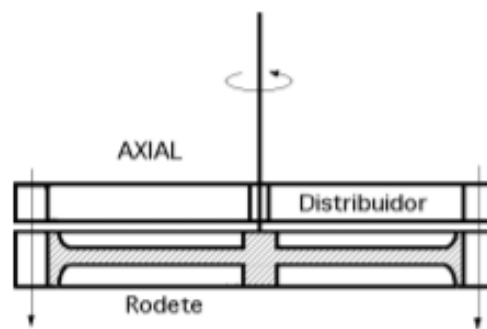


Ilustración 2: Turbina axial

Turbinas radiales: El agua ingresa de manera perpendicular al eje, en este tipo de turbinas el sentido del agua es clave, cuando el agua fluye de adentro hacia afuera, es centrífuga; cuando el agua fluye de afuera hacia adentro, es centrípeta Francis.

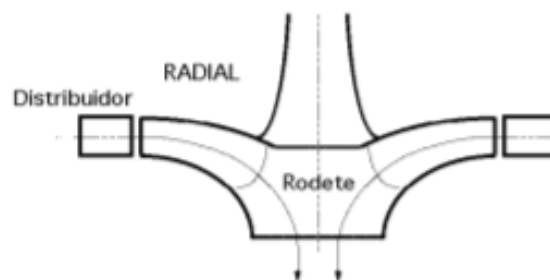


Ilustración 3: Turbina radial

Turbinas mixtas: Son aquellas turbinas donde hay una mezcla entre turbinas axiales y radiales.

Turbinas tangenciales: El agua ingresa de manera tangencial, donde impacta con álabes impulsores usualmente en forma de cubo, también pueden ser palas, cangilones o cucharas de la rueda.

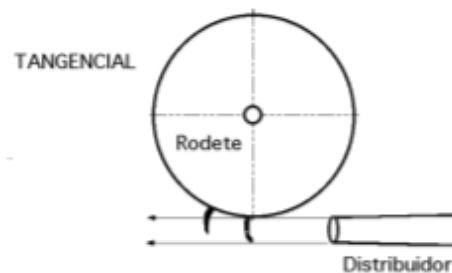


Ilustración 4: Turbina tangencial

2.2.8 Turbina Pelton

Una turbina hidráulica activa se utiliza para una altura de flujo de agua de más de 20 m en centrales hidroeléctricas de diversas capacidades. La turbina de cubo (nombre extranjero - Turbinas Pelton, turbina Pelton) en su diseño difiere significativamente del dispositivo de turbinas hidráulicas de chorro, ya que el agua se suministra a través de boquillas especiales en forma de un chorro que impacta rápidamente a las palas de la turbina. Las palas de la turbina Pelton tienen una forma especial de balde bicóncavo: la pala en el medio divide el flujo de agua en dos corrientes, lo que mejora significativamente la eficiencia del cangilón y ralentiza el desgaste de las palas. Dado que el chorro se dirige tangencialmente, golpeando la pala, el agua hace girar fácilmente la rueda de la turbina. Después de girar la rueda, el chorro golpea de manera consecutiva un

cangilón a la vez. El trabajo se realiza a presión atmosférica convirtiendo la energía cinética de una corriente de agua.

2.2.8. Parámetros de diseño de la picoturbina Pelton

El diseño de turbinas hidráulicas se basa en las condiciones para desarrollar cualquier tipo de proyecto. Se debe realizar una investigación topográfica e hidráulica del cauce del río para calcular el desnivel del terreno, que corresponde a la distancia vertical desde la toma de agua hasta el punto donde se restablece el caudal de agua que ya paso por la turbina, y el caudal disponible del río; en otras palabras, la toma de cierta masa de agua que pasa en determinado tiempo por un área del cauce. [13]

Como se puede observar, basta con conocer el caudal y el salto bruto para determinar la potencia hidráulica del fluido al llegar a la turbina; sin embargo, es muy importante estudiar la trayectoria del flujo de agua, desde la entrada hasta el punto de contacto del impulsor. Esto se debe en parte al hecho de que, en este camino, la masa de agua debe transmitir una parte de potencia para superar las pérdidas, las cuales se presentan en fricción con la pared de la tubería. Por lo tanto, se recomienda que la tubería sea lo más recta posible para reducir las pérdidas. [13]

En las pequeñas centrales hidroeléctricas se ha practicado el uso de álabes más asequibles hechas de plástico o materiales compuestos. A pesar de que tienen un recurso menor, el diseño de la turbina hace que sea fácil cambiar rápidamente los cangilones gastados, pero al mismo tiempo más económicos por otros nuevos durante una parada de la picoturbina por mantenimiento en un período mínimo de tiempo. [8]

3. HIPÓTESIS

| OBJETIVO GENERAL | HIPÓTESIS GENERAL |
|---|---|
| Diseñar una picoturbina Pelton para generar potencial eléctrico en el caserío La Manzana – Catache. | Si se diseña una picoturbina Pelton para la generación de potencial eléctrico en el caserío La Manzana – Catache, entonces se logrará satisfacer la necesidad de energía eléctrica. |
| OBJETIVO ESPECÍFICOS | HIPÓTESIS ESPECIFICAS |

| | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Recopilar datos del flujo de agua y evaluar parámetros para determinar caudal y salto hidráulico. • Diseñar un sistema de circulación que abastecerá a la picoturbina Pelton. • Evaluar los parámetros hídricos en el diseño de la picoturbina Pelton. • Evaluar los parámetros eléctricos de la picoturbina Pelton. • Diseñar la picoturbina Pelton. | <ul style="list-style-type: none"> • Si se recopila datos de flujo de agua durante un determinado tiempo, entonces, se determinará con exactitud el caudal promedio y salto hidráulico con que trabajará la picoturbina. • Si se diseña el sistema de circulación adecuado, entonces, se obtendría un abastecimiento de flujo de agua admisible para el funcionamiento de la picoturbina. • Si se evalúa los parámetros hídricos en el diseño de la turbina, entonces se obtendrá un dimensionamiento adecuado para lograr un funcionamiento óptimo. • Si se evalúa los parámetros eléctricos de la picoturbina Pelton, entonces, se podrá obtener una generación de potencial eléctrico que satisfaga la ausencia de suministro eléctrico. • Si se diseña la picoturbina Pelton, entonces, se generará potencial eléctrico el caserío La Manzana. |
|---|---|

4. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto es de tipo aplicada-correlacional de causa efecto.

4.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Unidad de estudio

Diseño de picoturbina Pelton para la generación de energía eléctrica aprovechando un flujo de agua de una quebrada.

La población será todas las picoturbinas empleadas para la generación de energía eléctrica.

4.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

| VARIABLES | DEFINICION CONCEPTUAL | DEFINICION OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | ITEMS |
|---|---|---|--|------------------------------|-------|
| Variable independiente Diseño de picoturbina Pelton | Turbomáquinas son aquellas donde prima el aprovechamiento de recursos hídricos para transformarlos en energía mecánica o eléctrica. | El diseño de la picoturbina Pelton, permitirá generar potencial eléctrico en el caserío La Manzana. | Parámetros de diseño de la picoturbina | Caudal | L/s |
| | | | | Altura del salto hidráulico. | m |

| VARIABLES | DEFINICION CONCEPTUAL | DEFINICION OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | ITEMS |
|-----------------------------|---|---|-------------|----------------------------|----------------|
| Variable dependiente | Es un proceso en el cual se busca abastecer de energía al distrito La Manzana que no cuenta con un suministro apropiado, ya que esta debe | La electrificación en el caserío La Manzana a través de una picoturbina Pelton permitirá que los pobladores | | Potencia Intensidad | Watts A |

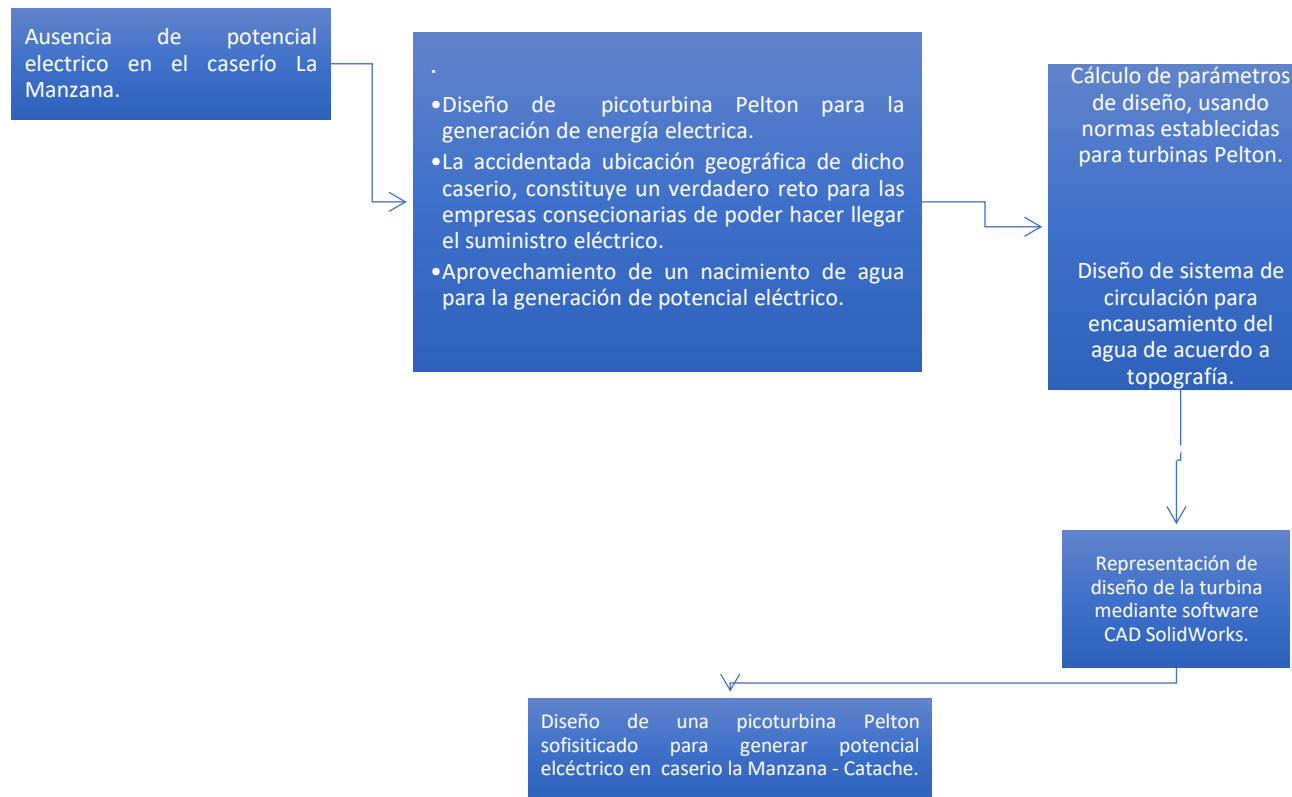
| | | | | | |
|--|--|---------------------------------------|---|---|-----------------------------------|
| <p>Electrificación del caserío La Manzana.</p> | <p>satisfacer sus necesidades de abastecimiento con el uso de fuentes de energía más precarias e ineficientes.</p> | <p>tengan una mejor calidad vida.</p> | <p>Parámetros de generación de energía eléctrica.</p> | <p>RPM Frecuencia Tensión</p> | <p>RPM Hz V</p> |
|--|--|---------------------------------------|---|---|-----------------------------------|

4.4. MATRIZ DE CONSISTENCIA

| PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPOTESIS | VARIABLES | METODOLOGIA |
|---|--|--|---|--|
| <p>¿Cuál debería ser la parametrización adecuada del diseño de la picoturbina Pelton que contribuye significativamente en la generación de potencial eléctrico en caserío La Manzana - Catache?</p> | <p>OBJETIVO GENERAL:</p> <p>Diseñar una picoturbina Pelton para la generación de potencial eléctrico en el caserío de La Manzana – Catache.</p> <p>OBJETIVOS ESPECIFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recopilar datos del flujo de agua y evaluar parámetros para determinar caudal y salto hidráulico. | <p>HIPOTESIS GENERAL</p> <p>Si se diseña una picoturbina Pelton para la generación de potencial eléctrico caserío La Manzana – Catache, entonces se logrará satisfacer cierta demanda energética en el caserío.</p> <p>HIPOTESIS ESPECIFICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si se recopila datos de flujo de agua durante un determinado tiempo, entonces, se determinará con exactitud el caudal promedio y salto hidráulico con que trabajará la picoturbina. | <p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>Diseño de picoturbina Pelton</p> <p>INDICADORES</p> <p>-Caudal.</p> <p>-Altura del salto hidráulico.</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Generación de potencial eléctrico en caserío La Manzana</p> | <p>Diseño de investigación</p> <p>El presente proyecto es de tipo aplicada-correlacional de causa efecto.</p> <p>Técnica de Recolección de Datos</p> <p>En este proyecto de investigación se usará la observación – entrevista con los pobladores.</p> |

| | | | | |
|--|---|---|---|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Diseñar un sistema de circulación que abastecerá a la picoturbina Pelton. • Evaluar los parámetros de diseño mecánico para la picoturbina Pelton. • Evaluar los parámetros eléctricos de la picoturbina Pelton. • Diseñar la picoturbina Pelton. | <ul style="list-style-type: none"> • Si se diseña el sistema de circulación adecuado, entonces, se obtendrá un abastecimiento de flujo de agua admisible para el funcionamiento de la picoturbina. • Si se evalúa los parámetros hídricos en el diseño de la turbina, entonces se obtendrá un dimensionamiento adecuado para lograr un funcionamiento óptimo. • Si se evalúa los parámetros eléctricos de la picoturbina Pelton, entonces, se podrá obtener una generación de potencial eléctrico que satisfaga la ausencia de suministro eléctrico. • Si se diseña la picoturbina Pelton, entonces, se logrará generar potencial eléctrico en el caserío La Manzana. | <p>INDICADORES</p> <ul style="list-style-type: none"> -Potencia -Intensidad -RPM -Frecuencia -Tensión | <p>Población y muestra</p> <p>Unidad de estudio</p> <p>Diseño de picoturbina Pelton la generación potencial eléctrico aprovechando corriente de agua.</p> <p>La población será todas las picoturbinas empleadas para la generación de potencial eléctrico.</p> |
|--|---|---|---|---|

4.5. DIAGRAMA METODOLÓGICO.



5. DESARROLLO Y RESULTADOS

5.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO:

5.1.1. Descripción del predio en el área de influencia.

Se beneficiará de forma directa los pobladores del caserío La Manzana - Catache.

5.1.2. Ubicación geográfica:

La zona del proyecto se encuentra ubicada a 15 minutos antes del centro turístico Poro Poro -Catache, es un caserío que pertenece al distrito de Catache, Provincia de Santa Cruz, Departamento Cajamarca. Está ubicada en el centro del distrito de Catache, limita al norte con el caserío Rodeo Pampa, al sur con el caserío Acedan, al este con el caserío La Grada y Barbichopampa, al oeste con el caserío El Verde.

Tabla 1-localización de la zona de trabajo

| | | |
|---|--------------------|----------------------------------|
| DISTRITO: | Catache | |
| PROVINCIA: | Santa Cruz | |
| DEPARTAMENTO: | Cajamarca | |
| ELEVACIÓN: | 2796 msnm | |
| UBICACIÓN Y COORDENADAS DONDE SE UBICA LA ZONA DE ESTUDIO: | Latitud Sur: | 6° 45' 24.8" S (-6.75689452000) |
| | Longitud Oeste: | 79° 2' 54.7" W (-79.04853714000) |



Ilustración 5: Limitación de la zona del proyecto

5.1.3. Clima y temperatura:

Su clima suele ser templado y frío, con abundantes lluvias en verano y otoño, especialmente de diciembre a junio. Algunos cultivos usualmente se ven afectados debido a la caída de granizo.

