



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



**“DISEÑO DE CONSTRUCCIÓN DE UNA TURBINA DE
REACCION LIBRE DE 0.3 KW, PARA UNA PICO CENTRAL
HIDRAULICA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO DE
AYAPATA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

EDWIN ARPITA UCHIRI
SERGIO JIMENEZ SULLO

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por darme la sabiduría y voluntad para lograrlo, al ilustre Universidad Nacional Del Altiplano Puno, por permitirme desarrollar mi capacidad intelectual y espiritual.

El presente TESIS va con sentimiento y cariño a mi Padre que en vida fue Don. Felipe Arpita Calcina, a mi querida Madre Silvia Uchiri Calcina quien me apoyo e hizo posible la culminación de mis estudios y en mi formación profesional.

Finalmente, agradezco a mi pareja y mis dos tesoros, (Lisbeth, Briana y Thiago), con quien comparto también esta vida quienes me apoyan cada día más y más para poder lograr mis objetivos.

EDWIN ARPITA UCHIRI



DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado salud y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi vida profesional, por darme las fuerzas para superar todas las dificultades.

A mis queridos padres Juan y Faustina, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su apoyo incondicional, por estar junto a mí en cada momento durante mi formación académica, por sus consejos y sacrificio en todo es tos años que me dieron para salir adelante.

A mis hermanos Jaime y Vidal, porque son la razón de sentirme tan orgulloso de culminar mi meta, gracias a ellos por confiar siempre en mí, quienes me han brindado su apoyo durante mi formación profesional.

A mis amigos y amistades gracias por haber fomentado en mí el deseo de ascender y el anhelo de éxito en la vida

SERGIO JIMENEZ SULLO



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, por sobre todas las cosas, por darnos las fuerzas necesarias para cumplir los propósitos en nuestra vida.

A la Universidad Nacional de Altiplano Puno y a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica por daros la oportunidad de estudiar en sus aulas y en ellas desarrollar nuestras habilidades.

También agradecemos a las personas y compañeros de clase durante todos los niveles de universidad ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han aportado en un alto porcentaje a nuestras ganas de seguir adelante en nuestra carrera profesional.

SERGIO JIMENEZ SULLO

EDWIN ARPITA UCHIRI



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13
CAPITULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1.1. Descripción del Problema.....	15
1.1.2. Diagnóstico.....	15
1.1.3. Pronóstico	16
1.1.4. Control del Pronóstico	16
1.1.5. Pregunta General	16
1.1.6. Preguntas Específicas	16
1.2. HIPÓTESIS	17
1.2.1. Hipótesis General	17
1.2.2. Hipótesis Específicas	17
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. Objetivo General.....	17



1.3.2. Objetivos Específicos 18

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO.....	19
2.2. MARCO CONCEPTUAL	28
2.2.1. Salto hidráulico.....	28
2.2.2. Energía hidráulica.....	28
2.2.3. Caudal de diseño.....	29
2.2.4. Pérdidas en el salto hidráulico	29
2.2.5. Eficiencia de una Turbina.....	29
2.2.6. Máquinas Hidráulicas	29
2.3. DESARROLLO DE LA HIDROELECTRICIDAD EN EL PERÚ	30
2.3.1. Clasificación de las pequeñas centrales hidroeléctricas:	31
2.3.2. Turbinas	32
2.3.3. Tipos de Turbinas Hidráulicas.....	32
2.3.4. Conducto Vertical Cilíndrico.....	34
2.3.5. Conductos Radiales	35
2.4. COMPONENTES BASICOS DE LA PICO CENTRAL CON TURBINA DE REACCION LIBRE.....	35
2.4.1. Toma de agua del rio	35
2.4.2. Desarenador	36
2.4.3. Rebose o aliviadero	36
2.4.4. Compartimiento de la turbina, generador	36
2.4.5. Canal de desagüe	36
2.5. MODELAMIENTO DE TURBINA A REACCIÓN LIBRE EN 3D.....	37



CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.2. ÁMBITO DE ESTUDIO.....	38
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	39
3.4. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO METODOLÓGICO.....	40

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. MODELAMIENTO MATEMÁTICO DEL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO.....	41
4.1.1. Deducción del Torque en Función del Momento de la Cantidad de Movimiento	41
4.1.2. Deducción de fórmula de potencia	49
4.2. CÁLCULO DE DISEÑO DE LA TURBINA DE REACCIÓN LIBRE PARA LA PICOCENTRAL.....	54
4.2.1. Diseño de la Capacidad de Caudal	54
4.2.2. Diseño del Rotor.....	55
4.2.3. Cálculo de la velocidad tangencial óptima para el diámetro elegido.	56
4.2.4. Cálculo del área total de salida.....	56
4.2.5. Cálculo del diámetro de la tobera.....	57
4.2.6. Cálculo del número de revoluciones máximo, N_{max}	57
4.2.7. Diseño del tubo vertical.....	57
4.2.8. Cálculo del eje.....	58
4.2.9. Cálculo de torque.....	58
4.2.10. Cálculo del Eje de la Turbina	59



4.3. COMPUTER ASISTED DESING (CAD) DEL PROTOTIPO DE TURBINA DE REACCIÓN LIBRE	60
4.4. PARÁMETROS DE PRUEBAS DEL PROTOTIPO DE TURBINA DE REACCIÓN LIBRE.....	61
4.4.1. Variación Caudal - Voltaje	62
4.4.2. Variación Caudal - Presión.....	63
4.4.3. Variación Caudal – Número de revoluciones RPM	64
V. CONCLUSIONES.....	66
VI. RECOMENDACIONES	67
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	68
ANEXOS.....	74

Área : Ingeniería Eléctrica

Tema : Energías Renovables

FECHA DE SUSTENTACION: 16 de diciembre del 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Turbina de reacción - Aspensor.....	34
Figura 2: Conducto Vertical Cilíndrico.....	35
Figura 3: Conducto Radial.....	35
Figura 4: Ubicación de aplicación del sistema de generación.....	39
Figura 5: Tubo Horizontal.....	46
Figura 6: Tubo horizontal.....	46
Figura 7: Aspensor - área de salida - área radial.....	48
Figura 8: Aspensor - torque.....	50
Figura 9: Esquema de deducción de caudal de descarga.....	51
Figura 10: Prototipo de turbina de Reacción Libre del Proyecto.....	61
Figura 11: Registro de tensión medida respecto al caudal consumido.....	63
Figura 12: Registro de presión registrada respecto al caudal consumido.....	64
Figura 13: Registro del caudal registrada respecto a las rpm desarrolladas.....	65



ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1: Clasificación de las pequeñas centrales de acuerdo a su salto hidráulico	31
Tabla 2: Clasificación de las pequeñas centrales de acuerdo a su salto hidráulico	32
Tabla 3: Determinación del diámetro del rotor.....	56
Tabla 4: Pruebas del Prototipo de Turbina de Reacción Libre	62
Tabla 5: Registro de tensión medida respecto al caudal consumido	62
Tabla 6: Registro de presión registrada respecto al caudal consumido	63
Tabla 7: Registro del caudal registrada respecto a las rpm desarrolladas	64



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Diseño de la Base de Madera para el prototipo	74
Anexo 2: Diseño de la Tuerca de 15.24 cm Bronce	75
Anexo 3: Diseño de Cables color Verde y Café y Carga	76
Anexo 4: Diseño de la Parte de la Tuerca Bronce.....	77
Anexo 5: Diseño del Tubo 1.25 cm PVC	78
Anexo 6: Diseño del Instrumento de Presión Manométrica.....	79
Anexo 7: Diseño del T de 1.25 cm PVC	80
Anexo 8: Diseño del Tubo 1.27 cm Abrazadera Metal.....	81
Anexo 9: Diseño del Rodamiento 6204 2SRH.....	82
Anexo 10: Diseño del Abrazadera Metálica 1.59 cm.....	83
Anexo 11: Diseño de la Abrazadera Metálica 0.1 cm.....	84
Anexo 12: Diseño del Polea de Baquelita	85
Anexo 13: Diseño del Polea de Diámetro 4.34 cm	86
Anexo 14: Diseño de la Turbina de Reacción Libre	87
Anexo 15: Diseño de faja de 0.6 cm	88
Anexo 16: Diseño de la Polea Dentado de 0.962 cm	89
Anexo 17: Diseño de la Tapa de Metal para el Motor	90
Anexo 18: Planos de diseño del sistema de generación	91
Anexo 19: Planos de diseño del sistema de generación - partes	92
Anexo 20: Panel Fotográfico.....	93



RESUMEN

Hoy en día, el suministro de energía eléctrica es una necesidad prioritaria y, sin embargo, todavía tenemos hogares en comunidades remotas que aún no tienen acceso a esta energía, a pesar de tener agua en su fuente o lejos de las grandes centrales eléctricas. Esto significa altos costos si la electricidad u otras líneas de alto voltaje pasan por su comunidad y no están disponibles; en este sentido, la tendencia de uso de los recursos hídricos es cercana a la sociedad; la intención original de utilizar energías renovables a través de centrales hidroeléctricas es brindar alternativas de solución a familias de escasos recursos y sin potencial de crecimiento, es en ese sentido el objetivo del presente estudio es diseñar y construir el prototipo de turbina de reacción libre de 0.3 kW de potencia para el uso en zonas rurales; la metodología a emplearse es el tipo deductivo-descriptivo y práctico, en ese sentido se realizó el diseño de los componentes de la pico central empezando por la turbina, la selección del generador, luego se procederá en el diseño la construcción luego iremos a la etapa de las pruebas en campo; resultado del cual se espera que la turbina de 0.3 kW, como resultados se realizó el modelamiento de cada uno de los elementos del sistema de generación en especial de la turbina de reacción libre que permitió el desarrollo de una forma adecuada para la construcción del prototipo donde sus características se desarrollaron de forma adecuada, para su utilización en generación de una picocentral hidráulica.

Palabras Clave: Energía eléctrica, Energía Renovable, Recursos hídricos, Pico centrales hidráulicas, Turbina de reacción libre.



ABSTRACT

Today, the supply of electric power is a priority need and yet we still have households in remote communities that still do not have access to this energy, despite having water at its source or far from large power plants. This means high costs if electricity or other high voltage lines pass through their community and are not available; in this sense, the trend of using water resources is close to the society; the original intention of using renewable energy through hydroelectric power plants is to provide alternative solutions to low-income families without growth potential, it is in that sense the objective of this study is to design and build the prototype of free reaction turbine of 0.3 kW of power for use in rural areas; the methodology to be used is the deductive-descriptive and practical type, in that sense the design of the components of the central peak will be carried out starting with the turbine, the selection of the generator, then we will proceed in the design and construction then we will go to the stage of field tests; result of which it is expected that the turbine of 0.3 kW turbine, as a result, the modeling of each of the elements of the generation system was carried out, especially the free reaction turbine, which allowed the development of an adequate form for the construction of the prototype where its characteristics were developed in an adequate way, for its use in the generation of a pico-hydroelectric power plant.

Key words: Electric power, Renewable energy, Water resources, Peak hydroelectric power plants, Free reaction turbine.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Nuestro mundo en la actualidad se ha convertido dependiente de la disponibilidad del suministro eléctrico, ya que el uso de energía eléctrica marca dos etapas en la vida del ser humano un antes y un después y en general en el mundo; la manera de producirlo ha ocupado parte de los conocimientos técnicos y científicos en todo el siglo XX y parte del XXI y esto ha provocado el desarrollo de unas naciones más que otros, el adelanto de zonas urbanas más que las zonas rurales, es donde radica el problema existen zonas marginales en el Perú donde todavía se carece de casi todos los servicios vitales necesarios para tener una vida decente: el uso de energía eléctrica es fundamental para activar los procesos productivos como pequeños talleres, centros de producción. aserraderos y tener comunicación permanente y tener acceso a la modernidad que es indispensable en la actualidad.

Sobre lo concerniente al contenido y la organización de la investigación, en el capítulo I, se efectuó una descripción del problema objeto de investigación. Desarrollándose la Formulación del problema, además definiendo de manera específica y general, los objetivos que indican el propósito del trabajo propuesto en la investigación.

En el capítulo II, se presenta los antecedentes que preceden a la temática investigación, de forma concreta y objetiva, a partir de ahí construyéndose el marco teórico de la investigación.

En el capítulo III, se procedió a presentar la sistematización y el diseño metodológico para el desarrollo de la investigación, así como la determinación del tipo y diseño de investigación.



El capítulo IV, se efectúa la presentación de los resultados planteados en los objetivos y la discusión respectiva de la investigación. Para culminar la redacción de la investigación, seguido de la presentación de forma coherente de las conclusiones. Del mismo modo se presentan las respectivas recomendaciones. Finalmente, de la misma forma las referencias bibliográficas se presentan según el estilo de redacción de la American Psychological Association (A.P.A.), sin faltar de adjuntar los anexos del diseño y otros documentos del trabajo.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Descripción del Problema

Es harto conocido que en zonas altoandinas donde la población rural carece casi de todos los servicios vitales, necesarios para tener una calidad de vida decente por decir uno, como es el caso del servicio eléctrico, situación que ha dado lugar para hacer un estudio de relevancia técnica para explorar los recursos hídricos (agua y caídas) cercanos a sus casas o comunidades. Como prioridad la energía hidroeléctrica es un recurso energético renovable, no contaminante que no produce carbono con un potencial significativo sin explotar. La zona del proyecto al carecer o al no tener suficiente capacidad de generación de energía a disposición especialmente en zonas rurales, aun teniendo cerca las centrales Generadoras y líneas de transmisión cruzando sus comunidades por el alto costo que acarrea la transformación de alta a baja tensión.

1.1.2. Diagnóstico

Si bien es cierto la carencia de energía es recurrente, teniendo recursos hídricos cercanos a comunidades o familias viviendo geográficamente de forma dispersa, representa este problema para los pobladores, vivir con bajos índices de calidad de vida.



1.1.3. Pronóstico

De continuar ante esta disyuntiva sin solucionar los problemas existentes resultará un problema de abandono y postergación, que representará para la población importantes pérdidas económicas por consiguiente la continuar con indicadores de calidad de vida con bajos niveles a nivel de la población de la zona de influencia del proyecto y zonas similares.

1.1.4. Control del Pronóstico

Por tanto, será necesario el mejorar la actual situación, además de proponer otra alternativa que es de aprovechar los recursos hídricos cercana a sus hogares pequeñas caídas de agua, riachuelos que se podrían sacar provecho para instalar pequeños centros de generación eléctrica por su dimensión denominadas como pico central es decir aprovechar energía renovable, energía limpia.

1.1.5. Pregunta General

El problema buscó dar respuesta a la siguiente interrogante general:

¿Cuál es el comportamiento operativo del Prototipo de turbina de reacción libre de 0.3 kW de potencia para el uso en zonas rurales?

1.1.6. Preguntas Específicas

Sobre las preguntas específicas, se desprenden en las siguientes:

- ¿Cuáles son las características del modelamiento de cada uno de los elementos de la turbina de reacción libre de 0.3 kW de potencia?
- ¿Cuáles son los requerimientos y parámetros del Diseño Asistido por Computador (Computer Asisted Desing - CAD) de la turbina de reacción libre de 0.3 kW, para generación de energía?



1.2. HIPÓTESIS

1.2.1. Hipótesis General

El comportamiento operativo del prototipo de una picocentral de 0.3 kW de potencia utilizando una turbina de reacción libre pura, permite la generación de energía a partir del aprovechamiento de recursos hídricos en zonas rurales.

1.2.2. Hipótesis Específicas

- El modelamiento de cada elemento de la turbina de reacción libre permitirá desarrollar una adecuada construcción del prototipo para su utilización en generación de una picocentral hidráulica.
- Los parámetros de funcionamiento del prototipo de pico central hidráulica para uso rural, nos llevará a implementar el proyecto planteado y en paralelo será factible el uso del sistema para el beneficio de la localidad.
- Los requerimientos y parámetros del Diseño Asistido por Computador de Esquemas y Planos garantizarán, la calidad del trabajo al ofrecer detalles claros del prototipo de Turbina de Reacción Libre.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Diseñar y Construir el prototipo de turbina de reacción libre de 0.3 kW de potencia para el uso en zonas rurales.