En los meses de julio a diciembre, la temperatura bajó drásticamente, quemando cultivos y pastos naturales. Durante estos meses, la comida y los pastizales escasearon, por lo que los animales tendieron a perder peso y las personas que viven en la zona suelen caminar a otros lugares como Catache o Udima con el fin de vender algunos de sus productos y adquirir víveres para el día a día.

5.1.4. Relieve:

El territorio es accidentado, con desniveles por estar situado por el flanco que baja el mar del ramal externo de la Cordillera Occidental de los Andes, por consiguiente, es modelado por los contrafuertes que descienden a la costa, y los profundos ríos que lo rodea. Por el oeste el río Zaña, por el sur el río San Lorenzo.

5.1.5. Suelo y otros aspectos físicos importantes.

Las tierras son muy buenas para la ganadería (primer lugar) y la agricultura de tipo extensivo (segundo lugar); en la localidad no se tiene canales de irrigación, de tal manera que se utiliza el agua de lluvia y según la temporada para realización de actividades de agricultura.

5.1.6. Vías de acceso:

La vía de acceso principal desde la ciudad de Chiclayo, pasando por Chongoyape, Catache y, luego, dv. La Manzana.

Objetivo N°01: Recopilar datos del flujo de agua y evaluar parámetros para determinar caudal y salto hidráulico.

Para desarrollar este objetivo se necesita un análisis del período óptimo para llevar a cabo el estiaje en el caserío La Manzana, determinar la disponibilidad de agua durante dicho período, con miras a facilitar la implementación de una picoturbina Pelton para la generación de potencial eléctrico. Para lograrlo, se llevará a cabo un minucioso análisis basado en datos hidrológicos, registros climáticos y estudios técnicos especializados en la región de estudio. Se evaluará la cantidad de agua disponible, los caudales mínimos requeridos y los patrones de flujo en los ríos cercanos al caserío La Manzana. Este enfoque técnico permitirá identificar la época más propicia para el estiaje y garantizar el adecuado funcionamiento de la picoturbina Pelton, maximizando así la generación de potencial eléctrico y promoviendo el desarrollo sostenible de la comunidad. Los resultados de este estudio contribuirán a la toma de decisiones informadas en el ámbito de la gestión hídrica y la implementación de tecnologías renovables en el caserío La Manzana, en aras de impulsar la generación de energía limpia y fomentar el progreso económico y social en la provincia de Santa Cruz, Cajamarca.

Donde de acuerdo con data encontrada en la página del Senhami se obtuvo cómo ultimo registro lo siguiente [14]:

| Año | Mes | Día | Precipitación | Tmáx | Tmín |
|------|-----|-----|---------------|------|------|
| 2013 | 8 | 30 | 0 | 21.6 | 9.6 |
| 2013 | 8 | 31 | 0 | 21.2 | 10.2 |
| 2013 | 9 | 3 | 0 | 20.8 | 10.8 |
| 2013 | 9 | 4 | 0 | 20.6 | 11.2 |
| 2013 | 9 | 5 | 0 | 19.6 | 12.2 |
| 2013 | 9 | 6 | 0 | 21.2 | 12.4 |
| 2013 | 9 | 7 | 0 | 19.4 | 10.8 |
| 2013 | 9 | 8 | 0 | 20.4 | 10.6 |
| 2013 | 9 | 9 | 0 | 19.6 | 10.4 |
| 2013 | 9 | 10 | 0 | 18.8 | 9.8 |
| 2013 | 9 | 11 | 0 | 17.8 | 10.2 |
| 2013 | 9 | 12 | 0 | 18.2 | 11.2 |
| 2013 | 9 | 13 | 0 | 20.2 | 11.2 |
| 2013 | 9 | 14 | 0 | 21.2 | 10.8 |
| 2013 | 9 | 15 | 0 | 21.6 | 11.2 |
| 2013 | 9 | 16 | 0 | 22.4 | 12.4 |
| 2013 | 9 | 17 | 0 | 20.4 | 10.6 |
| 2013 | 9 | 18 | 0 | 20.6 | 11.4 |
| 2013 | 9 | 19 | 0 | 21.4 | 11.8 |
| 2013 | 9 | 20 | 0 | 20.8 | 10.4 |
| 2013 | 9 | 21 | 0 | 20.4 | 10.6 |
| 2013 | 9 | 22 | 0 | 22.4 | 11.4 |
| 2013 | 9 | 23 | 0 | 21.6 | 11.8 |
| 2013 | 9 | 24 | 0 | 22.4 | 12.4 |
| 2013 | 9 | 25 | 0 | 18.4 | 12.2 |
| 2013 | 9 | 26 | 0 | 21.6 | 11.6 |
| 2013 | 9 | 27 | 0 | 21.2 | 12.2 |
| 2013 | 9 | 28 | 0 | 19.6 | 11.8 |
| 2013 | 10 | 1 | 0 | 20.2 | 12.2 |
| 2013 | 10 | 2 | 0 | 21.4 | 10.8 |
| 2013 | 10 | 7 | 0 | 21.2 | 11.6 |

Tabla 2: Tabla de Estiaje Pluviométrico

Según los análisis realizados, se concluye que septiembre es la época de estiaje debido a las menores precipitaciones registradas durante este período. Durante este mes, se observa una disminución significativa en la cantidad de lluvia, lo cual resulta favorable para realizar actividades relacionadas con la gestión del recurso hídrico. La elección de septiembre como la época óptima de estiaje permitirá un mejor control y aprovechamiento de los recursos hídricos disponibles, minimizando así los impactos

negativos en sectores clave como la agricultura y la ganadería. Además, esta estrategia contribuirá a una planificación más eficiente y sostenible de los recursos hídricos en la región.

Posterior al análisis para la determinación de la época de estiaje, se procedió a realizar la toma de datos de flujo, se requirió de diferentes métodos, donde se realizó lo siguiente:

Medición de caudal:

Para este procedimiento se utilizó 2 métodos, con el fin de obtener mayor precisión, los cuales se describen a continuación:

Método N°01:

Se requirió del uso de un recipiente de 20litros, mediante el cual se calculó el tiempo estimado que se requiere para llenarlo completamente con el flujo de agua, obteniendo una serie de datos mediante los cuales se hallará un caudal promedio. Para este procedimiento se utilizó un cronometro para mayor precisión.



Ilustración 6: Medida de flujo haciendo uso recipiente de 20litros.

Las medidas fueron obtenidas en el transcurso del mes de setiembre - octubre, mes en el cual la localidad La Manzana se encuentra en la estación de verano, donde se presenta menor caudal a lo largo del año debido a que hay escasas lluvias.

Los tiempos obtenidos para llenar el recipiente de 20litros son los siguientes:

| Fecha (Día/mes/año) | Tiempo (segundos) | | | |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| | <i>Medición 01</i> | <i>Medición 02</i> | <i>Medición 03</i> | <i>Promedio</i> |
| 27/09/20 20 | 1,56 | 1,60 | 1,57 | 1,58 |
| 04/10/20 20 | 1,82 | 1,77 | 1,83 | 1,81 |
| 11/10/20 20 | 1,91 | 1,95 | 1,98 | 1,95 |
| 18/10/20 20 | 1,87 | 1,88 | 1,85 | 1,87 |

Tabla 3: Medición de tiempo en segundos en la localidad La Manzana

Para el cálculo respectivo del caudal, se hace uso de las fórmulas que rigen la mecánica de fluidos:

$$Q = \frac{m}{t}$$

Dónde:

Q : caudal $[\frac{l}{s}]$

m : volumen $[l]$

t : tiempo $[s]$

Obteniendo los siguientes resultados:

| Fecha (Día/mes/año) | Caudal(l/s) |
|---------------------|-------------|
| 27/09/2020 | 12,6849894 |
| 04/10/2020 | 11,0701107 |
| 11/10/2020 | 10,2739726 |
| 18/10/2020 | 10,7142857 |

Tabla 4: Caudal en l/s en la localidad La Manzana utilizando método 01.

A lo largo del mes el comportamiento del caudal fue el siguiente:

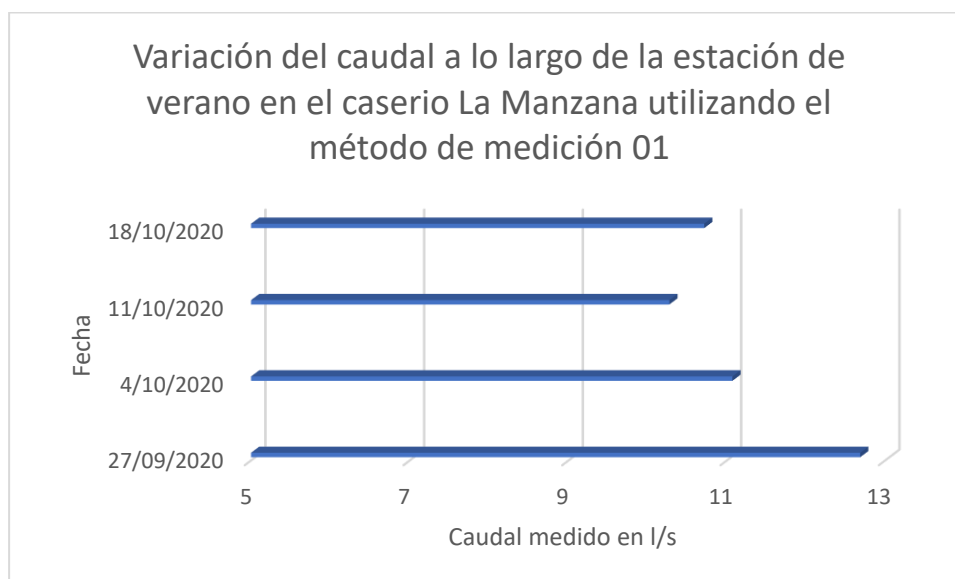


Tabla 5: Variación del caudal a lo largo de la estación de verano en el caserío La Manzana utilizando el método de medición 01

Método N°02:

Para este método se aplicaron conocimientos acerca de los vertedores, los cuales son diques o paredes que presentan una escotadura de forma regular, para esta ocasión se utilizó en específico los vertedores de tipo triangular.

Los vertedores de tipo triangular son utilizados para medir pequeños gastos, constan de una constante de descarga (C_d) que presentan poca variación, por esta razón son recomendables para el aforo de gastos inferiores a 30l/s, con cargas entre 6 y 60cm.

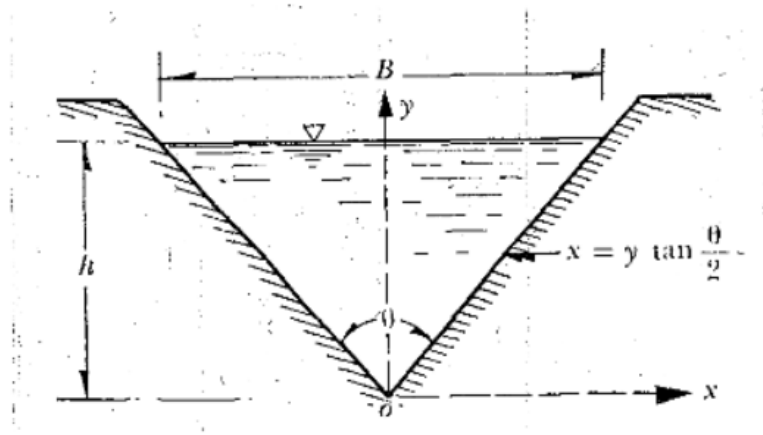


Ilustración 7: Vertedor triangular [15]

Los ángulos con los cuales se debe diseñar el vertedor triangular pueden variar según su caudal, se recomienda lo siguiente [15]:

| ÁNGULO(θ) | CAUDAL(L/S) |
|--------------------|-------------|
| 15° | 1 a 2 |
| 30° | 2 a 5 |
| 45° | 5 a 10 |
| 90° | 10 a más |

Tabla 6: Caudal recomendado según ángulos de diseño del vertedor

El caudal teórico será:

$$Q_t = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan(\theta / 2) h^{5/2}$$

El caudal real se obtiene multiplicando el caudal teórico por el correspondiente coeficiente de descarga (C_d):

$$Q = Q_t C_d$$

Entonces el caudal real se hallaría mediante la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan(\theta / 2) h^{5/2} C_d$$

Al tratarse de una cantidad de agua considerable, se fabricó un vertedor de tipo triangular con un ángulo de descarga (Θ) de 90° , y de acuerdo con la formula establecida por Thompson [15], para $0.05 \text{ m} \leq h \leq 0.25 \text{ m}$, debería utilizarse un $C_d = 0.593$, tal que si remplazamos en la ecuación anterior se obtiene lo siguiente:

$$Q = 1,42h^{5/2}$$

Como primer paso para la medición del caudal, se realizó la instalación del vertedor de tipo triangular en el canal por donde circula el flujo de agua en el caserío La Manzana:



Ilustración 8: Alineamiento del vertedero de tipo triangular.

Luego se procedió a tomar las medidas respectivas de la altura del agua mientras atravesaba el vertedor.



Ilustración 9: Medición de la altura del agua en el vertedor de tipo triangular.

Los datos obtenidos a partir de las medidas realizadas fueron los siguientes:

| <i>Fecha (Día/mes/año)</i> | <i>Altura(m)</i> |
|--------------------------------|------------------|
| <i>27/09/2020</i> | <i>0,149</i> |
| <i>04/10/2020</i> | <i>0,143</i> |
| <i>11/10/2020</i> | <i>0,137</i> |
| <i>18/10/2020</i> | <i>0,141</i> |

Tabla 7: Altura medida al circular el flujo a través del vertedor

Al reemplazar los datos en nuestra fórmula del caudal real tenemos:

| <i>Fecha</i> <i>(Día/mes/año)</i> | <i>Caudal(l/s)</i> |
|--------------------------------------|--------------------|
| 27/09/2020 | 12,1690 |
| 04/10/2020 | 10,9807 |
| 11/10/2020 | 9,6858 |
| 18/10/2020 | 10,6007 |

Tabla 8: Caudal en l/s en la localidad La Manzana utilizando método 02.

A lo largo del mes el comportamiento del caudal fue el siguiente:

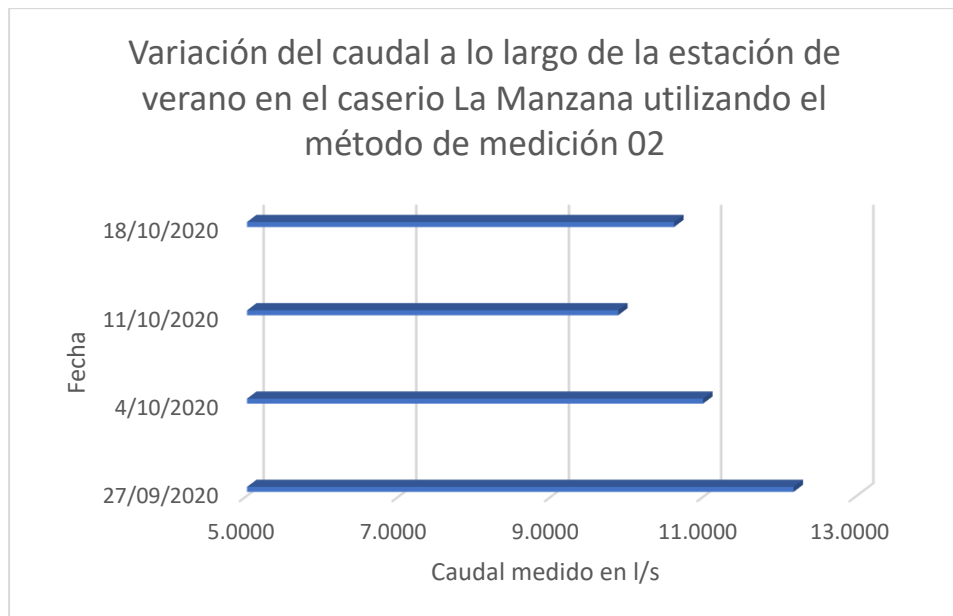


Ilustración 10: Variación del caudal a lo largo de la estación de verano en el caserío La Manzana utilizando el método de medición 02

Como se ha podido observar los dos métodos han sido bastante aproximados, por lo cual, para tener mayor aproximación debido a que los dos métodos son válidos para las mediciones, se procedió a promediar los resultados obteniendo lo siguiente:

| Fecha (Día/mes/año) | CAUDAL | | |
|------------------------|--------------|--------------|----------|
| | Método 01 | Método 02 | PROMEDIO |
| 27/09/2020 | 12,6850 | 12,1690 | 12,4270 |
| 04/10/2020 | 11,0701 | 10,9807 | 11,0254 |
| 11/10/2020 | 10,2740 | 9,8648 | 10,0694 |
| 18/10/2020 | 10,7143 | 10,6007 | 10,6575 |

Tabla 9: Cálculo de caudal promedio.