1.3.2. Objetivos Específicos

- Modelar los elementos de diseño de la turbina de reacción libre de 0.3 kW, para generación de energía.
- Establecer los requerimientos y parámetros de diseño y operación de la turbina de reacción libre de 0.3 kW, para generación de energía.
- Desarrollar las características y parámetros del Diseño Asistido por Computador (CAD) de los Esquemas y Planos del prototipo de Turbina de Reacción Libre.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO

Pinto & Figueroa (2021), realizó el estudio que se centra sobre la implementación de una propuesta, que incluye el desarrollo de las comunidades altoandinas y su contribución al trabajo contra la contaminación. Este estudio relacionado con el desarrollo de las comunidades remotas en nuestra patria, es una investigación sobre la implementación de turbinas hidráulicas de tamaño suficiente para generar energía eléctrica sostenible en beneficio de estas comunidades. El estudio fue semi-descriptivo y exploratorio y el método utilizado para la recolección de datos fueron las entrevistas a dos miembros clave del personal de Achoma que fueron el grupo objetivo de este estudio que consistía en Autocolca y la Escuela Taller de Colca. Las características del canal se observaron óptimas con un ancho de 1.8 m y una profundidad de 1.5 m, lo que permite un caudal de más de 2.6 m³/s utilizando turbinas para generar hasta 363,000.00 kWh.

Illidge-Araujo et al. (2020) , en su artículo desarrollado para presentar un procedimiento del diseño de los componentes del sistema pico-hydro, mediante una turbina hidráulica tipo hélice, conforme a las condiciones específicas del potencial hídrico basado a un análisis teórico-técnico. Las principales características del rodete se determinaron mediante correlaciones estadísticas de diferentes autores que han realizado estudios sobre turbinas, determinando restricciones, como la potencia requerida, el salto de la turbina y el caudal, a partir de datos anteriormente mencionados, se efectuó la determinación de la geometría y las especificaciones de sus demás componentes de la centra pico-hydro, como el tubo de aspiración, la cámara espiral, el generador y el distribuidor, para el mismo se estudiaron dos tipos de distribuidor de entrada radial del



fluido y otro de entrada axial del fluido con respecto al eje de rotación de la turbina. La verificación del diseño y de los resultados esperados, se utilizó una moderna herramienta de ingeniería que es la dinámica de fluidos computacional, en especial el componente CFX, para predecir el rendimiento y el flujo que puede presentarse en el sistema diseñado.

García (2021), Esta tesis se centra en el diseño y optimización de turbinas, específicamente desarrolladas para funcionar en sistemas OWC, utilizando tanto metodologías numéricas como experimental. Lográndose desarrollar la parte numérica que ha sido efectuada con el software ANSYS Fluent, experimentalmente se ha basado en una nueva metodología de fabricación que es la impresión en 3D. Además, se ha realizado una construcción de una instalación experimental para la experimentación de turbinas OWC, probándose varias geometrías, tanto radiales como axiales, obteniéndose en términos globales resultados buenos. Del mismo modo, durante la ejecución de proyecto de tesis se ha desarrollado y patentado como una turbina novedosa, denominada “Double Decker Turbine” (DDT).

Guerra (2020), en su tesis desarrollada con el propósito de diseñar una turbina hidrocínética para favorecer una comunidad amazónica y la metodología de trabajo. Además, el trabajo da énfasis a la aplicación de la turbina en el río Santiago en la zona Amazónica. Los alcances de esta tesis buscaron realizar el diseño del buje, rotor y sistema de protección. Del trabajo, se concluye que con el diseño del rotor con 3 álabes distanciados a 120° con 2.82m de diámetro que tendrá un rotor de 1.20m de longitud y que operará con una velocidad mínima y máxima de 0.77 y 1.9 m/s en épocas de estiaje y avenidas respectivamente, generando una potencia de 6.73kW y cumplirá la demanda anual de la zona del proyecto con un total de 2445.6kW anuales por familia.



Betancur (2020), desarrolló el estudio con el propósito de evaluar tres prototipos de rotores de turbinas hidrocínicas de eje horizontal con diferentes perfiles hidrodinámicos, para un flujo con 1,4 m/s. Las simulaciones se efectuaron mediante la dinámica de fluidos de tipo computacional, se utilizó el modelo turbulencia $k-\omega$ SST y la variable que se obtuvo fue el par de torsión. Los resultados que se obtuvieron de la simulación y experimentación muestran que el rotor hecho con el perfil EPPLER E817 tuvo un mejor desempeño que los otros dos.

Cuervo (2020), sustentó su investigación con el fin de analizar y explicar el principio de funcionamiento de una microcentral hidroeléctrica y su impacto en Colombia, se eligió un esquema alternativo de envío de agua hacia y desde el canal, que muestra cómo llega el líquido a la turbina y cuál es el caudal real. tasa utilizada. . Además, se selecciona un generador para operar la turbina, el cual debe conocer el caudal a utilizar y la potencia antes mencionada. En primer lugar, se seleccionaron algunos parámetros de diseño, que permitieron elegir el tipo de turbina y su estructura correspondiente, luego del análisis se seleccionó la turbina Francis y se utilizó el método de Bovet de acuerdo a los parámetros de diseño, se definió el método como una alternativa basada en el método. de lo desarrollado para el laboratorio Francis Turbine Design para Francis Turbine Design.

Ramos et al. (2020), realizó el trabajo de investigación con el objeto de diseñar una turbina tipo Sin Fin para efectuar la iluminación de un parque, cuyos resultados se muestran a partir de de simulaciones como el software Dialux al parque Villa El Sol - La Oroya, con una potencia de 3,8 kW, atendiendo satisfactoriamente la demanda requerida en la zona del proyecto.



Cabello (2019), efectuó su investigación donde se busco determina la diferencia entre turbinas de reacción rápidas o lentas, que reside en sus N_s . que es un valor que depende de las características del sistema de diseño de la turbina. La dependencia de la variables velocidad de giro y la variable el caudal es directa, e indirecta con la variable altura. Demostrandose que las turbinas de tipo Kaplan, que tienen los N_s más altos, son turbinas diseñadas para poca altura y mucho caudal. Las turbinas Kaplan Lentas tienen valores entre 450 a 500 aproximadamente. Las rápidas pueden presentar valores de 500 a 1350. En este proyecto se usarán las siguientes condiciones de diseño que darán un N_s de 483 aproximadamente.

Rodriguez (2018), ha efectuado el trajo con la finalidad de realizar el cálculo de un rodete Darrieus con tres álabes rectos y perfiles simétricos, estableciéndose de este un modelo matemático de cálculo, donde se determinaron valores del torque producido por la turbina con coeficientes experimentales, obtenidos en condición estática, seguido esto se efectuó el cálculo de los coeficientes del perfil seleccionado se obtuvo mediante el Software XFLR5, finalmente con los parámetros de diseño obtenidos se procedió a construir el prototipo de la turbina hidrocínética instalándose luego en un canal de agua adecuado para evaluar su funcionamiento.

Valdivia (2018), presento el estudio que propuso un diseño de escalamiento para la turbina generadora de gases, perteneciente a la turbina de gas prototipo, se proponen tres propuestas de diseño que buscan demostrar, que cuando se reduce el área de entrada y salida de la turbina se obtendrá una mayor potencia de generación. Los resultados muestran que al disminuir las áreas de entrada y salida se obtiene una mayor potencia a la salida de la turbina y se eligió a la propuesta que mejores resultados obtuvo como el diseño óptimo para ser el nuevo diseño de la turbina generadora de gases.



Mayorga & Villacrés (2018), realizó el proyecto basado en el diseño y construcción de un prototipo de una turbina tipo Wells para la generación de energía, procediéndose primero a la recolección de información, sobre las características de la turbina Wells, el funcionamiento adecuado y los parámetros necesarios para el diseño de un prototipo, tomando como fuentes de información, artículos científicos y revistas de investigación. El programa Airfoil Tools fue utilizado para proceder a la selección del perfil más óptimo para este tipo de turbina, tal como el NACA 018. En cuanto a la selección de rodamientos se usó los catálogos FAG. En la parte de la construcción, el prototipo de la turbina Wells se mandó desarrollarlo en un material más liviano como es el PLA, el eje fue de acero, el tubo donde se encontraba la turbina fue de PVC de 8 pulgadas de diámetro.

Ventura (2018), el proyecto de investigación tuvo como objetivo desarrollar una turbina hidrodinámica sumergible para generar energía eléctrica para una finca en el distrito de Sala, región Lambayeque. La turbina fue diseñada para aprovechar al máximo la energía cinética del río Caserio, estableciéndose procedimientos para la selección de palas, sus correspondientes sistemas de control, seguimiento de variables de proceso y sus diagramas de instrumentación. Están diseñados utilizando el software RedCAD, SolidWorks, y AutoCAD. Sistema de generación diseñado para satisfacer la demanda actual y esperada de 6,27 kW, durante 20 años, la capacidad de generación es factible con una recuperación de la inversión de 7 años.

Villacrés (2018), presentó el estudio realizado para efectuar el diseño y construcción de un prototipo de turbina Wells para generación de energía, primero recopilando información, estudiando las características de la turbina Wells, estudiando los parámetros requeridos para su correcto funcionamiento y prototipado, utilizando como fuentes de investigación artículos científicos y revistas de investigación. Usando el



programa Airfoil Tools, uno puede continuar eligiendo el perfil aerodinámico más adecuado para dichas turbinas (por ejemplo, NACA 0018), también calcular los parámetros de diseño aerodinámico de las alas usando papel y artículo científico, la opción de cálculo del eje de la turbina es Shigley. Ved, usando el libro, obtuve un eje de 1/4 de pulgada de diámetro. Se utilizó el catálogo FAG para la selección de rodamientos. Para la parte de construcción, el prototipo de la turbina de Wells se imprimió en un material más liviano como el PLA, el eje fue de acero y el tubo que albergaba la turbina fue de PVC de 8 pulgadas de diámetro. En la parte eléctrica, una electroválvula de 2 1/2", un racor de 1/2", manguera de 6m 1/2", 2 contactores, 2 pulsadores (uno normalmente abierto y otro normalmente cerrado), una batería de 12V y mucha madera para pruebas. Finalmente el Se realizaron pruebas en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil y Mecánica con resultados máximos como: 120 Psi de presión, 6.7 m/s de velocidad, 14 V y 1300 rpm.

Zamora (2017), sustento su trabajo desarrollado con el propósito de diseñar y construir un prototipo de turbina para la generación de energía eléctrica a partir de la captación de agua de lluvia en zonas urbanas. Siendo necesarias la determinación de condiciones máximas y mínimas de operación, la selección de materiales para la construcción de la turbina, el diseño y construcción de la turbina y la medición de energía eléctrica producida, el uso de sistemas de este tipo para la generación de energía eléctrica, en términos económicos puede parecer aun poco llamativo debido a la baja eficiencia y la cantidad de energía eléctrica generada. No obstante, el proyecto, establece las bases y el conocimiento para sugerir cambios de análisis, dimensionamiento, operación e implementación de accesorios para hacer de este sistema.

Sáenz y Macías (2016), en su trabajo que tiene objetivo el de desarrollar el diseño, la construcción y su respectiva evaluación de un prototipo de turbina eólica de eje vertical



de velocidad menor o iguales a 5 m/s, el sistema de acople mecánico convencional fue cambiado por un sistema de cojinetes magnéticos para reducir las pérdidas por fricción. Sus partes fueron diseñadas de tal forma que al ser integradas operen de óptima forma. El estudio permite realizar un avance en las propuestas de diseño existentes para los sistemas de generación eólica basados en la tecnología de sistemas de cojinetes magnéticos, que dará lugar a nuevos enfoques de investigación orientados al aprovechamiento y mejoramiento de tecnologías de diseño.

Ramírez (2015), en el estudio desarrollado con el propósito de diseñar un modelo óptimo adaptado a la realidad de Ucayali, construyéndose así mismo un prototipo experimental determinándose la factibilidad de operación de la turbina de flujo lento y caudaloso. Los resultados de los cálculos muestran que el ángulo del álabe no varía uniformemente a lo largo del radio, así como el aporte a la generación de potencia si se considera la velocidad angular de la turbina.

Barrios y Bernal (2015), El estudio muestra el proceso detallado del diseño y construcción del prototipo de una turbina libre para la generación, para implementar con una central de ciclo combinado, efectuándose el diseño conceptual y matemático de la turbina libre, del mismo modo la modelación con el Software Computer Asisted Design (CAD), para cada uno de los componentes que la conforman, así como el respectivo análisis computacional de esfuerzos y/o cargas de las partes críticas de la turbina. Presentando también el proceso de fabricación del mencionando prototipo.

Carmona (2014), Realizó el estudio de investigación basado en la obtención de los datos de laboratorio para realizar la caracterización de una turbina Francis, necesario para conocer a plenitud una turbina. Desarrollando los conocimientos teóricos, llevando luego la medición los parámetros durante varias semanas, obteniéndose curvas



características para la óptima caracterización de la turbina, pudiéndose interpretar sus datos comparándolos con los datos teóricos.

Muñoz (2014), desarrollado con el propósito de integrar y validar el método de diseño y fabricación utilizado para generar 5kW en el eje de la turbina, que es lo que se puede extraer de un caudal de 2.5 m/s, se utilizó modelos matemáticos paramétricos que permitieron simular el funcionamiento de los principales componentes de manera individual. El rotor fue diseñado a partir del método Blade Element Momentum (BEM), y para dimensionarlo se aplicó teoría de circuitos electromagnéticos. Luego de convertir la energía a través de un puente de diodos y estabilizarla en un convertidor DC/DC, la turbina puede usarse para cargar baterías convencionales. La profundidad del agua y la velocidad del flujo abierto son dos consideraciones al elegir dónde operar una turbina. Se encontró que los aspectos de diseño y fabricación de estas turbinas son más críticos y justifican una mayor investigación. Como resultado se obtiene una turbina que permite verificar parcialmente las simulaciones realizadas. Los próximos pasos son perfeccionar los métodos de fabricación del generador, realizar más pruebas para caracterizar experimentalmente las turbinas, como en los canales de prueba estándar, y mejorar el software de diseño.

Peña-García (2013), realizó el estudio el objetivo principal es el diseño una turbina de pequeña potencia, para aprovechar la energía cinética de las corrientes de agua para producir electricidad, limpia y renovable. Se definió un procedimiento para el diseño de una turbina hidrocínética. Aunque no es posible extraer el 100% de la energía del río, se aprovechará la mayor cantidad posible gracias al diseño optimizado de las turbinas. Se calcularán los diversos componentes que contiene, como el eje de baja velocidad, los pernos de montaje, entre otros.



Ferrada (2012), estudio efectuado con el propósito del trabajo fue el diseño de un rodete de turbina tipo Pelton, para obtener un mayor calidad y rendimiento, comparado con la turbina Turgo, previo diseño usando la teoría hidráulica. Modelándose luego el rodete en el software Ansys, modificando los parámetros para tener el rodete con un rendimiento mejorado. Las características de diseño son: altura neta de 40 m. (H_n) y caudal de 35 l/s (Q), del mismo la potencia hidráulica es de 13,72 kW. Los principales resultados del diseño y modelación del rodete, son el diámetro Pelton de 36 cm, diámetro de puntas de 45 cm y para la cuchara un ancho de 12 cm y el largo de 11 cm. La fuerza del agua en la cuchara para el caso base y optimizado, obteniéndose un 0.1% mayor de fuerza, esperándose un aumento del rendimiento teórico del rodete que en el caso base es de un 89%, valor significativamente mayor a otro estudio de una turbina Turgo china que llega a un 49%.

Orozco (2011), El trabajo se propuso para generar electricidad utilizando ríos donde se vierten desechos industriales y domésticos. La propuesta incluye un diseño de turbina Pelton y una turbina Helix a elegir entre dos opciones. Ambas variantes están calculadas y diseñadas en base a los valores obtenidos de los manuales de turbinas para la generación de energía en grandes plantas, pero adaptadas para la producción local, es decir. micro planta. Además, la teoría de la fatiga también calcula los elementos necesarios del eje de transmisión, el embrague y el acoplamiento y el generador, así como el diseño de resistencia de las paletas para lograr un espesor suficiente para garantizar un funcionamiento continuo a largo plazo.