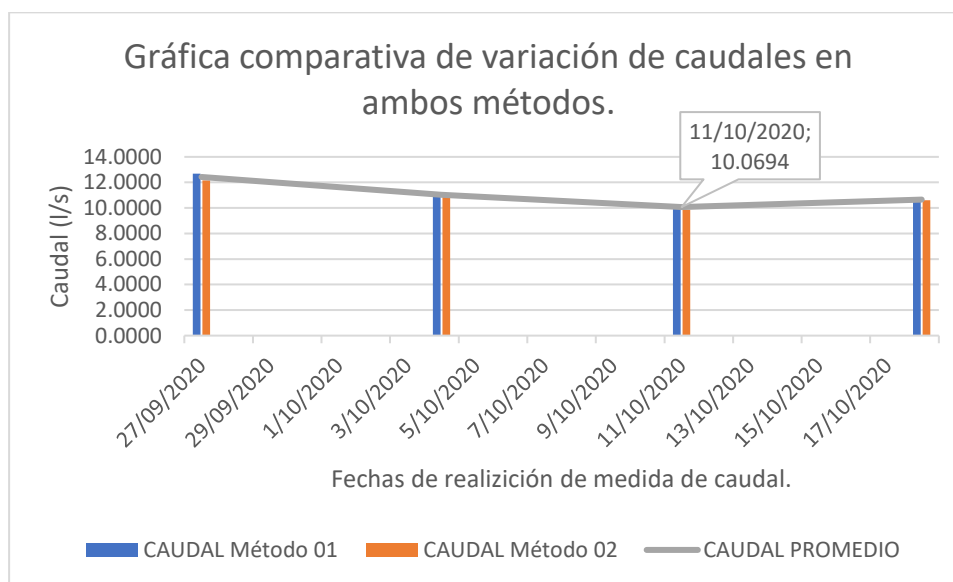


Ilustración 11: Representación gráfica de caudal mínimo a lo largo del tiempo.

Obtenidos los resultados para realizar el diseño de picoturbina se trabajará con un caudal promedio final de 10 l/s.

Determinación del salto hidráulico:

Existen diversos métodos para medir el salto o caída, en el presente proyecto se utilizó un método convencional llamado nivel de carpintero y tablas, este método es recomendado para lugares con pequeños saltos, es necesario 2 personas para poder recopilar datos.

Como primer paso se asume la posición donde estará la futura captación del flujo y se sostiene un hilo y en el otro extremo aguas abajo se sitúa el ayudante sujetando una varilla de madera donde a la cual está atada el hilo.

El ayudante debe medir la altura a la cual está ubicado el hilo y tomar anotación de la misma, así una y otra vez hasta llegar hacia dónde se plantea instalar la picoturbina Pelton.

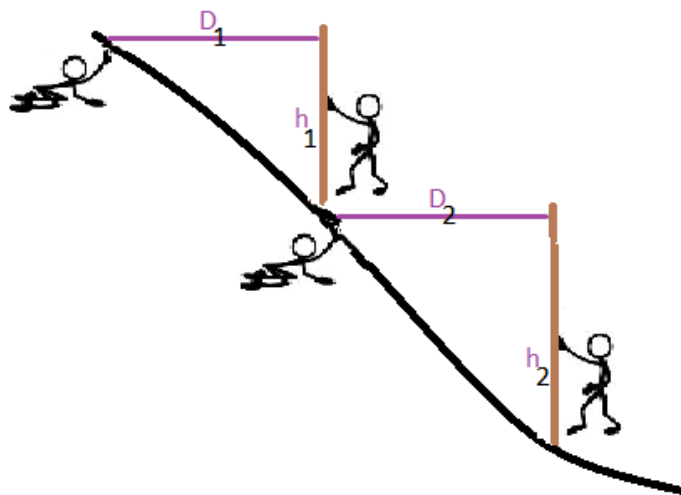


Ilustración 12: Referencia método del carpintero.

La altura bruta se hallará mediante la siguiente fórmula:

$$H_{bruta} = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n$$

H_{bruta} = altura bruta

h_n = altura medida

En total se realizaron 31 puntos de medición:

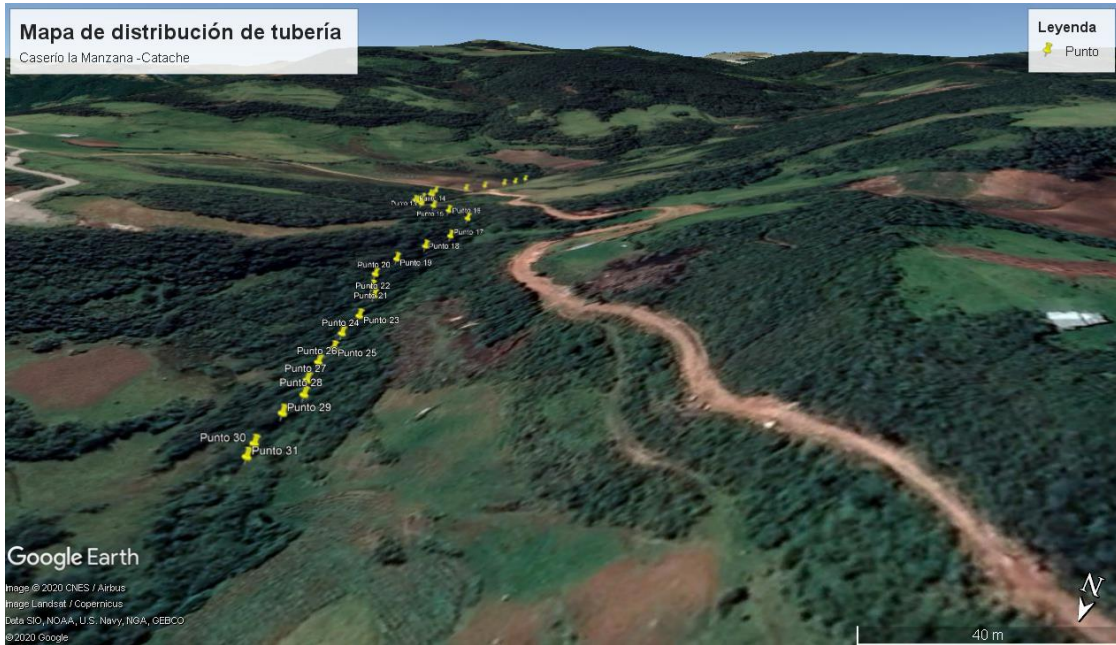


Ilustración 13: Mapa de distribución de tubería 01

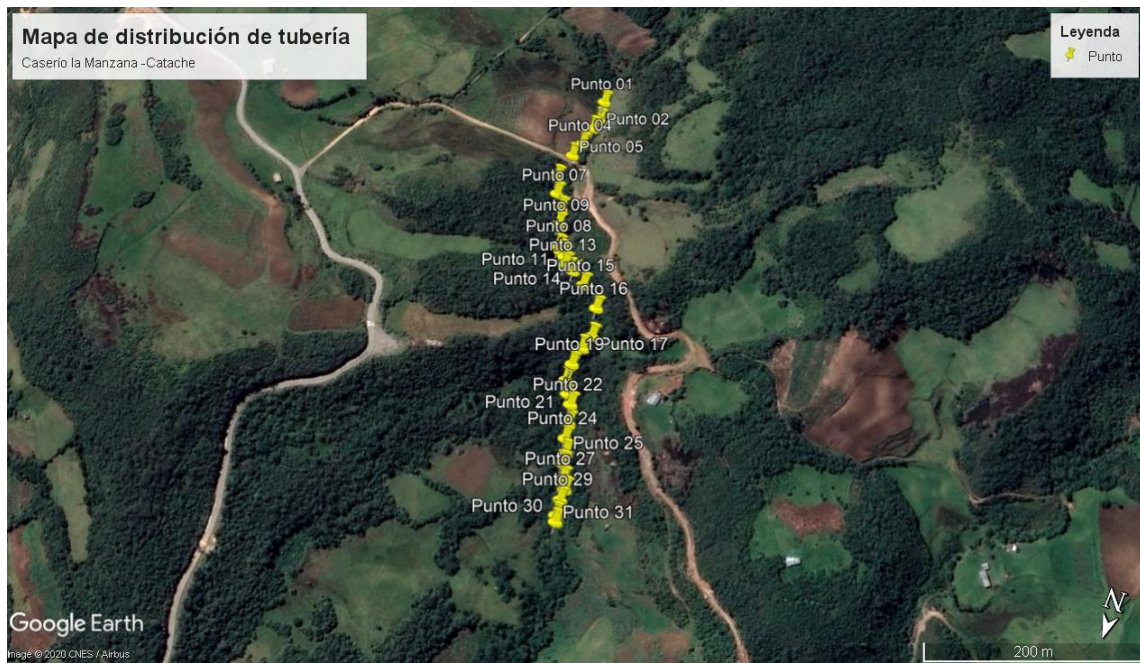


Ilustración 14: Mapa de distribución de tubería 02

Al realizar la medición se obtuvieron los siguientes datos:

| TRAMO | DISTANCIA(m) | | ALTURA(m) |
|---------------------|--------------|-------|------------|
| | | D_x | H_x |
| 1 a 2 | | 24,2 | -1,2 |
| 2 a 3 | | 13,4 | -1,4 |
| 3 a 4 | | 23,9 | -1,8 |
| 4 a 5 | | 18,2 | -1,1 |
| 5 a 6 | | 33,1 | -2,4 |
| 6 a 7 | | 20,8 | -1,35 |
| 7 a 8 | | 19,8 | -0,8 |
| 8 a 9 | | 18,4 | -1,2 |
| 9 a 10 | | 29,8 | -4 |
| 10 a 11 | | 5,8 | 2,4 |
| 11 a 12 | | 8,3 | -1,2 |
| 12 a 13 | | 9,5 | -0,6 |
| 13 a 14 | | 11,1 | -0,9 |
| 14 a 15 | | 19,6 | -0,6 |
| 15 a 16 | | 25,7 | -1,7 |
| 16 a 17 | | 27,5 | -3,6 |
| 17 a 18 | | 15,8 | -3 |
| 18 a 19 | | 17,9 | -2,5 |
| 19 a 20 | | 14,7 | -3,2 |
| 20 a 21 | | 14,6 | -3 |
| 21 a 22 | | 10,8 | -2 |
| 22 a 22 | | 0 | -4,25 |
| 22 a 23 | | 17,7 | -0,8 |
| 23 a 24 | | 15,8 | -4 |
| 24 a 25 | | 13,5 | -3,6 |
| 25 a 26 | | 10 | -2,9 |
| 26 a 27 | | 14,4 | -3,3 |
| 27 a 28 | | 10,5 | -1,8 |
| 28 a 29 | | 11,1 | -4 |
| 29 a 30 | | 14,8 | -4 |
| 30 a 31 | | 5,4 | -1,2 |
| ALTURA BRUTA | | | -65 |

Tabla 10: Altura medida a lo largo de los 31 puntos.

Obteniendo una altura bruta de 65m de caída, los cuales serán utilizados para el dimensionamiento de la picoturbina.

Objetivo N°02: Diseñar un sistema de circulación que abastecerá a la picoturbina Pelton.

Diseño de sistema de circulación del agua:

Normalmente para una microcentral hidráulica, a no ser por las características del terreno, se dispone de un sistema de circulación mediante un canal abierto. Al tratarse de generación mediante una picoturbina, el tipo de circulación será mediante tuberías.

Según el material de la tubería se plantea que la selección sea de acuerdo con los valores de rugosidad absoluta que estas presentan, mientras menor sea el valor, menos pérdidas por fricción se tendrá en el sistema. A continuación, una tabla con las rugosidades según el tipo de material que componen las diversas tuberías empleadas en la canalización de fluidos:

| Material | Rugosidad ϵ (m) | Rugosidad ϵ (ft) |
|------------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Vidrio | Liso | Liso |
| Plástico | 3.0×10^{-7} | 1.0×10^{-6} |
| Tubo estirado; cobre, latón, acero | 1.5×10^{-6} | 5.0×10^{-6} |
| Acero, comercial o soldado | 4.6×10^{-5} | 1.5×10^{-4} |
| Hierro galvanizado | 1.5×10^{-4} | 5.0×10^{-4} |
| Hierro dúctil —revestido | 1.2×10^{-4} | 4.0×10^{-4} |
| Hierro dúctil —sin revestir | 2.4×10^{-4} | 8.0×10^{-4} |
| Concreto, bien hecho | 1.2×10^{-4} | 4.0×10^{-4} |
| Acero remachado | 1.8×10^{-3} | 6.0×10^{-3} |

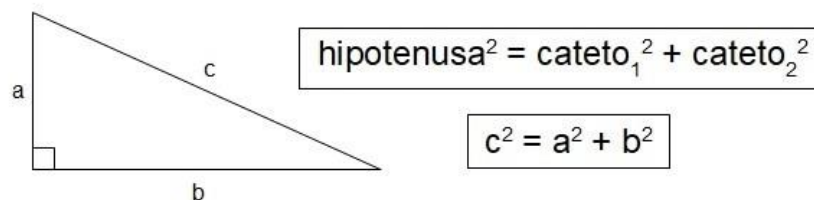
Tabla 11:Rugosidad de tubería - Valores de diseño [16]

Donde policloruro de vinilo (P.V.C.) es la tubería más empleada en los sistemas de circulación que abastecen las picoturbinas. Se trata de una tubería muy competitiva que fácilmente soportan un salto hidráulico de hasta 200 metros, su instalación es sencilla y no requiere ninguna protección contra la corrosión. Una desventaja sería que dicha tubería de PVC es sensible a la radiación ultravioleta, por lo que debe enterrarse, pintarse o cubrirse con cinta. [17]

Por consiguiente, se seleccionó el uso de tuberías de P.V.C. donde se resaltan las siguientes ventajas:

- Bajo peso: Otorga facilidad a la hora de manejo, transporte, almacenaje e instalación.
- Bajo costo: No solamente por ser más económico que los materiales convencionales sino por su facilidad de manejo, instalación y acabado final.
- Resistencia a la corrosión: Debido a su alta resistencia a la acción de ácidos, bases y soluciones salinas.
- Bajo coeficiente de rugosidad: Por sus paredes interiores totalmente lisas que reducen considerablemente las pérdidas por fricción y evita que haya incrustaciones.