Gómez et al. (2009), en su artículo presenta un método de diagnóstico propuesto para los turbogeneradores se basa en su comportamiento energético y en la aplicación de métodos de inteligencia artificial, que permiten tomar decisiones desde una perspectiva más amplia, lo que significa un apego inequívoco al modelo. Tenga en cuenta sólo las



consideraciones mecánicas. Como se puede ver en la explicación del procedimiento, es fácil de implementar en línea en un sistema de monitoreo de datos de fabricantes, mediciones de campo y redes neuronales artificiales si es necesario, pero necesita adaptarse a los conceptos actuales que prevalecen en el campo. Área de mantenimiento mecánico.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Salto hidráulico

Se define al fenómeno cuando existe un cambio rápido en la profundidad del flujo, es desde un nivel alto a un nivel bajo, el resultado que es normalmente un brusco levantamiento o incremento de la superficie del agua. (Loaiza, 1987)

2.2.2. Energía hidráulica

Las centrales y/o minicentrales hidroeléctricas son las encargadas de transformar esa energía en electricidad, esto aprovechando la existencia de diferencia de desnivel existente. Inicialmente la energía es transformada en energía mecánica gracias a la turbina hidráulica, ésta entrega la energía mecánica al generador, que luego se procede a transformar la energía mecánica a energía eléctrica. (Castro, 2006)

Una pequeña central eléctrica o pequeña central hidroeléctrica es un conjunto de equipos y otras infraestructuras diseñadas para convertir la energía potencial de un curso de agua en electricidad útil, con el objetivo de autoconsumo en el mismo lugar de producción, de lo contrario vendido a la red comercial por ingresos económicos. Estas centrales están ubicadas en un ecosistema fluvial, un ecosistema de alto valor natural que se adapta bien a los cambios estacionales de caudales, incluidas las inundaciones invernales y los caudales mínimos estivales, así como a los cambios que afectan a la regulación de caudales. (Alberto, 2011)

2.2.3. Caudal de diseño

Según Galarza (2015), se realiza a base de un análisis técnico económico, al determinar la disponibilidad hidrológica de las centrales hidroeléctricas no reguladas, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El flujo natural de la cuenca que aporta a la sección de derivación,
- Los caudales ecológicos del tramo inferior se determinan de acuerdo con la normativa legal vigente de uso y aprovechamiento del agua.

2.2.4. Pérdidas en el salto hidráulico

Según Loaiza (1987), las pérdidas de energía en el salto hidráulico, es igual a la determinación de la diferencia de energías específicas antes y después del salto, que se representa por la formula:

$$E_1 - E_2 = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_2h_1}$$

2.2.5. Eficiencia de una Turbina

Se debe de considerar factores diversos para calcular la eficiencia de una Turbina. Por lo que, para comparar los diseños tanto de acción y reacción, resultará de utilidad considerar una característica que sea dimensional, siendo según Chivata (2014), el más indicado el coeficiente volumétrico (σ).

La eficiencia total o la producción total de energía de una turbina está determinada por la relación entre la potencia entregada por la turbina, P_H , y la potencia transmitida al eje, P_M . (Martinez, 2007)

2.2.6. Máquinas Hidráulicas

Son dispositivos mecánicos que manejan líquidos, por lo que se puede suponer que su densidad no cambia significativamente al pasar por el dispositivo; por lo tanto, pueden



considerarse incompresibles a efectos de cálculo y diseño. Por ejemplo, bombas, ventiladores y turbinas. Por el contrario, si el fluido cambia significativamente su valor de densidad a su paso por las máquinas, estas ya no se denominan máquinas hidráulicas, sino máquinas térmicas. Por ejemplo, turbocompresores, turbinas de gas y turbinas de vapor. En cualquier caso, ambos tipos de máquinas pertenecen a las denominadas máquinas hidráulicas. (P. M. A. García, 2011)

2.3. DESARROLLO DE LA HIDROELECTRICIDAD EN EL PERÚ

En la actualidad, las energías renovables ya no son caras y solo unas pocas tecnologías son lo suficientemente competitivas y eficientes para satisfacer la demanda. Entre estas fuentes de energía renovable, la energía hidroeléctrica es el aliado más importante para producir energía limpia y local. Las pequeñas centrales hidroeléctricas son aquellas cuya capacidad instalada es inferior a 10 MW. (Castro, 2006)

La aparición de los primeros motores hidráulicos como son los molinos hasta nuevas ideas tecnológicas como los aerogeneradores o las turbinas submarinas. Este proceso histórico se nombran algunos grandes pioneros en el ámbito de las turbomáquinas y/o turbinas, como son: Victor Kaplan, Leonhard Euler, Benoît Fourneyron, Antoine Parent, Allan Pelton o James B. Francis. (Cabello, 2019)

La hidroelectricidad fue muy importante durante la Revolución Industrial. A principios del siglo XIX, contribuyó al desarrollo de la industria textil y del cuero, así como de los talleres de construcción de maquinaria. Aunque la máquina de vapor era ideal, el carbón escaseaba y la madera no podía usarse como combustible. Hasta la construcción de canales a mediados del siglo XIX, la energía hidráulica impulsó el desarrollo de nuevas ciudades industriales en Europa y América. (Oñate, 2014)

Las aplicaciones micro hidráulicas son muy comunes en todo el mundo; los países más destacados: China, Nepal y Sri Lanka, Indonesia, etc. En el siglo XXI se inicia la investigación en países del tercer mundo, ampliamente en Cuba, México y América Latina en Colombia, Perú y Chile, la energía hidráulica es el primer recurso energético renovable más utilizado en el mundo, no contaminante y extremadamente bajo en emisiones de carbono, siendo la intención de dar energía a las comunidades alto andinas rurales más alejadas para que desarrollen sus actividades y así ellos mismos transformar y mejorar sus ingresos económicos. (Tenorio, 2005)

2.3.1. Clasificación de las pequeñas centrales hidroeléctricas:

Según el salto hidráulico:

La siguiente tabla muestra la clasificación de las pequeñas centrales de acuerdo a su salto hidráulico, obteniéndose que, para cada tipo de central, se tienen 4 capacidades de acuerdo a la altura:

Tabla 1: Clasificación de las pequeñas centrales de acuerdo a su salto hidráulico

Tipos	Bajo(m)	Medio(m)	Alto(m)
Pico Central	Menor a 5	Entre 5-15	Mayor a 15
Micro Central	Menor a 15	Entre 25 -50	Mayor a 50
Mini Central	Menor a 20	Entre 20-100	Mayor a 100
Pequeña Central	Menor a 25	Entre 25 -130	Mayor a 130

Elaborado por el equipo de trabajo

Según su Potencia:

Clasificación de las turbinas utilizadas de acuerdo a la Potencia de turbinas clásicas que actualmente están en los centros de generación, en la literatura clasifican a las turbinas de acuerdo a la altura, caudal, numero específico de potencia (Ns)

Tabla 2: Clasificación de las pequeñas centrales de acuerdo a su salto hidráulico

Tipos	Potencia (kW)
Pico Central	0.5 – 5
Micro Central	5 – 50
Mini Central	50 – 500
Pequeña Central	500 – 5000

Elaborado por el equipo de trabajo

2.3.2. Turbinas

Una turbina es un dispositivo que crea una transferencia mecánica de energía entre un fluido y sus palas giratorias. Al agregar energía a la bomba, la turbina la elimina, que es la parte más importante de la energía hidroeléctrica. Dependiendo de cómo fluya el fluido a través de la máquina, se denominan flujo radial, axial o mixto. (Chavarro, 2019).

A menudo llamada también Turbomáquina, una turbina se utiliza para convertir parte de la energía global de un fluido en energía mecánica. En un motor turborreactor, esta energía mecánica accionará el compresor y los accesorios, y la energía restante generará empuje en el motor. (Barrios & Bernal, 2015)

2.3.3. Tipos de Turbinas Hidráulicas

Turbinas de acción

Las turbinas de acción es cuando el agua sale del distribuidor a una presión atmosférica, y llega al rodete con la misma presión; en estas turbinas, toda la energía potencial del salto se transmite al rodete en forma de energía cinética. En las turbinas de acción, el empuje y la acción del agua coinciden. (Maldonado, 2005)

Las turbinas de acción, se define aquella cuando la presión permanece constante o a presión atmosférica en todo el rodete, por lo que la altura de presión que es absorbida por el rodete es nula; y, en consecuencia, estas turbinas tienen su grado de reacción que

debe ser igual a cero, toda la energía potencial existente gracias al salto se transmite hacia el rodete en forma de energía cinética. (Alberto, 2011)

Turbinas de reacción

Se llama turbina con una velocidad de reacción distinta de cero si es una turbina de reacción pura, donde la energía potencial en el impulsor se convierte completamente en energía cinética, en cuyo caso el impulsor recibe solo energía potencial. La presión de entrada es mayor que la presión de salida del líquido. Las turbinas de reacción más importantes son las turbinas Francis y Kaplan. (Ferrada, 2012)