Ahora para la determinar el diámetro de la tubería se calculó calculando las diagonales mediante el método de Pitágoras, donde se obtuvo la longitud real de la tubería:



| TRAMO | | | DISTANCIA(m) | ALTURA(m) | LONGITUD TUBERÍA |
|----------------------------------|---|----|--------------|-----------|------------------|
| 1 | a | 2 | 24,2 | -1,2 | 24,23 |
| 2 | a | 3 | 13,4 | -1,4 | 13,47 |
| 3 | a | 4 | 23,9 | -1,8 | 23,97 |
| 4 | a | 5 | 18,2 | -1,1 | 18,23 |
| 5 | a | 6 | 33,1 | -2,4 | 33,19 |
| 6 | a | 7 | 20,8 | -1,35 | 20,84 |
| 7 | a | 8 | 19,8 | -0,8 | 19,82 |
| 8 | a | 9 | 18,4 | -1,2 | 18,44 |
| 9 | a | 10 | 29,8 | -4 | 30,07 |
| 10 | a | 11 | 5,8 | 2,4 | 6,28 |
| 11 | a | 12 | 8,3 | -1,2 | 8,39 |
| 12 | a | 13 | 9,5 | -0,6 | 9,52 |
| 13 | a | 14 | 11,1 | -0,9 | 11,14 |
| 14 | a | 15 | 19,6 | -0,6 | 19,61 |
| 15 | a | 16 | 25,7 | -1,7 | 25,76 |
| 16 | a | 17 | 27,5 | -3,6 | 27,73 |
| 17 | a | 18 | 15,8 | -3 | 16,08 |
| 18 | a | 19 | 17,9 | -2,5 | 18,07 |
| 19 | a | 20 | 14,7 | -3,2 | 15,04 |
| 20 | a | 21 | 14,6 | -3 | 14,91 |
| 21 | a | 22 | 10,8 | -2 | 10,98 |
| 22 | a | 22 | 0 | -4,25 | 4,25 |
| 22 | a | 23 | 17,7 | -0,8 | 17,72 |
| 23 | a | 24 | 15,8 | -4 | 16,30 |
| 24 | a | 25 | 13,5 | -3,6 | 13,97 |
| 25 | a | 26 | 10 | -2,9 | 10,41 |
| 26 | a | 27 | 14,4 | -3,3 | 14,77 |
| 27 | a | 28 | 10,5 | -1,8 | 10,65 |
| 28 | a | 29 | 11,1 | -4 | 11,80 |
| 29 | a | 30 | 14,8 | -4 | 15,33 |
| 30 | a | 31 | 5,4 | -1,2 | 5,53 |
| LONGITUD TOTAL DE TUBERÍA | | | | | 506,50 |

Tabla 12: Resultados de longitud de tubería mediante método Pitágoras.

Se determinó que la longitud total de la tubería que abastece nuestra picoturbina tiene una longitud de 506.5m de largo, este dato es clave para poder determinar el diámetro que debe tener la tubería.

El diámetro de la tubería de presión que se utilizará para abastecer la picoturbina, está determinado por la siguiente ecuación [10]:

$$d = 0.35 \sqrt[5]{\frac{Q^2 L}{H_b}}$$

Donde:

Q : caudal [$\frac{m}{s}$]

L : longitud de la tubería de presión (m)

H_b : Altura bruta (m)

Reemplazando los datos en la ecuación anterior, se determina el valor del diámetro de la tubería de presión.

$$d = 0.35 \sqrt[5]{\frac{0.01^2 \times 506.50}{65}}$$

$$d = 0.0716m$$

Una vez obtenido el valor en metros se procede a elegir un diámetro de tubería comercial, optando por un diámetro de tubería comercial de 4plg.

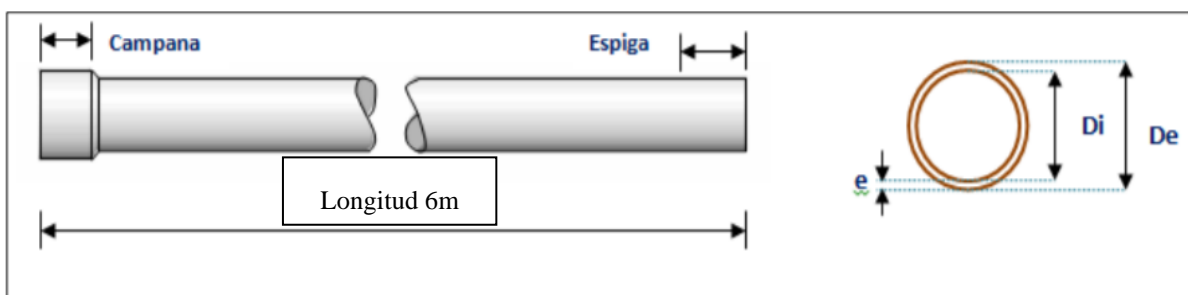


Ilustración 15: Tubería de 4plg de PVC.

Para facilitar el diseño del sistema tuberías que abastecerá de flujo de agua a la picoturbina Pelton se plantea hacer uso de un software, Pipe Flow Expert es una aplicación de software de primer nivel para modelar el sistema hidráulico de los sistemas de tuberías. A continuación, se ingresará los datos de ingreso en la captación.

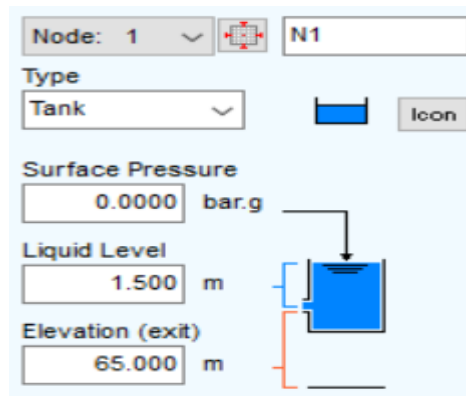


Ilustración 16: Ingreso de datos del pequeño embalse(tanque) en el software Pipe Flow Expert.

La captación del flujo de agua(embalse), puede ser simulada como un tanque, en el cual se indica la altura de ubicación y nivel del líquido.

En el software podemos encontrar una amplia librería de tuberías de acuerdo con el material y diámetro que se disponga. Cada elemento de la biblioteca indica los parámetros nominales de fabricación de acuerdo con lo estandarizado. Además, si no puede encontrar el elemento en la base de datos, puede agregarlo manualmente.

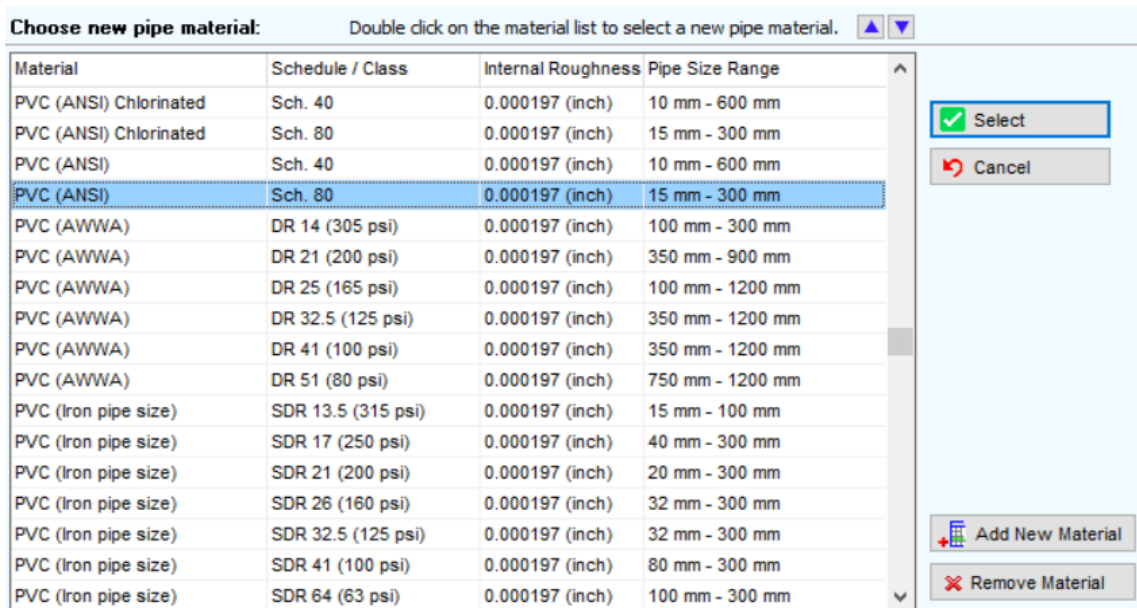


Ilustración 17: Librería de materiales en el software Pipe Flow Expert

El material seleccionado fue P.V.C. Sech80 de 4'', en la siguiente ilustración se especifica las características de la tubería, según la librería del software Pipe Flow Expert.

| Material | Schedule / Class | Internal Roughness (inch) |
|------------|------------------|---------------------------|
| PVC (ANSI) | Sch. 80 | 0.000197 |

| Nominal Size | Internal Diam. inch | Wall Thick. inch | Outside Diam. inch | Weight lbs/ft | Internal Vol ft ³ / 100 ft | Surface Area ft ² / 100 ft |
|--------------|---------------------|------------------|--------------------|---------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 4" | 3.826 | 0.337 | 4.500 | 2.869 | 7.9839 | 117.8097 |

Ilustración 18: Características de la tubería de presión.

Pipe Flow Expert también brinda la posibilidad de agregar cualquier tipo de accesorios a la tubería, incluidos codos, válvulas, elementos de control, geometría de entrada, etc. Cuando el elemento seleccionado en el sistema de análisis no se encuentra en la base de datos, se puede ingresar un nuevo elemento y su respectivo coeficiente de pérdida.

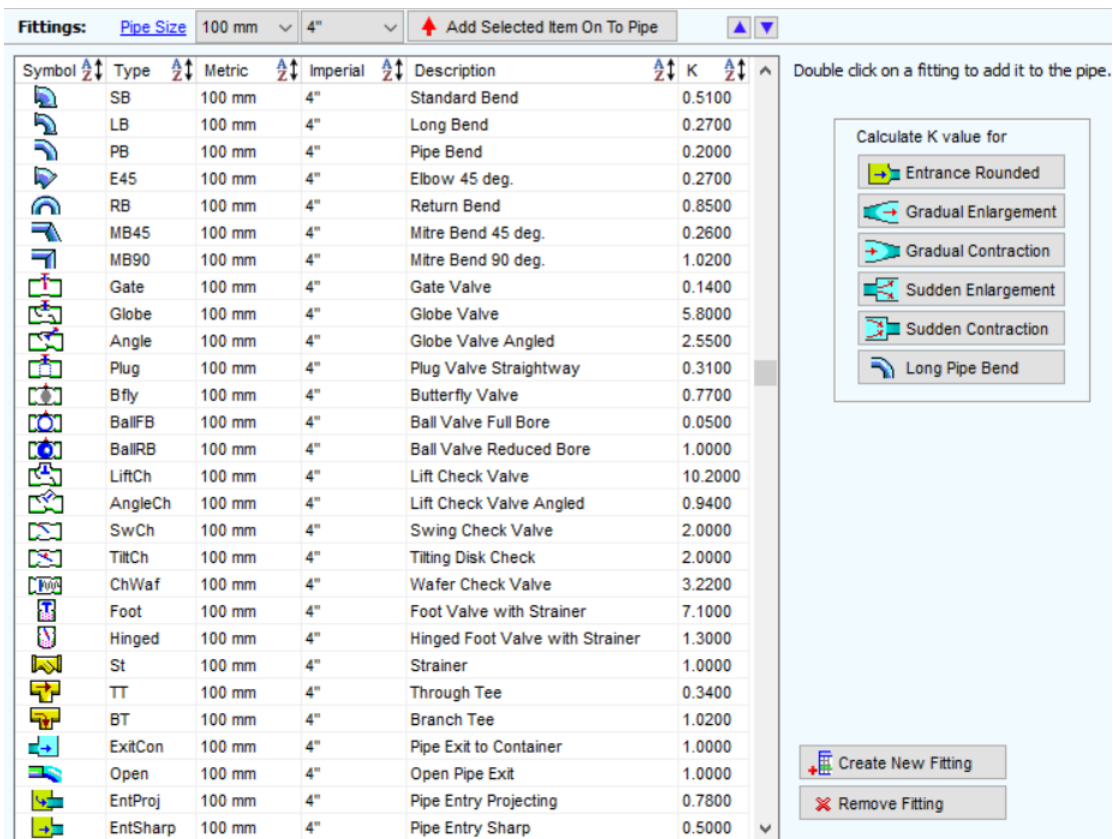


Ilustración 19: Selección de accesorios en software Pipe Flow Expert

Pipe Fluid Expert puede realizar cálculos para diferentes fluidos de trabajo (incluidos fluidos compresibles e incompresibles). Para este proyecto, el fluido de trabajo es agua a temperatura ambiente y presión atmosférica.

| Nombre del fluido | Fórmula química | Temperatura °C | Presión bar. g | Densidad kg/m ³ | Presión de vapor bar. a | Estado |
|-------------------|------------------|----------------|----------------|----------------------------|-------------------------|--------|
| Water | H ₂ O | 10 | 0,0000 | 1000,000 | 0,012280 | Liquid |

Tabla 13: Características del fluido.

De manera consiguiente se realizó el dibujo del tanque, nodos, tuberías, implementación de accesorios, obteniendo:

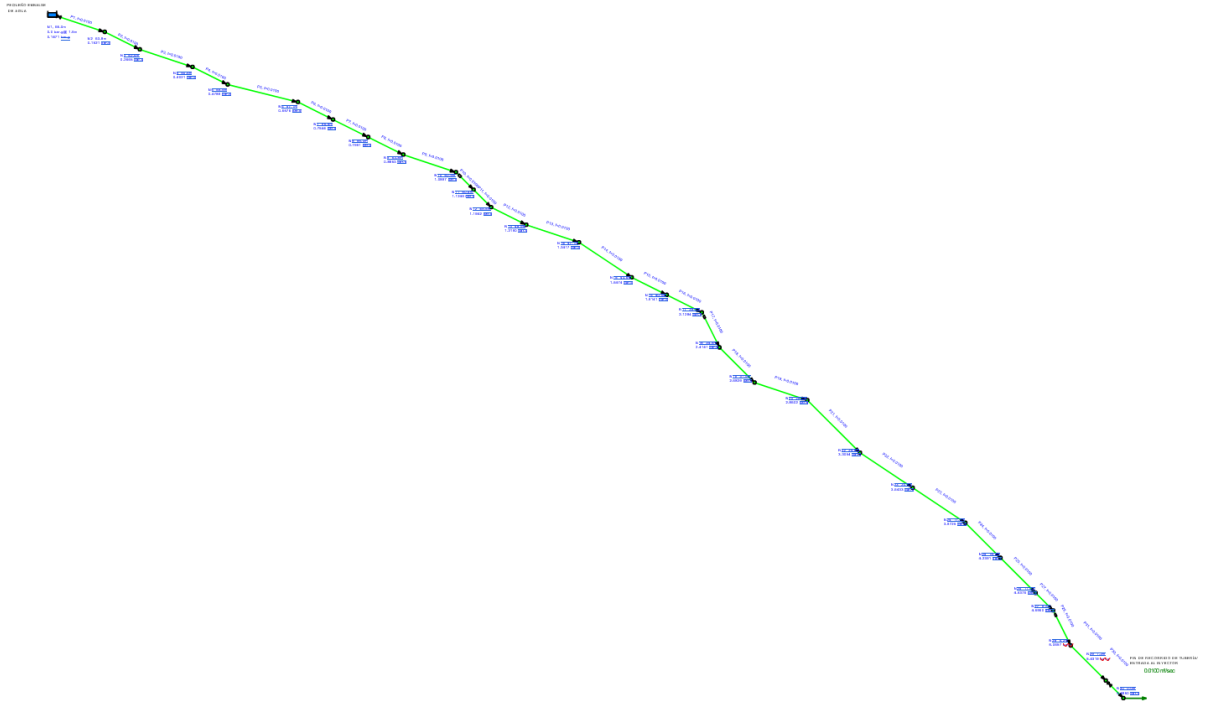


Ilustración 20: Distribución de sistema de abastecimiento de picoturbina.

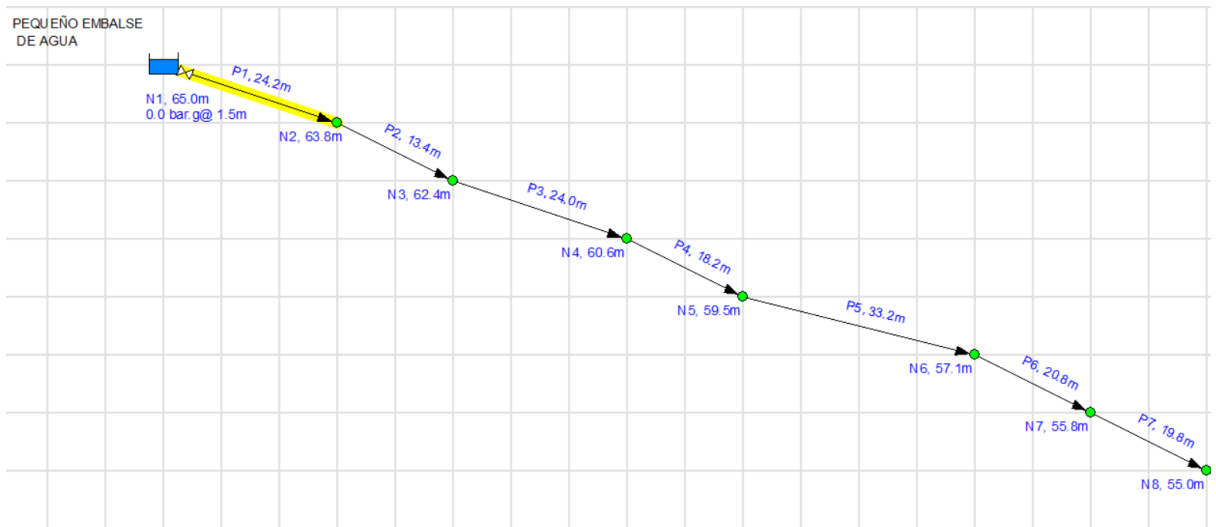


Ilustración 21: Distribución sistema de abastecimiento de agua mediante software Pipe Flow Expert, nodo 1-8.

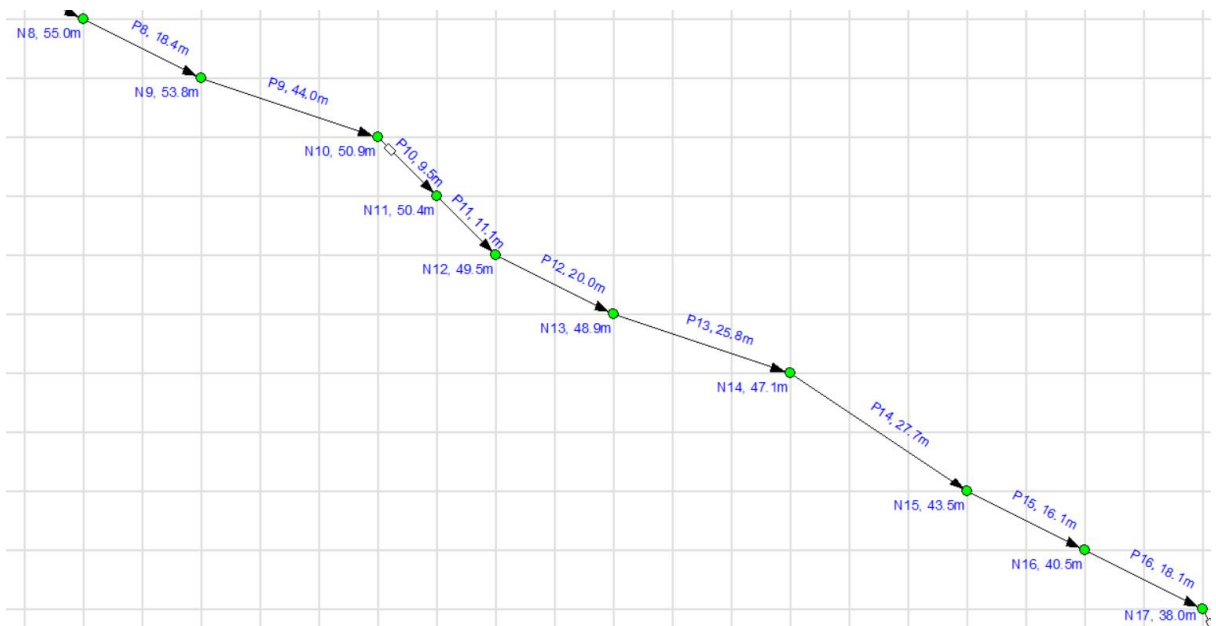


Ilustración 22: Distribución sistema de abastecimiento de agua mediante software Pipe Flow Expert, nodo 8-17.

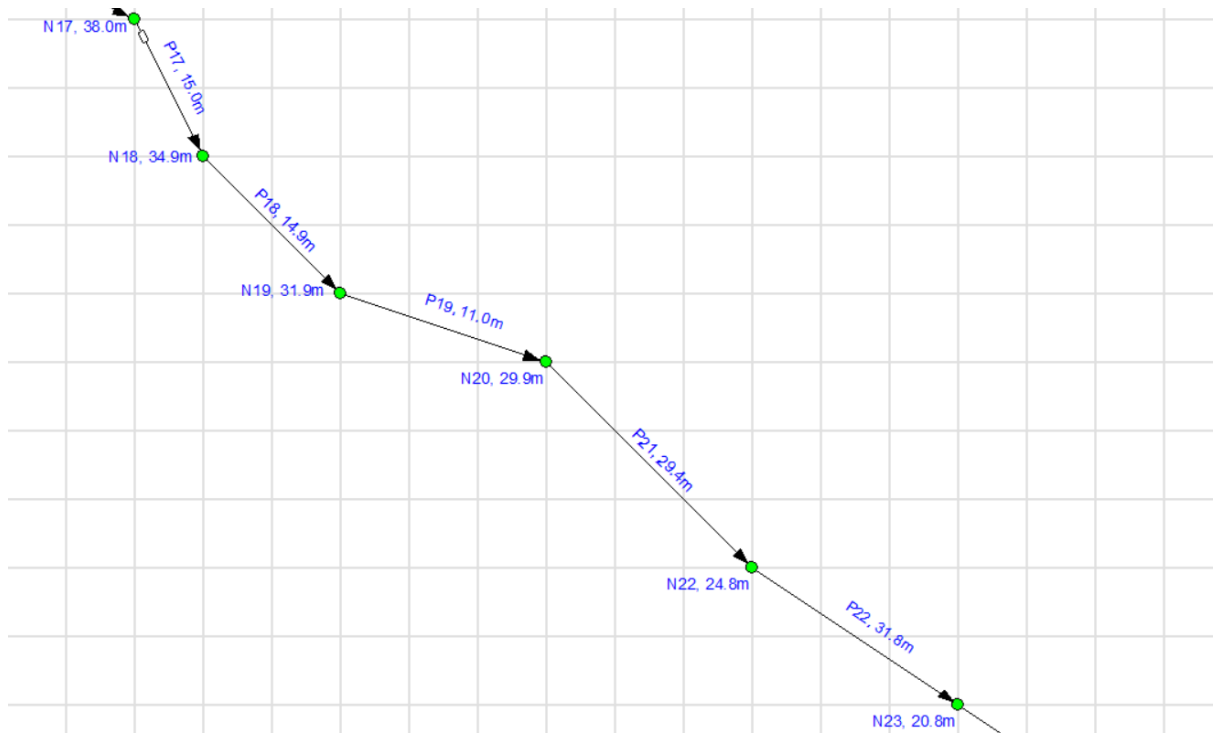


Ilustración 23: Distribución sistema de abastecimiento de agua mediante software Pipe Flow Expert, nodo 17-23.

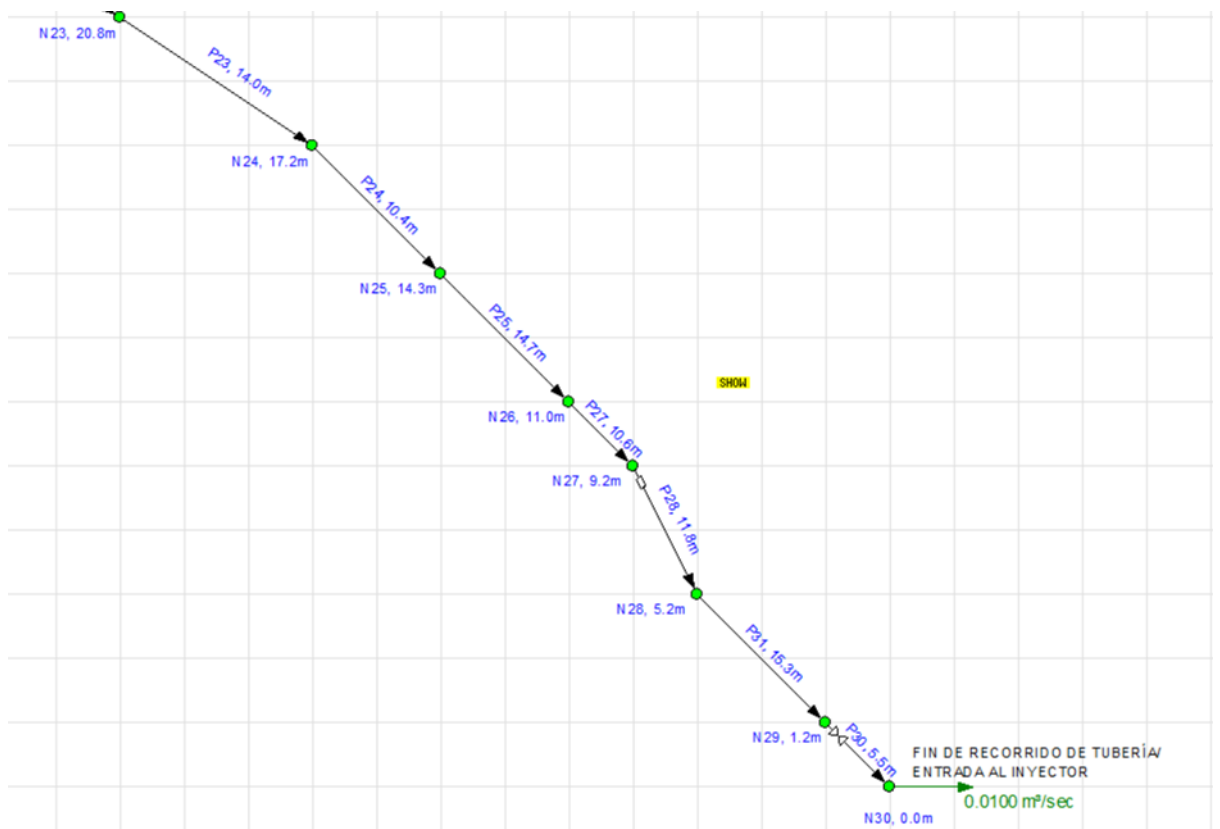


Ilustración 24: Distribución sistema de abastecimiento de agua mediante software Pipe Flow Expert, nodo 23-30.

Una vez ingresados los datos iniciales, se procede a correr la simulación de fluido obteniendo el cálculo de diferentes pérdidas que experimenta el fluido a lo largo del sistema de circulación.

Resultados en las tuberías:

| ID de tubería | Diámetro interior mm | Longitud m | Flujo volumétrico m ³ /sec | Presión a la entrada bar,g | Presión a la salida bar,g |
|---------------|----------------------|------------|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1 | 97,18 | 24,2 | 0,01 | 0,1471 | 0,1521 |
| 2 | 97,18 | 13,4 | 0,01 | 0,1521 | 0,2665 |
| 3 | 97,18 | 23,96 | 0,01 | 0,2665 | 0,4021 |
| 4 | 97,18 | 18,23 | 0,01 | 0,4021 | 0,4789 |
| 5 | 97,18 | 33,18 | 0,01 | 0,4789 | 0,6576 |
| 6 | 97,18 | 20,8 | 0,01 | 0,6576 | 0,7544 |
| 7 | 97,18 | 19,8 | 0,01 | 0,7544 | 0,7991 |
| 8 | 97,18 | 18,43 | 0,01 | 0,7991 | 0,8853 |
| 9 | 97,18 | 43,98 | 0,01 | 0,8853 | 10,897 |
| 10 | 97,18 | 9,51 | 0,01 | 10,897 | 11,249 |
| 11 | 97,18 | 11,1 | 0,01 | 11,249 | 11,942 |
| 12 | 97,18 | 19,96 | 0,01 | 11,942 | 1,219 |
| 13 | 97,18 | 25,75 | 0,01 | 1,219 | 13,417 |
| 14 | 97,18 | 27,73 | 0,01 | 13,417 | 16,474 |
| 15 | 97,18 | 16,08 | 0,01 | 16,474 | 19,141 |
| 16 | 97,18 | 18,07 | 0,01 | 19,141 | 21,284 |
| 17 | 97,18 | 15,04 | 0,01 | 21,284 | 24,141 |
| 18 | 97,18 | 14,9 | 0,01 | 24,141 | 26,829 |
| 19 | 97,18 | 10,98 | 0,01 | 26,829 | 28,602 |
| 21 | 97,18 | 29,35 | 0,01 | 28,602 | 33,054 |
| 22 | 97,18 | 31,8 | 0,01 | 33,054 | 36,433 |
| 23 | 97,18 | 13,97 | 0,01 | 36,433 | 39,725 |
| 24 | 97,18 | 10,41 | 0,01 | 39,725 | 42,391 |
| 25 | 97,18 | 14,7 | 0,01 | 42,391 | 45,376 |
| 27 | 97,18 | 10,6 | 0,01 | 45,376 | 4,696 |
| 28 | 97,18 | 11,79 | 0,01 | 4,696 | 50,657 |
| 30 | 97,18 | 5,5 | 0,01 | 54,319 | 5,485 |
| 31 | 97,18 | 15,3 | 0,01 | 50,657 | 54,319 |

Tabla 14: Datos de presiones en las tuberías.

Resultados en los nodos

| Node | Tipo de Nodo | Elevación m | Nivel de liquido m | Presión en la superficie bar,g | Presión en el nodo bar,g | HGL en el nodo | Demanda de caudal m ³ /sec |
|------|--------------|-------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------|---------------------------------------|
| N1 | Tanque | 65 | 1,5 | 0 | 0,1471 | 66,5 | N/A |
| N2 | Punto unión | 63,8 | N/A | N/A | 0,1521 | 65,351 | 0 |
| N3 | Punto unión | 62,4 | N/A | N/A | 0,2665 | 65,118 | 0 |
| N4 | Punto unión | 60,6 | N/A | N/A | 0,4021 | 64,7 | 0 |
| N5 | Punto unión | 59,5 | N/A | N/A | 0,4789 | 64,383 | 0 |
| N6 | Punto unión | 57,1 | N/A | N/A | 0,6576 | 63,805 | 0 |
| N7 | Punto unión | 55,75 | N/A | N/A | 0,7544 | 63,443 | 0 |
| N8 | Punto unión | 54,95 | N/A | N/A | 0,7991 | 63,098 | 0 |
| N9 | Punto unión | 53,75 | N/A | N/A | 0,8853 | 62,777 | 0 |
| N10 | Punto unión | 50,9 | N/A | N/A | 10,897 | 62,011 | 0 |
| N11 | Punto unión | 50,35 | N/A | N/A | 11,249 | 61,821 | 0 |
| N12 | Punto unión | 49,45 | N/A | N/A | 11,942 | 61,627 | 0 |
| N13 | Punto unión | 48,85 | N/A | N/A | 1,219 | 61,28 | 0 |
| N14 | Punto unión | 47,15 | N/A | N/A | 13,417 | 60,831 | 0 |
| N15 | Punto unión | 43,55 | N/A | N/A | 16,474 | 60,349 | 0 |
| N16 | Punto unión | 40,55 | N/A | N/A | 19,141 | 60,069 | 0 |
| N17 | Punto unión | 38,05 | N/A | N/A | 21,284 | 59,754 | 0 |
| N18 | Punto unión | 34,85 | N/A | N/A | 24,141 | 59,467 | 0 |
| N19 | Punto unión | 31,85 | N/A | N/A | 26,829 | 59,208 | 0 |
| N20 | Punto unión | 29,85 | N/A | N/A | 28,602 | 59,016 | 0 |
| N22 | Punto unión | 24,8 | N/A | N/A | 33,054 | 58,505 | 0 |
| N23 | Punto unión | 20,8 | N/A | N/A | 36,433 | 57,951 | 0 |
| N24 | Punto unión | 17,2 | N/A | N/A | 39,725 | 57,708 | 0 |
| N25 | Punto unión | 14,3 | N/A | N/A | 42,391 | 57,527 | 0 |
| N26 | Punto unión | 11 | N/A | N/A | 45,376 | 57,271 | 0 |
| N27 | Punto unión | 9,2 | N/A | N/A | 4,696 | 57,086 | 0 |
| N28 | Punto unión | 5,2 | N/A | N/A | 50,657 | 56,856 | 0 |
| N29 | Punto unión | 1,2 | N/A | N/A | 54,319 | 56,59 | 0 |
| N30 | Punto unión | 0 | N/A | N/A | 5,485 | 55,931 | 0,01 |

Tabla 15: Datos de presiones y pérdidas de carga en los nodos.