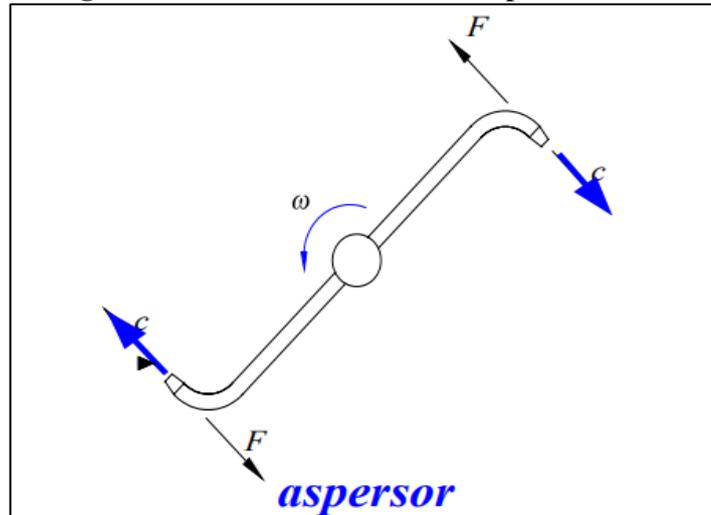
El agua sale del distribuidor con cierta presión y cae, pasando por las palas del impulsor, por lo que la presión a la salida puede ser nula o incluso negativa; en estas turbinas el agua circula a presión en el distribuidor e impulsor, por lo que parte de la energía potencial transitoria se convierte en energía cinética, y la otra parte se convierte en energía de presión. (Alberto, 2011)

Turbina de reacción pura o reacción libre

Dentro de esta clasificación también se incluiría las turbinas de reacción pura o reacción libre que a continuación se va a desarrollar. La presión de entrada es muy superior a la presión del fluido a la salida. Esto ocurre en un aspersor. En realidad, no se ha desarrollado este tipo de turbina industrialmente. Se llaman así aun que habría que considerarlas como un tipo mixto(.....) es una turbina que tiene 2 brazos y al final de ellas esta dotado de toberas para acelerar el flujo ,entre brazo y brazo esta el eje que conectaría al generador eléctrico ver fig-A eso depende de la configuración que puede ser de eje vertical u horizontal ver figura.

Partes de la turbina:

Figura 1: Turbina de reacción - Aspersor



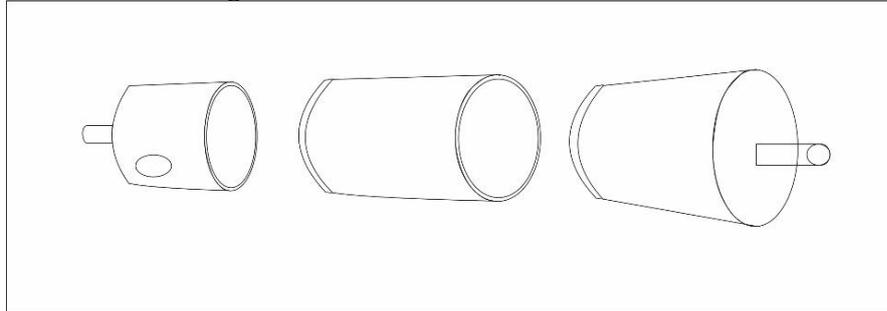
Elaborado por el equipo de trabajo

2.3.4. Conducto Vertical Cilíndrico

El conducto vertical este compuesto de tres secciones provistas de pestañas. La parte superior tiene forma de embudo y la parte inferior que sostiene a los brazos radiales. La parte superior e inferior permanecen sin ser cambiados en todas las aplicaciones, mientras que el largo de la sección media, es cambiado para componer el largo total que es igual a la altura disponible.

El conducto vertical es rolado y soldado longitudinalmente construido en una hoja de metal de 1,6 mm de espesor. Así mismo, para la unión de cada una de las secciones se utilizarán pestañas unidas por pernos. Para encontrar el área transversal del tubo vertical se hará uso de la formula $Q = VA$ utilizando una velocidad apropiada con la cual se disminuyen las perdidas por rodamiento. En el siguiente esquema se puede ver la forma del tubo vertical.

Figura 2: Conducto Vertical Cilíndrico



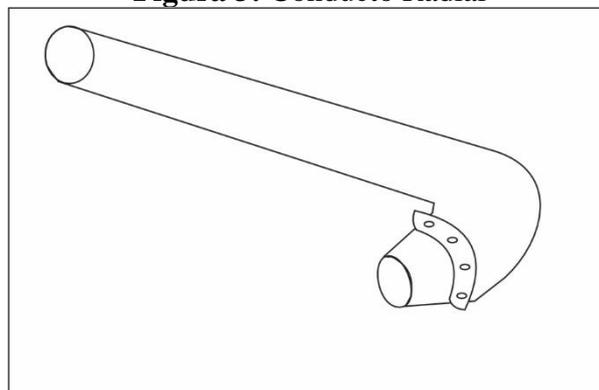
Elaborado por el equipo de trabajo

2.3.5. Conductos Radiales

Los conductos radiales son hechos galvanizados y estandarizados, soldados al conducto vertical. Una característica de los conductos radiales es que en su parte final termina en unas toberas, las cuales están unidas a los conductos radiales mediante pestañas con sus pernos, la finalidad de esto es regular el flujo de salida del agua el cual se hará menor o mayor de acuerdo a las posibilidades existentes en el terreno.

Ver el esquema siguiente:

Figura 3: Conducto Radial



Elaborado por el equipo de trabajo

2.4. COMPONENTES BASICOS DE LA PICO CENTRAL CON TURBINA DE REACCION LIBRE

2.4.1. Toma de agua del rio

Es el primer peldaño de un proyecto de un pico, mini, pequeñas o grandes centrales; para desviar el agua a veces se construye un dique y se coloca rejillas Cuya



función es no permitir el paso de sólidos en suspensión que tengan un área mayor al área de la salida de las tuberías de regulación.

2.4.2. Desarenador

Los desarenadores son obras hidráulicas que tienen por finalidad propiciar la decantación o sedimentación y garantizar luego la remisión o evacuación de las partículas sólidas que hayan ingresado a través de una obra de captación o que estén siendo conducidas a lo largo del canal de conducción. En los proyectos de centrales hidráulicas es esencial, pues se debe garantizar que el agua que circula por la tubería forzada y que acciona las turbinas debe estar exenta de partículas sólidas que pudieran originar un rápido desgaste o deterioro; existen de baja velocidad de 0.20 a 0.60 m/s y alta velocidad de la corriente media de 0.60 a 1.5 m/s

2.4.3. Rebose o aliviadero

Esta construcción se encuentra antes de la compuerta al final de la cámara de desarenación y su finalidad es permitir la salida de agua que va a ser utilizada en la turbina debe operar con descarga libre y se recomienda la velocidad no supere 1m/s la carga en el vertedero no debe superar los 25cm.

2.4.4. Compartimiento de la turbina, generador

En las grandes centrales es conocido como casa de máquinas, en este lugar está la turbina, el generador eléctrico, también el transformador. En nuestro caso los componentes son más pequeños

2.4.5. Canal de desagüe

Este canal se encarga de conducir el agua una vez que esta ha cumplido su función, es decir pasar por el tubo vertical y luego de transferir su energía al rotor.



2.5. MODELAMIENTO DE TURBINA A REACCIÓN LIBRE EN 3D

En términos de características geométricas, el tipo de modelo requerido para el análisis 3D afecta en gran medida el tiempo computacional requerido para realizar el análisis; por lo tanto, se eliminan todas las características geométricas que no afectan la distribución o intensidad del esfuerzo del sector crítico. (Monge, 2006)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