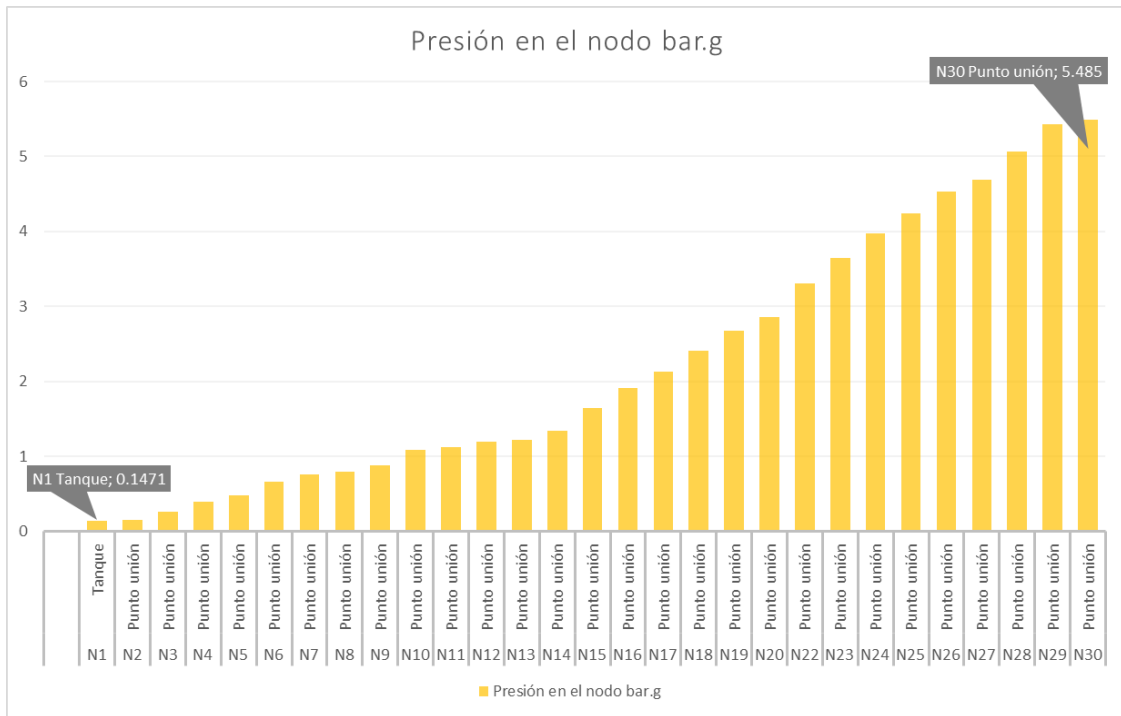


Ilustración 25: Representación gráfica de la variación de la presión a lo largo de los nodos.

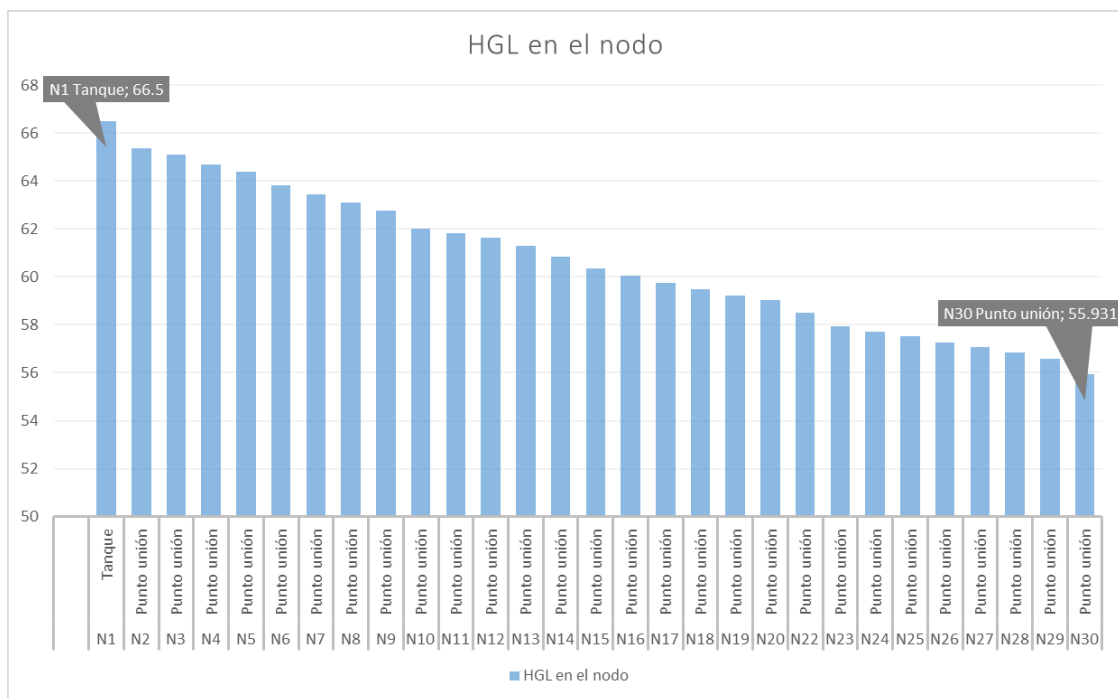


Ilustración 26: Representación gráfica de la variación de la carga de agua debido a pérdidas por fricción.

Los valores obtenidos son de gran importancia, en específico el valor HGL, dónde se aprecia una pérdida de carga de 65m a 55.931m de altura, a 5.485bar, datos que serán con los cuales se iniciará el diseño de parámetros de tamaño de la picoturbina Pelton.

Resultados de accesorios implementados en las tuberías, muchos influyen en la pérdida de carga del flujo de agua:

| ID tubería | Nombre | Posición accesorio | Description | Tamaño | Database Ref | K Value | Cantidad | K Total |
|------------|--------|--------------------|-----------------------|--------|--------------|---------|----------|---------|
| 1 | P1 | Inicio de tubería | Pipe Entry Projecting | 4" | EntProj | 0,78 | 1 | 0,78 |
| 1 | P1 | Inicio de tubería | Globe Valve | 4" | Globe | 5,8 | 1 | 5,8 |
| 1 | P1 | Inicio de tubería | Elbow 45 deg, | 4" | E45 | 0,27 | 1 | 0,27 |
| 1 | P1 | Inicio de tubería | Open Pipe Exit | 4" | Open | 1 | 1 | 1 |
| 2 | P2 | Sin accesorios | | | | | | |
| 3 | P3 | Sin accesorios | | | | | | |
| 4 | P4 | Sin accesorios | | | | | | |
| 5 | P5 | Sin accesorios | | | | | | |
| 6 | P6 | Sin accesorios | | | | | | |
| 7 | P7 | Sin accesorios | | | | | | |
| 8 | P8 | Sin accesorios | | | | | | |
| 9 | P9 | Sin accesorios | | | | | | |
| 10 | P10 | Inicio de tubería | Elbow 45 deg, | 4" | E45 | 0,27 | 1 | 0,27 |
| 11 | P11 | Sin accesorios | | | | | | |
| 12 | P12 | Sin accesorios | | | | | | |
| 13 | P13 | Sin accesorios | | | | | | |
| 14 | P14 | Sin accesorios | | | | | | |
| 15 | P15 | Sin accesorios | | | | | | |
| 16 | P16 | Sin accesorios | | | | | | |
| 17 | P17 | Inicio de tubería | Elbow 45 deg, | 4" | E45 | 0,27 | 1 | 0,27 |
| 18 | P18 | Sin accesorios | | | | | | |
| 19 | P19 | Sin accesorios | | | | | | |
| 21 | P21 | Sin accesorios | | | | | | |
| 22 | P22 | Sin accesorios | | | | | | |
| 23 | P23 | Sin accesorios | | | | | | |
| 24 | P24 | Sin accesorios | | | | | | |
| 25 | P25 | Sin accesorios | | | | | | |
| 27 | P27 | Sin accesorios | | | | | | |
| 28 | P28 | Inicio de tubería | Elbow 45 deg, | 4" | E45 | 0,27 | 1 | 0,27 |

Tabla 16: Lista de accesorios implementados en tuberías.

Objetivo N°03: Evaluar los parámetros hídricos en el diseño de la picoturbina Pelton.

A continuación, se presenta una tabla especificando los parámetros hídricos que se encuentran disponibles a turbinar:

| Altura de las presas | Salto Bruto | Caudales a plena carga |
|----------------------|-------------|------------------------|
| m | m | m ³ /s |
| 1,5 | 55,9 | 0,01 |

Tabla 17: Datos de parámetros hídricos disponibles para turbinar.

i. Potencia Generada.

Como primer paso, se procede a calcular la potencia normal aproximada en la turbina, mediante la siguiente formula [10]:

$$P_e^* = \eta \gamma Q^* H_n$$

Donde:

η = eficiencia de la turbina [%]

γ = peso específico del agua [N / m^3]

Q^* = Caudal promedio [m^3 / s]

H_n = Altura neta [m]

El rendimiento de la turbina Pelton en escala pico oscila entre 82% - 90%, para fines prácticos se trabajará con un 86% de rendimiento; y un peso específico fluido de agua a temperatura ambiente de 9806 N/m³, donde se obtuvo:

$$P_e^* = (0,98) \times (9806 N / m^3) \times (0,01 m^3 / s) \times (55,9 m)$$

$$P_e^* = 4716 W$$

Luego de remplazar se halló una potencia de generación de 4716W, o también 6.412CV.

ii. *Triángulo de velocidades.*

El análisis del triángulo de velocidades es esencial para empezar el dimensionamiento de nuestro rodete y cangilones, donde es en los cangilones donde se graficará dicho triángulo:

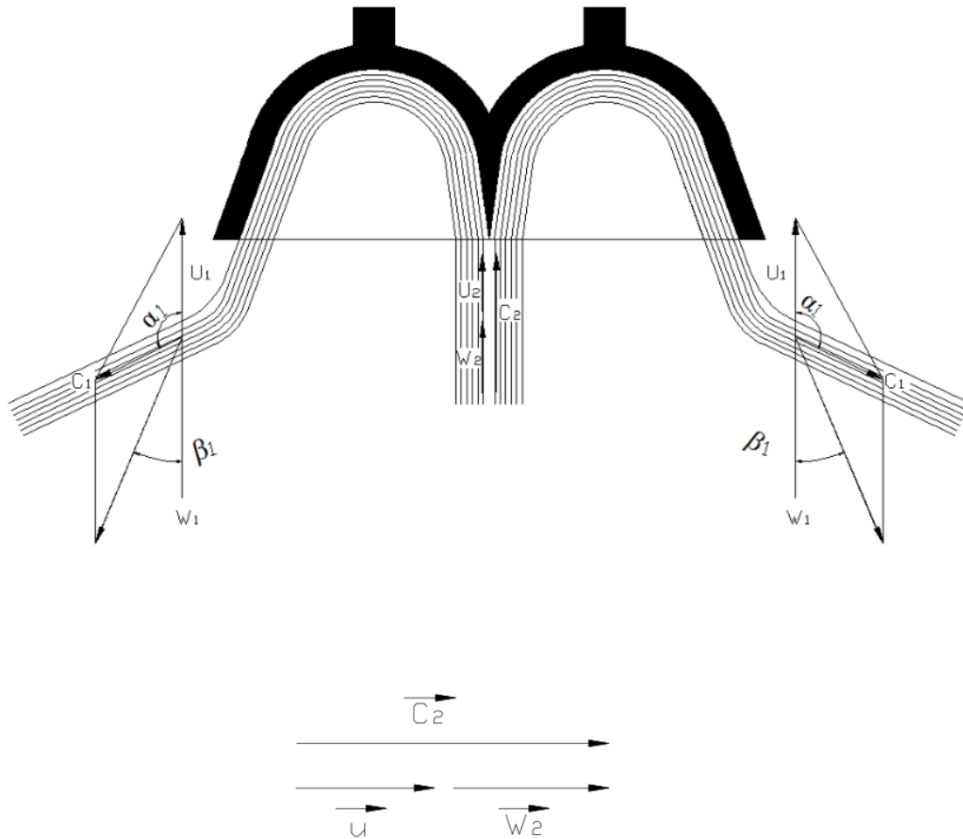


Ilustración 27: Diagrama de triángulo de velocidades en turbinas Pelton.

Velocidad del chorro de agua a la salida del inyector (C_i)

Este es el punto de partida en el análisis de velocidades del flujo de agua a turbinar, se analiza el punto en el que el chorro de agua hace contacto con el cangilón.

$$C_i = \sqrt{1 - \frac{\Delta H_i}{H_n}} \sqrt{2gH_n}$$

Donde:

ΔH_i = Variación de altura debido a pérdidas en tubería.

H_n = Altura neta de trabajo.

Si se obtuvo una pérdida de altura en tuberías de 10.6m y una altura bruta de 55.9m según cálculos, entonces:

$$C_i = \sqrt{1 - \frac{10,6m}{55,9m}} \sqrt{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 55,9m}$$

$$C_i = 29,8125m / s$$

Velocidad Tangencial.

La velocidad tangencial en turbinas de acción se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$U_2 = K_u C_2 \cos(\alpha_2)$$

Donde:

K_u = Coeficiente de velocidad tangencial, para obtener una máxima eficiencia este oscila entre 0.46 a 0.47.

C_2 = Velocidad absoluta en la entrada del cangilón, es igual a la velocidad a la salida del chorro de agua en inyector C_i .

α_2 = Ángulo conformado por la componente de la velocidad tangencial U_2 y velocidad absoluta C_2 , en turbinas tipo pelton este ángulo es igual a 0.

Al reemplazar los valores, con un coeficiente de velocidad tangencial igual a 47 se obtuvo:

$$U_2 = 47 \times 29,81 \frac{m}{s} \times \cos(0)$$

$$U_2 = 14,011 \frac{m}{s}$$

Velocidad Relativa

Haciendo uso de las velocidades anteriormente halladas, se procede a calcular la velocidad relativa con que impacta el agua en el cangilón:

$$W_2 = C_2(1 - Ku)$$

$$W_2 = 29,81 \frac{m}{s} (1 - 0,47)$$

$$W_2 = 15,80 \frac{m}{s}$$

Para el cálculo de la velocidad relativa a la salida del cangilón, se presencian pérdidas debido a fricción del agua con la superficie de la cuchara, lo cual se representa en pérdidas de velocidad, entonces la ecuación sería:

$$W_1 = K_f C_2 (1 - Ku)$$

Donde:

K_f = Coeficiente de velocidad relativa, donde para efectos de diseño con alta eficiencia se usará una estimación de 0.98.

$$W_1 = 0,98 \times 29,81 \frac{m}{s} (1 - 0,47)$$

$$W_1 = 15,48 \frac{m}{s}$$

Velocidad del chorro de agua a la salida del cangilón (C_1)

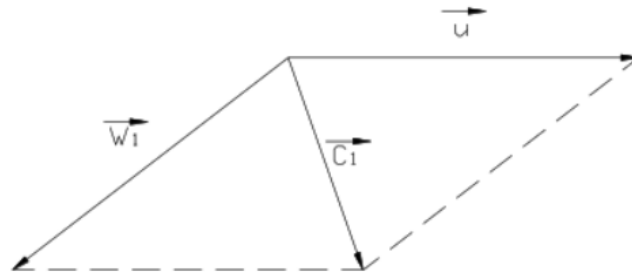


Ilustración 28: Velocidad absoluta de salida.

La velocidad está expresada mediante la siguiente ecuación:

$$C_1 = C_2 \sqrt{K_u^2 + K_f^2 (1 - K_u)^2 - 2K_u K_f (1 - K_u) \cos(\beta_1)}$$

Al tratarse de un diseño estándar, el ángulo β_1 estará comprendido entre 4° y 20° , por lo cual se optó por seleccionar un ángulo igual a 10° .

$$C_1 = C_2 \sqrt{0,47 + 0,98^2 (1 - 0,47)^2 - 2 \times 0,47 \times 0,98 \times (1 - 0,47) \cos(10)}$$

$$C_1 = 28,29 \frac{m}{s}$$

iii. *Cálculo de la velocidad de la turbina:*

En la determinación de la velocidad de giro en la turbina, intervienen dos variables muy importantes, la velocidad específica del chorro de agua y la altura de salto hidráulico; donde:

Velocidad específica:

$$N_s = 85,49 \frac{\sqrt{n_j}}{H_n^{0,243}}$$

Donde:

N_s = Velocidad específica

n_j = Número de inyectores

H_n = Altura neta de trabajo [m]

Para cuestión de diseño, se plantea el uso de 01 inyector, reemplazando valores anteriores se obtuvo:

$$N_s = 85,49 \frac{\sqrt{1}}{55,9^{0,243}}$$

$$N_s = 32,16$$

Una vez obtenido el número específico de revoluciones, se procede a cerciorar que efectivamente se trata de una turbomáquina tipo Pelton, esto mediante la realización de la intersección entre el número específico de revoluciones (N_s) y la altura neta de caída de agua (H_n).

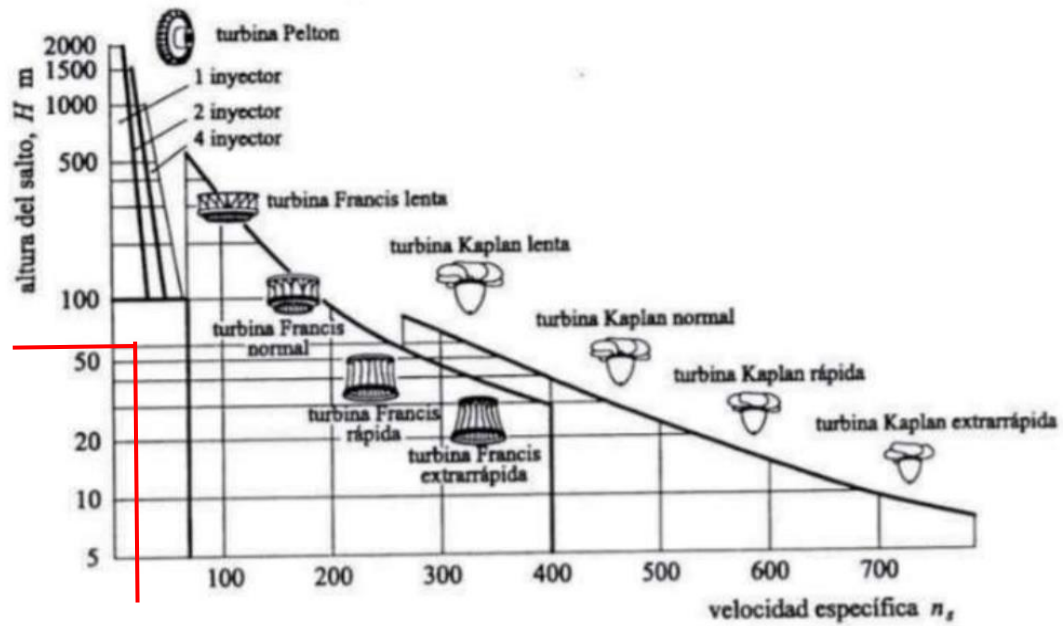


Ilustración 29: Rango de aplicación de pequeñas turbinas, según su número específico de revoluciones y Altura neta de caída. [18]

Velocidad de la turbina (*rpm*).

$$N = N_s \times \frac{H_n^{\frac{5}{4}}}{\sqrt{P_e^*}}$$

Donde:

N = Velocidad de la turbina [*rpm*]

N_s = Velocidad específica

P_e^* = Potencia de entrada aproximada [*CV*]

Reemplazando los valores anteriormente calculados, se tiene:

$$N = 32,16 \times \frac{55,9m^{\frac{5}{4}}}{\sqrt{6,412CV}}$$

$$N = 1941,15$$

iv. *Dimensionamiento de inyector:*

El uso de un inyector es indispensable en las turbinas de tipo Pelton, éste se encarga de generar una fuerte aceleración en el fluido. El inyector está compuesto de una aguja que cumple con la función de regular la velocidad del fluido, donde se tiene una traslación x , la cual es el avance que tiene la aguja lo cual permitirá lograr una potencia que es proporcional al caudal y a su vez al área de paso del fluido.

Para dar inicio con el dimensionamiento se tiene que calcular el diámetro máximo a la salida del inyector mediante la siguiente fórmula:

$$d_o = \sqrt{\frac{4Q}{\pi K_c \sqrt{2gH_n}}}$$

Donde:

d_o = Diámetro del área del flujo de agua [m]

Q = Caudal a turbinar $\left[\frac{m^3}{s} \right]$

K_c = Coeficiente de velocidad de inyector

g = Aceleración de la gravedad $\left[\frac{m}{s^2} \right]$

H_n = Altura neta de flujo de agua [m]

La estimación del coeficiente en inyectores para turbinas tipo Pelton es de 0.98, entonces:

$$d_o = \sqrt{\frac{4 \times 0,01 \frac{m^3}{s}}{\pi \times 0,98 \sqrt{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 55,9m}}}$$

$$d_o = 0,020m$$

$$d_o = 20mm$$

Luego de analizar los parámetros anteriores y reemplazar, se obtuvo un diámetro de chorro de agua de 0.020m, para criterio de diseño se le dará 1mm adicional para el diseño de la sección de salida en el inyector, teniendo un diámetro de chorro de agua de 21mm.

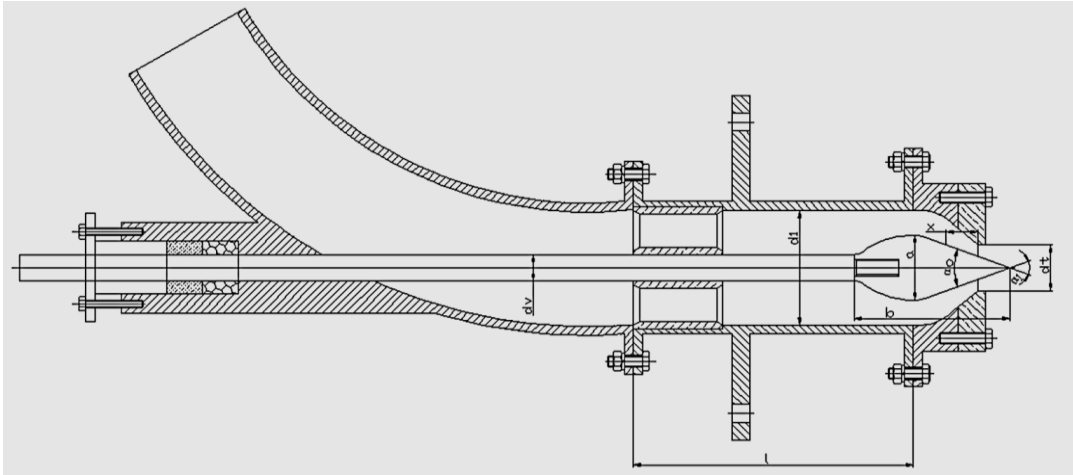


Ilustración 30: Inyector de una turbina Pelton

| | | | |
|------------|----------|--------|--------|
| a | 1,42 * d | 0,0295 | m |
| α_0 | 40 - 60 | 50 | grados |
| α_1 | 60 - 90 | 75 | grados |
| d_t | 1,1 * d | 0,0228 | m |
| x | 0,5 * d | 0,0104 | m |
| d_v | 0,58 * d | 0,0120 | m |
| b | 3,25 * d | 0,0676 | m |
| d_2 | 4,5 * d | 0,0936 | m |
| l | 6 , d | 0,1248 | m |
| r | 15 , d | 0,3121 | m |
| d_1 | 2,5 * d | 0,0520 | m |

Tabla 18: Tabla de resultados de medidas del inyector.

v. *Cálculo del diámetro de la rueda.*

Para realizar el cálculo del diámetro de la rueda es necesario tener los parámetros de velocidad del chorro de agua a la salida del inyector, y el número de revoluciones con que girará la turbina; entonces el cálculo del diámetro estará dado por:

$$D_r = 37,7 * \frac{\sqrt{H_n}}{N}$$

Donde:

H_n = Altura neta de flujo de agua [m]

N = Velocidad de trabajo de la turbina [rpm]

Donde reemplazando se obtuvo el siguiente resultado:

$$D_r = 37,7 * \frac{\sqrt{H_n}}{N}$$

$$D_r = 37,7 * \frac{\sqrt{55,9}}{1941,15}$$

$$D_r = 0,145m$$

vi. *Cálculo de dimensiones de los cangilones.*

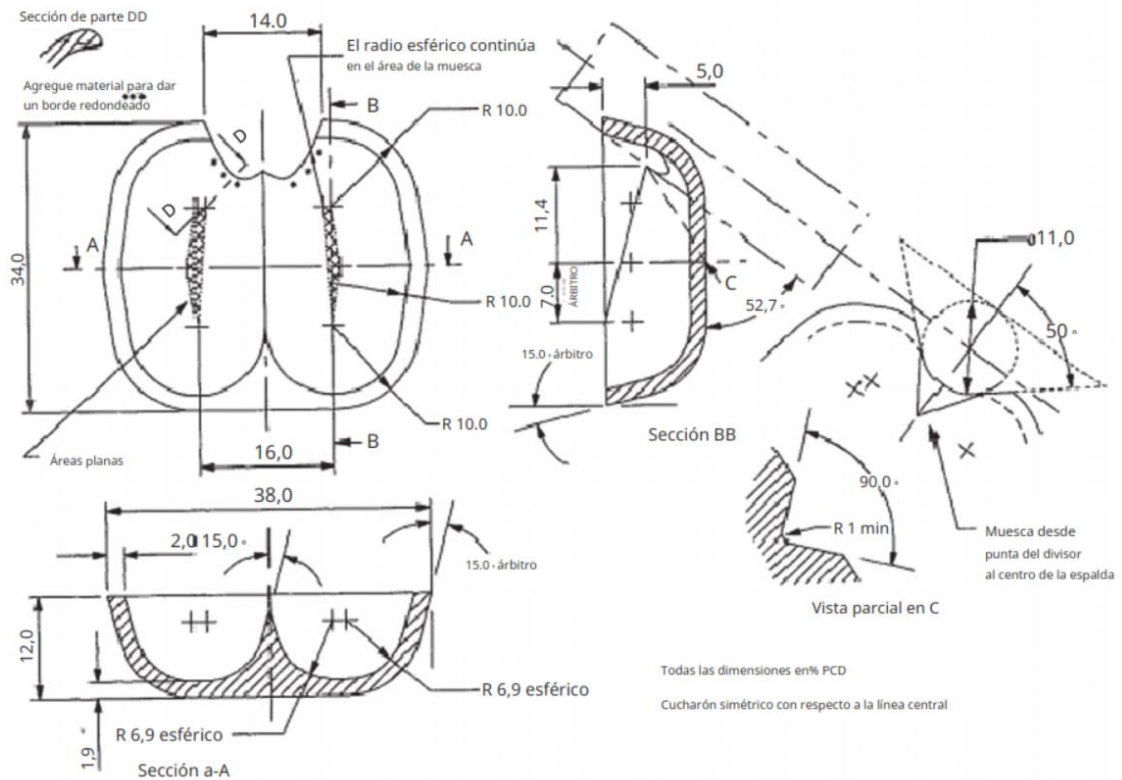


Ilustración 31: Dimensiones de cangilón Pelton escalables (%) [19]

Todos los cálculos para obtener los parámetros de tamaño en los cangilones están condicionadas al diámetro de la rueda y al diámetro del chorro de agua a la salida del inyector, al reemplazar haciendo uso de las siguientes ecuaciones se obtuvo:

Ancho axial del cangilón:

$$b = 0,34 * D_r$$

$$b = 0,34 * 0,145m$$

$$b = 0,063m$$

Altura del cangilón:

$$h = 0,34 * D_r$$

$$h = 0,34 * 0,145m$$

$$h = 0,0493m$$

Longitud de la cavidad del cangilón:

$$h_1 = 5.6\% * D_r$$

$$h_1 = 5.6\% * 0.145m$$

$$h_1 = 0.00812m$$

Longitud hasta el punto de impacto:

$$h_2 = 0.114 * D_r$$

$$h_2 = 0.114 * 0.145m$$

$$h_2 = 0.01653$$

Ancho de la abertura del cangilón:

$$a = 0.14 * D_r$$

$$a = 0.14 * 0.145m$$

$$a = 0.0203m$$

Espesor del cangilón:

$$t_1 = 0.02 * D_r$$

$$t_1 = 0.02 * 0.145m$$

$$t_1 = 0.0029m$$

Número aproximado de cangilones:

$$Z = \frac{D_r}{2D_0} + 15$$

$$Z = \frac{0,45}{2 * 0,0198} + 14$$

$$Z = 17,6 \square 18$$

Profundidad del cangilón:

$$b = 0.38 * D_r$$

$$b = 0.38 * 0.145m$$

$$b = 0.0551m$$

Objetivo N°04: Evaluar los parámetros eléctricos de la picoturbina Pelton.

i. Determinación de parámetros eléctricos que se evaluarán:

Tensión eléctrica: Se debe evaluar que la tensión eléctrica generada por la picoturbina Pelton sea de 220V, de acuerdo con las normas técnicas peruanas correspondientes.

Regulación de frecuencia: Se debe evaluar que la regulación de frecuencia de la picoturbina Pelton sea de 60Hz, de acuerdo con las normas técnicas peruanas correspondientes.

Potencia nominal: Se espera que la potencia nominal de la picoturbina Pelton sea de al menos 4716W, de acuerdo con los cálculos realizados anteriormente.