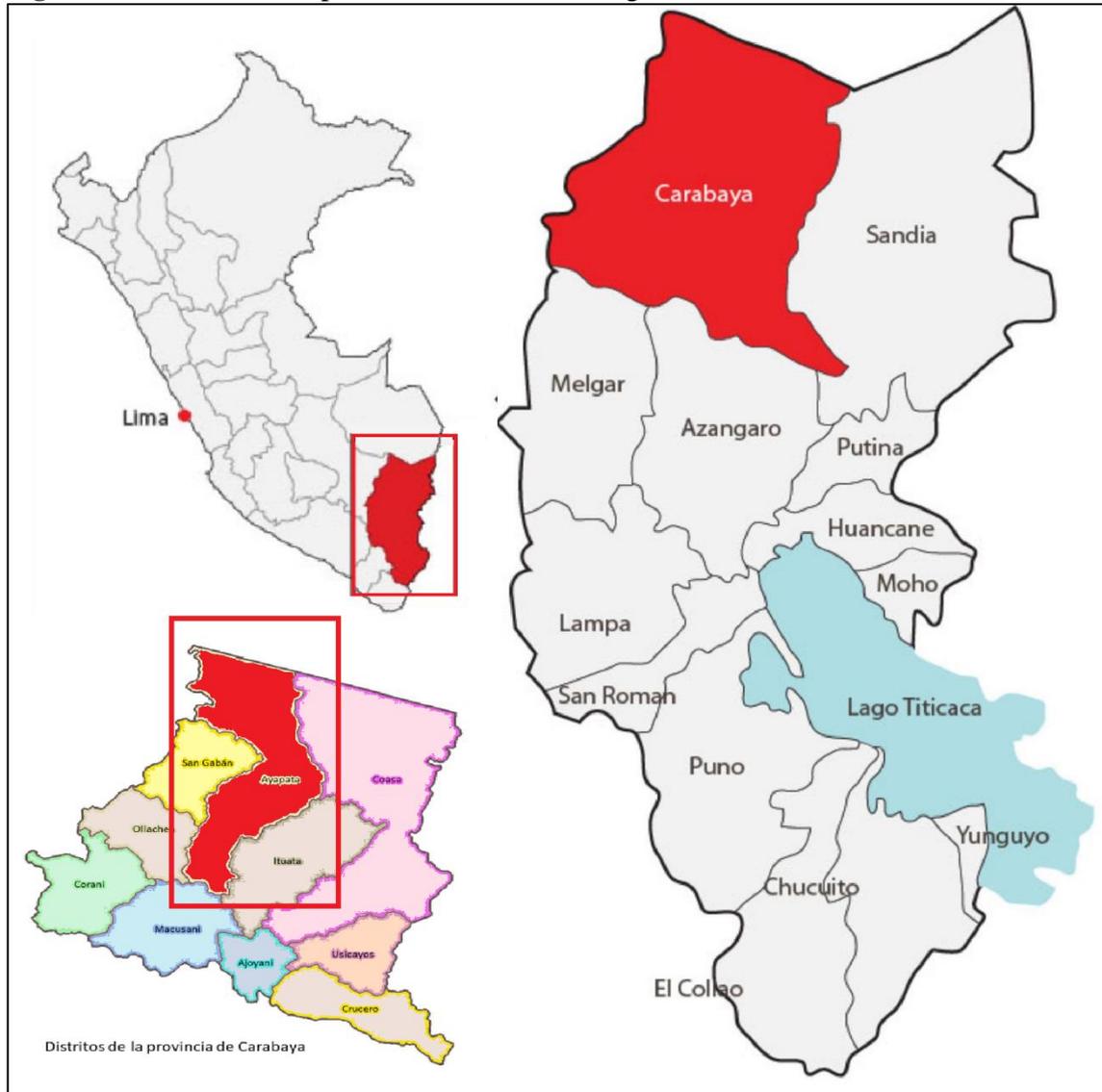
3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo a lo planteado en la presente propuesta se determinó como enfoque de Investigación Cuantitativo y el tipo de estudio utilizado en la presente investigación es descriptivo - exploratorio según los objetivos planteados. (Hernández et al., 2014), ya que se quiere determinar las características físicas, operativas y de funcionamiento de un dispositivo para el aprovechamiento de energía, y en base a esto, diseñar y construir un prototipo de turbina libre. El proyecto se basa en un método de observación cuantitativa. El diseño y la construcción de la Turbina Libre Generadora de Energía.

3.2. ÁMBITO DE ESTUDIO

El ámbito de estudio será en las instalaciones del Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica eléctrica de la UNA-Puno, la zona de aplicación será para las Zonas Rurales del Distrito de Ayapata, provincia de Carabaya y Región Puno.

Figura 4: Ubicación de aplicación del sistema de generación



Fuente:(ubicación página web)

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014, p. 174), que referencia a Lepkowski, indica: "una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones". Es la totalidad del fenómeno a estudiar, donde las entidades de la población poseen una característica común. La población y muestra para el presente estudio será el sistema de generación de la picocentral. La población y muestra que es objeto de esta investigación, estará formada por el sistema de generación y la zona de aplicación del proyecto que es el distrito de Ayapata – Carabaya en la región Puno que recorren promedio de 3,475 m.s.n.m.



3.4. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO METODOLÓGICO

En el presente proyecto el método de investigación es del tipo deductivo-descriptivo y practico; deductivo porque se va a caracterizar la turbina demostrando las fórmulas que rigen el funcionamiento de esta turbomáquina como es el caudal, altura, potencia, es descriptivo porque se va a especificar los diferentes componentes y sus características como los materiales de la pico central y otros se seleccionaran caso del generador eléctrico y es practico porque se va a construir y se va a realizar el montaje respectivo del prototipo de la pico central, para los cálculos respectivos se utilizará el programa de Microsoft Excel y software de diseño asistido por computador. Se inicia con la elaboración de los cálculos de diseño preliminares de la turbina libre, tomando como base las variables de diseño. Esta fase incluye todos los cálculos de dimensionamiento y cálculos operacionales para el funcionamiento del mecanismo, además de la realización de un modelo de la turbina libre en un sistema CAD, para documentar y dar bases del diseño de la construcción física de la turbina, finalmente luego de la construcción las pruebas respectivas evaluándose los parámetros operativos.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En éste capítulo del trabajo de investigación, de Modelamiento y Diseño de un sistema de generación mediante un sistema de generación de una Picocentral con una turbina a Reacción Libre, desarrollando Modelamiento Matemático del Aprovechamiento Energético, Cálculo de Diseño de la Turbina de Reacción Libre para la Picocentral de una Altura de 3,475 m.s.n.m. y una Potencia de 300W los resultados que se desarrollaran serán sobre el Modelamiento Matemático del Aprovechamiento Energético, el Cálculo de Diseño de la Turbina de Reacción Libre para la Picocentral, el diseño asistido por computador o conocido por Computer Asisted Desing (CAD) del Prototipo de Turbina de Reacción Libre; y finalmente la determinación de los Parámetros de Pruebas del Prototipo de Turbina de Reacción Libre, así mismo para la respectiva valides se plantea la correspondiente discusión sobre los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación.

4.1. MODELAMIENTO MATEMÁTICO DEL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO

4.1.1. Dedución del Torque en Función del Momento de la Cantidad de Movimiento

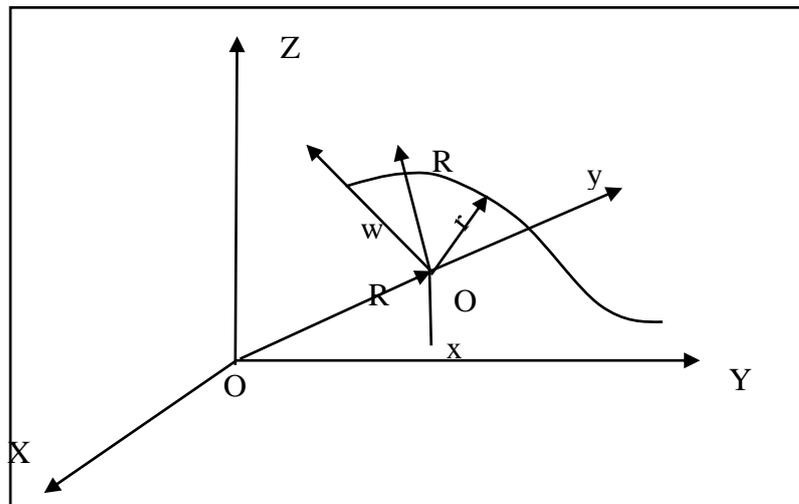
Para la deducción de la formula del torque mediante el análisis de las ecuaciones del momento de la cantidad de movimiento. Debido a que el volumen de control seleccionado de rotor gira, el volumen de control será no inercial. El segundo principio de Newton nos dice que fuerza es igual a la masa por la aceleración.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = -\frac{D}{Dt}(m \cdot \vec{v}) = D_t P_{xyz}$$

Donde la aceleración esta mediada desde un sistema inercial.

Como el movimiento del fluido es medido con relación al volumen de control o sea con respecto al rotor, es necesario generalizar la ecuación de cantidad de movimiento, de forma que sea aplicable a un volumen de control sometido a un movimiento cualquiera.

Considerando una referencia inercia X, Y, Z y curva referencia x, y, z que se mueve de forma arbitraria respecto de X, Y, Z como se muestra en el grafico siguiente:



Donde:

r = Vector posición de la partícula.

w = Velocidad angular del sistema.

R = Vector posición del sistema.