Es importante destacar que se deben cumplir las normas técnicas peruanas aplicables para la evaluación de estos parámetros. En este sentido, se utilizó la norma NTP-IEC 60034-1 para la evaluación de la potencia nominal y la norma NTP-IEC 60034-2-1 para la eficiencia de la máquina. Para la regulación de frecuencia, se utilizó la norma NTP-IEC 60038 y para la tensión eléctrica, se utilizó la norma NTP-IEC 60038.

ii. Determinación del número de polos en el generador:

La determinación del número de polos está regida mediante la siguiente ecuación [10]:

$$n = \frac{60f}{z}$$

Donde:

n = número de revoluciones de la turbina [rpm]

f = frecuencia [hz]

z = número de pares de polos del generador

Al reordenar la ecuación se obtiene:

$$z = \frac{60f}{n}$$

Donde reemplazando los datos anteriormente hallados, y para la generación a una frecuencia de 60hz, tenemos:

$$z = \frac{60 * 60hz}{1941.15rpm}$$

$$z = 1.854 \square 2 \text{ pares de polos}$$

Se requiere un generador de 04 polos y una velocidad de giro de 1941.15rpm para la generación de potencial eléctrico en el Caserío La Manzana – Catache.

iii. *Determinación de sistemas de protección:*

Sistema de protección contra sobrecorriente: Este sistema protege los componentes eléctricos de una sobrecarga de corriente que podría dañarlos. Se puede utilizar un relé de sobrecorriente para detectar corrientes anormales y desconectar la carga para evitar daños. Este relé de sobrecorriente debe trabajar en régimen no mayor a los 26,8A.

Sistema de protección contra sobretensión: Este sistema protege los componentes eléctricos de una sobretensión que podría dañarlos. Se puede utilizar un varistor o un diodo Zener para limitar la tensión y evitar que los componentes sean dañados.

Sistema de protección contra cortocircuitos: Este sistema protege los componentes eléctricos en caso de cortocircuito. Se puede utilizar un relé de protección contra cortocircuitos o un fusible para detectar y desconectar la carga para evitar daños. El dispositivo debe trabajar con un límite de 26,8A.

Sistema de protección contra sobrecalentamiento: Este sistema protege los componentes eléctricos en caso de sobrecalentamiento. Se puede utilizar un termostato o un sensor de temperatura para detectar temperaturas anormales y desconectar la carga para evitar daños.

Sistema de puesta a tierra: Este sistema protege contra descargas eléctricas y proporciona un camino seguro para la corriente de fuga. Se debe asegurar que todos los componentes eléctricos estén correctamente puestos a tierra para evitar riesgos de electrocución.

Sistema de protección contra la vibración: Este sistema protege los componentes eléctricos contra los daños causados por la vibración. Se puede utilizar amortiguadores y soportes para reducir la vibración y evitar daños.

Objetivo N°05: Diseñar la picoturbina Pelton mediante software CAD.

El diseño de la picoturbina Pelton, se realizó mediante el uso de los parámetros de tamaño calculados anteriormente, obteniéndose los siguientes planos a detalle:

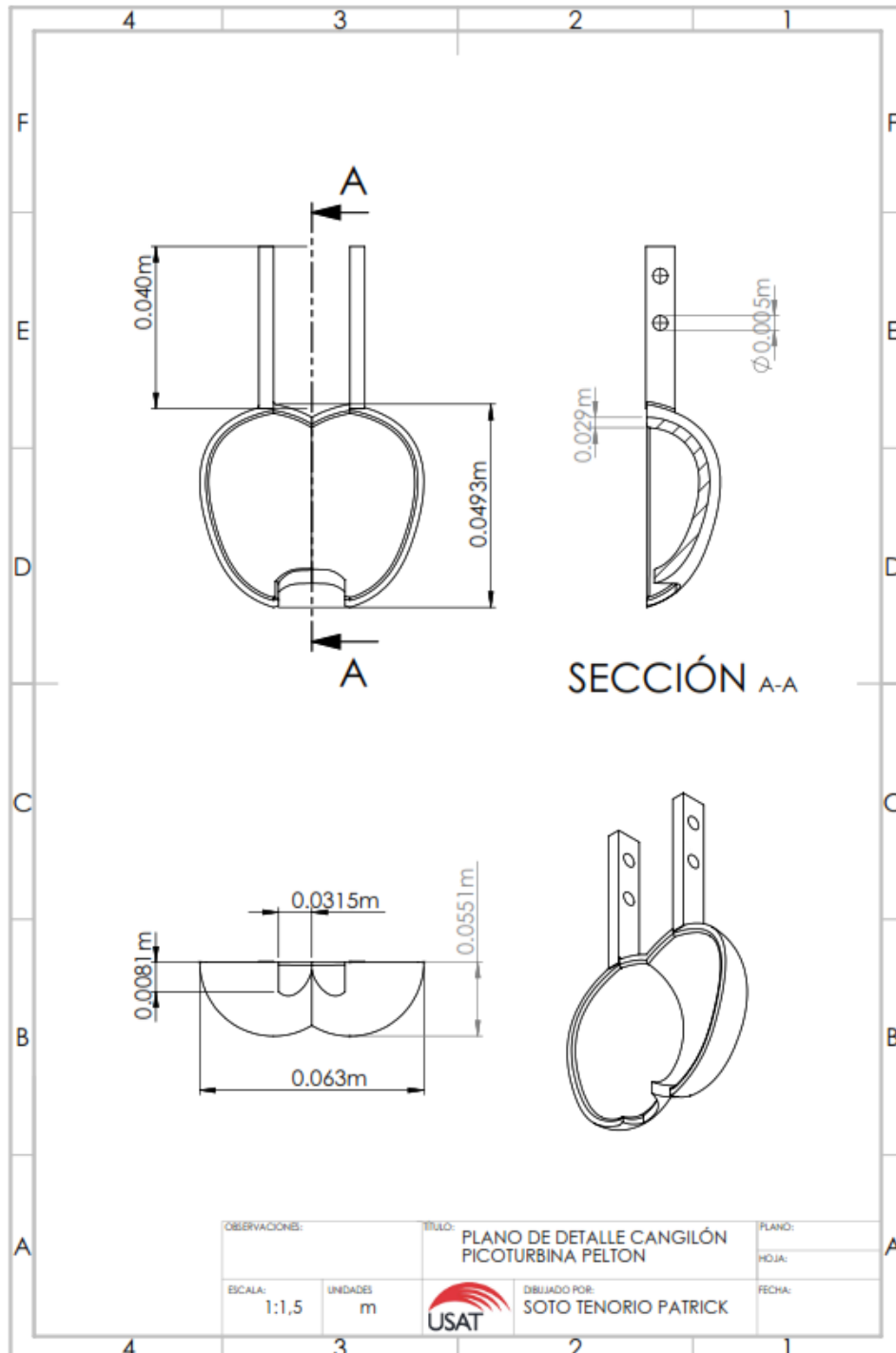


Ilustración 32: Plano de detalle cangilón picoturbina Pelton.

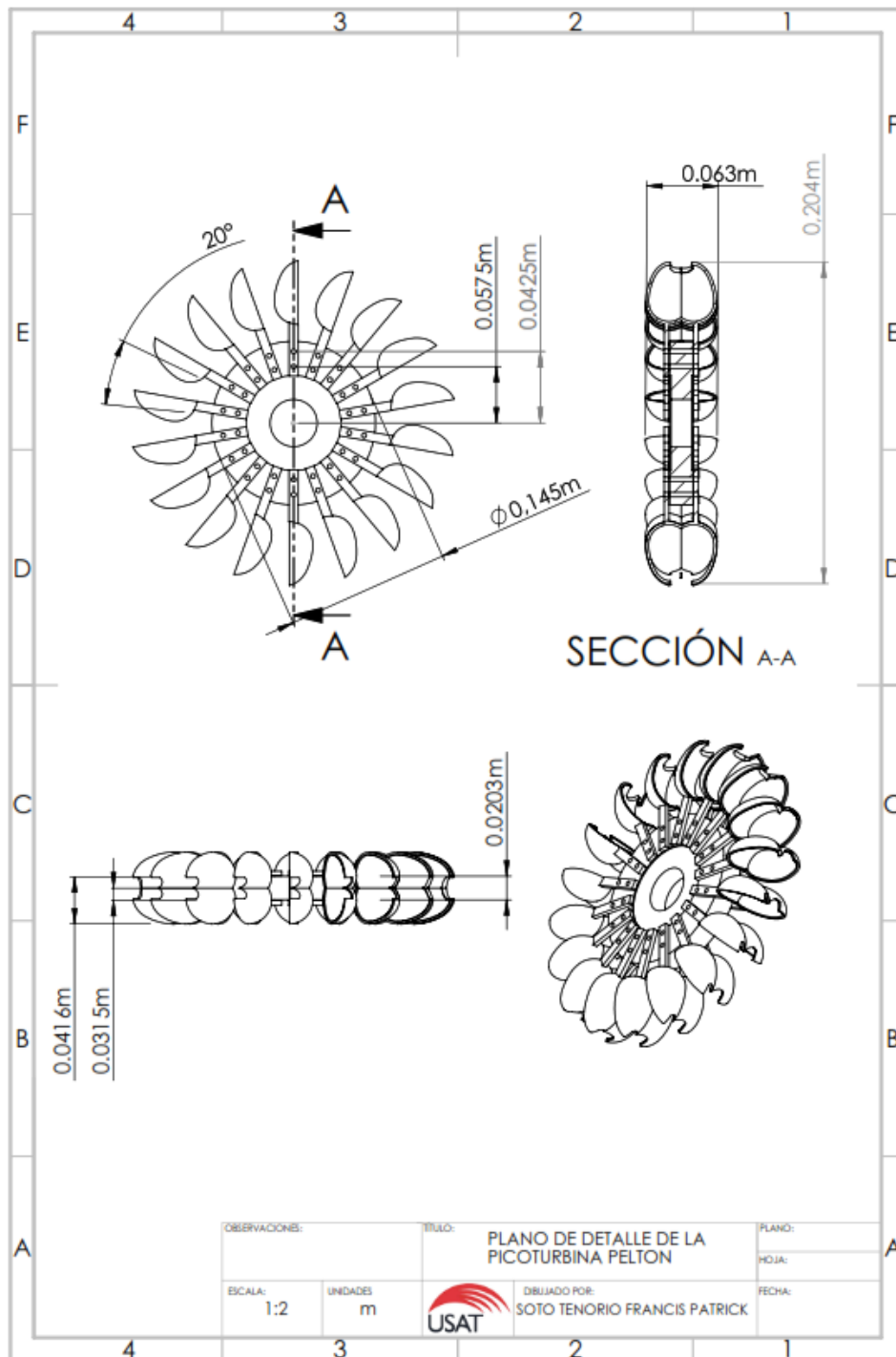


Ilustración 33: Plano de detalle picoturbina Pelton.

CONCLUSIONES

- Mediante las leyes y ecuaciones que rigen la mecánica de fluidos, y haciendo uso de los datos recopilados se logró obtener un caudal promedio de 10l/s y una altura bruta de 65m, todo esto con el objetivo de tener un estudio detallado del comportamiento del flujo al ingresar a la picoturbina Pelton.
- En el diseño del sistema de circulación que abastecerá a con flujo de agua a la picoturbina, se determinó el diámetro a utilizar en las tuberías, un diámetro de 4plg, de igual manera la selección del material, en base a la rugosidad que presente el material se optó por determinar al P.V.C. como material de diseño. Cabe resaltar que fue clave el uso del software Pipe Flow Expert para determinar las pérdidas de carga de flujo en el sistema, tanto como las presiones a las salidas y coeficientes de rozamientos. Se logró determinar una pérdida de carga de 65m a 55,9m, donde 55,9m es el salto hidráulico de diseño de la picoturbina.
- La evaluación de parámetros hídricos ayudó en la determinación del diámetro de chorro de agua con que trabajará la turbina, un diámetro de 0,0198m, mediante el cual se obtuvo el diámetro total de la turbina de 0,204m.
- Se determinaron los parámetros de funcionamiento de la picoturbina de acuerdo con las normativas peruanas, así mismo las condiciones que debe cumplir el generador para la turbina, donde se requiere un generador de 04 polos y una velocidad de giro de 1941,15rpm para la generación de potencial eléctrico en el Caserío La Manzana – Catache.
- Se logró realizar el diseño de la picoturbina Pelton para la generación de potencial eléctrico en el caserío La Manzana Catache, obteniendo planos detallados de medidas de la picoturbina Pelton.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar materiales ecoamigables en la construcción de la picoturbina, optando por nuevas aleaciones, no precisamente un metal como comúnmente se suele realizar.
- Se recomienda realizar un desarrollo óptimo de fabricación del generador, o la realización de un sistema de transmisión por fajas para hacer uso de un generador síncrono de alta eficiencia.

REFERENCIAS

- [1] ARUP, "Zero Net Energy and Carbon," [Online]. Available: <https://www.arup.com/perspectives/publications/promotional-materials/section/five-minute-guide-to-net-zero-energy-in-buildings>.
- [2] Osinergmin, «La escalera energética: marco teórico y evidencias para el Perú,» Febrero 2017. [En línea]. Available: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/REAE/Osinergmin-GPAE-Analisis-Economico-001-2017.pdf.
- [3] L. O. GIL BANCALLAN, «DISEÑO DE UN MÓDULO DE SIMULACIÓN DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICO UTILIZANDO TURBINAS PELTON Y FRANCIS ABASTECIDAS POR UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN,» 21 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.12423/1131>.
- [4] A. B. G. ORTIZ, «Modelo de pico turbina pelton para generación de energía eléctrica en zonas rurales,» 2017. [En línea]. Available: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3934>.
- [5] T. Reynaa, M. Lábaqueb, R. Santiago, C. Rihad y B. Irazustae , «Energía mini y micro hidráulica: aporte contra el Cambio Climático,» *JIA* , p. 11, 2017.
- [6] T. Reynaa, M. Lábaqueb, S. Reynac, C. Rihad y B. Irazustae, «MICROTURBINAS HIDRÁULICAS. DISEÑO, ADAPTACIONES,» *XXVIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA BUENOS AIRES, ARGENTINA, SEPTIEMBRE DE 2018* , p. 12, 2018.
- [7] W. Ñustes y S. Rivera, «COLOMBIA: TERRITORIO DE INVERSIÓN EN FUENTES NO CONVENCIONALES DE,» *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, vol. 17, p. 21, 2017.
- [8] F. Coz, T. Sánchez, B. Viani y J. Segura, de *MANUAL DE MINI Y MICROCENTRALES HIDRÁULICAS: Una guía para el desarrollo de proyectos.*, Lima, Intermediate Technology Development Group, 1995, p. 284.

- [9] INSTITUTO DE MECÁNICA DE LOS FLUIDOS E INGENIERÍA AMBIENTAL, «IMFIA,» 2009. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/7658148/MAQUINAS_PARA_FLUIDOS_1.
- [1
0] C. Mataix, Turbomaquinas hidraulicas, Madrid: ICAI, 2009.
- [1
1] P. F. Díez, TURBINAS HIDRÁULICAS, España: Universidade de Cantabria, 1996.
- [1
2] O. Alfaro, «Centrales hidroeléctricas de pequeña escala, la experiencia de la Fundación Solar en Guatemala,» vol. 6, nº 36, 2013.
- [1
3] B. M. Ureña Naranjo, M. G. Salas Araya y M. A. Villalta Chacón, «Diseño y construcción de una pico turbina hidroeléctrica tipo Pelton, para potencias de hasta 1000 watts,» p. 121, 2017.
- [1
4] T. d. d. Senhami, «Senhami.gob,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.senamhi.gob.pe/site/descarga-datos/descarga/?cod=153110>.
- [1
5] G. S. Ávila, HIDRÁULICA GENERAL, México: EDITORIAL LIMUSA S.A., 1994.
- [1
6] R. L. Mott, Mecánica de fluidos, México: Pearson Education, Inc, 2015.
- [1
7] C. G. JAIME, «ESTUDIO PARA EL DESARROLLO DE CENTRALES MICROHIDRÁULICAS. APLICACIÓN A ZONA RURAL SUBDESARROLLADA,» [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4729/Mem%C3%B2ria.pdf>.
- [1
8] A. Arter, Hydraulics Engineering Manual, Switzerland: H. Harrer, 1990.
- [1
9] J. Thake, The Micro-Hydro Pelton Turbine Manual: Design, Manufacture and Installation for Small-Scale Hydropower, 2000.

ANEXOS

Ilustración 34: Caserío La Manzana - Catache