El origen "o" de x, y, z se relaciona con X, Y, Z mediante su vector de posición R . El movimiento de x, y, z con relación a X, Y, Z , puede describirse entonces por la superposición de una velocidad de R correspondiente al movimiento real del origen o más una rotación pura de velocidad angular w alrededor de un eje que pasa por el origen.

Además, la aceleración de una partícula medida respecto de una referencia X, Y, Z , a x, y, z , está relacionada con la aceleración de la misma partícula con respecto de otra referencia X, Y, Z , a x, y, z , de la siguiente forma:



Donde r es el vector de posición de la partícula en su referencia x, y, z y w es la velocidad de la partícula respecto de la misma referencia. Escribiendo el principio de Newton apropiadamente para un sistema infinitesimal de partículas en función del movimiento con relación a x, y, z utilizamos la ecuación llegando a:

$$dF = dmaxyz = dm [axyz + \ddot{R} + 2wxW + wxr + wx(wxr)]$$

$dF \rightarrow$ es la sumatoria de todas las fuerzas externas sobre el elemento diferencial de fluido de masa "dm".

A continuación, ordenando esta ecuación en la forma:

$$dF = dm[\ddot{R} + 2w \times \bar{W} + wxr + wx(wxr)]z$$

$$dma_{xyz} = \frac{D}{Dt_{xyz}}(dmW)$$

Bajo las condiciones de que:

El sistema gira a velocidad angular constante, entonces $w = 0$ y de que el origen de coordenadas x, y, z no tiene movimiento de traslación, entonces $\ddot{R} = 0$.

Por lo tanto, la ecuación anterior se transforma en:

$$d\bar{F} - dm[2wx\bar{W} + wx(wxr)] = dma_{xyz} = \frac{D}{Dt_{xyz}}(dmW)$$

Ahora tomando respecto "0"

$$\bar{r}x d\bar{F} - rxdm[2wx\bar{W} + wx(wxr)] = rxdm \frac{D}{Dt_{xyz}} \bar{W} (*)$$

Se puede demostrar vectorialmente que:

$$(*) \quad r x \frac{Dm}{Dt} W = \frac{D}{Dt} (r x W) dm \text{ pues:}$$



$$\frac{D}{Dt}(rxW) = \frac{Dr}{Dt} x W + r x \frac{Dt_{xyz}}{Dt}$$

$$\frac{Dr}{Dt} y W \implies \text{son paralelos} \implies \frac{Dr}{Dt} x \bar{W} = 0$$

Integrando tenemos:

$$\int rxdF - \int rcDm [2wxW + wx(wxr)] = \int Dm \frac{D}{Dt}(rxW)$$

Llamando $r x W = h_{wyz}$ tenemos:

$$\int r \times \int rxdm [2wxW + wx(wxr)] = \int Dm \frac{D}{Dt}(h_{xyz}) \dots \dots \dots (2)$$

Si N es como una propiedad extensiva cualquiera, se ha establecido que la velocidad de variación con el tiempo de N en un sistema en el instante t, es igual a la suma de los términos:

La velocidad de variación con el tiempo de N en el interior del volumen de control, que tiene la forma del sistema en el instante t, mas, El flujo de N, por unidad de tiempo, a través de la superficie de control en el instante t.

Por lo tanto, efectuando un desplazamiento donde el método del sistema al método del volumen de control lo expresado matemáticamente de la siguiente manera:

$$\frac{DN}{Dt} = \iint_{CB}^{\bar{n}} (\rho v' \cdot dA) + \frac{d}{dt} \iiint_{Vc}^n (\rho dVol) \dots \dots \dots (3)$$

Se observa que el campo de velocidad se ha medido con relación a una referencia x, y, z y el volumen de control se ha supuesto fijo respecto a esta referencia.

Esto pone de manifiesto que V' en la ecuación anterior se mide en efecto con relación al volumen de control.



Entonces:

$$V' = W$$

Haciendo uso de la ecuación (3) y considerando $h_{rx} W$

Tenemos que:

$$\frac{DN}{Dt} = \iint_{CB} \rho(r \times W)(\bar{W} \cdot d\bar{A}) + \frac{d}{dt} \iiint_{VC} \rho(\bar{r} \times \bar{W}) dvol$$

$$\frac{D}{Dt} \int_{masa} (\bar{r} \times \bar{W}) dm = \frac{DN}{Dt}$$

Relacionando esto con la ecuación (2):

$$\int r \times dF \int r \times Dm[2w \times W + w \times (wxr)] = \int Dm \frac{d}{dt} (h_{xyz}, z)$$

$$\iint_{CS} \rho(r \times W)(V_{xyz} \cdot d\bar{A}) + \frac{d}{dt} \int_{VC} \rho(r \times W) dV$$

Igualando:

$$\int r \times dF - \int r \times dm[2w \times W + w \times (wxr)]$$

$$= \iint_{CS} \rho(r \times W)(W \cdot d.A) + \frac{d}{dt} \iiint_{VC} \rho(r \times W) dv$$

$$\frac{d}{dt} \iiint_{VC} \rho(r \times W) = 0 \implies \text{Por ser regimen permanente}$$

$$\int r \times dF = \text{momento}$$

Entonces:

$$\bar{M} - \int r \times dm[2w \times W + w \times (wxr)]$$

$$= \iint \rho(r \times W)(V_{wyz} \cdot dA) \dots \dots \dots (4)$$

Ahora se analiza el termino:

$$\int r \times dm [2w \times W + w \times (wxr)]$$

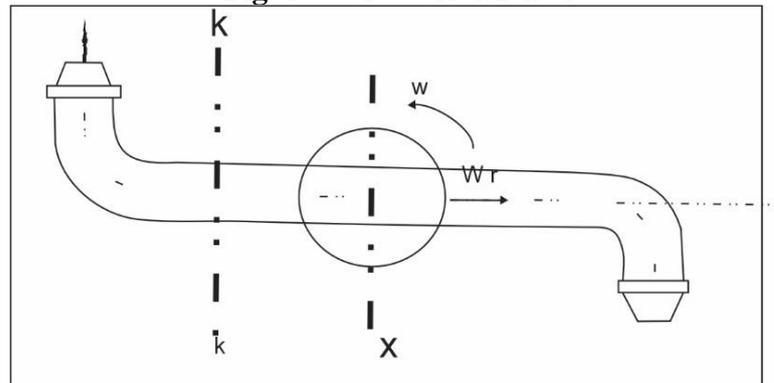
Realizando las operaciones respectivas tenemos que:

$$dm = \rho dvol \qquad \bar{M} = (0.0.T)$$

El fluido que ingresa axialmente al rotor procedente del tubo vertical, cambia de dirección, (ver Figura N.º 2).

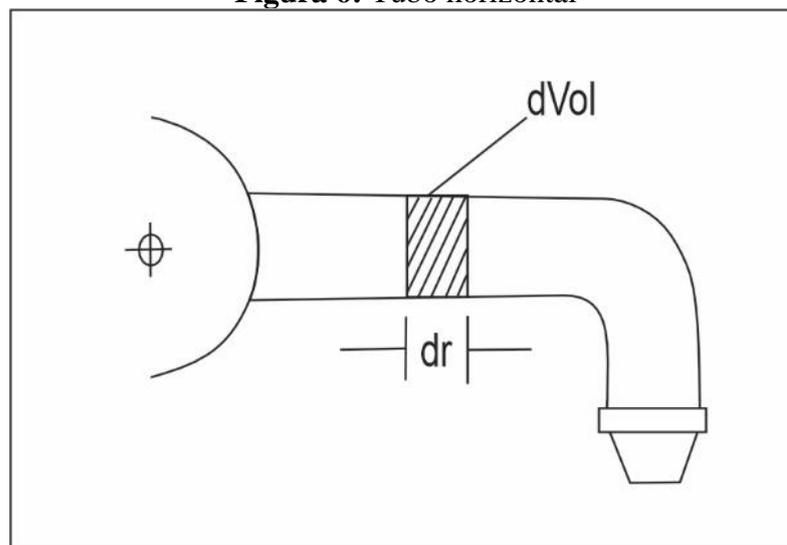
El movimiento del fluido en el interior se realiza dirección radial exclusivamente por lo que la velocidad relativa respectiva al rotor es W_r .

Figura 5: Tubo Horizontal



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 6: Tubo horizontal



Elaborado por el equipo de trabajo

Observando el esquema N.º 5

$$dm = \rho dvol$$

$$dVol = A_r dr$$

$$\bar{r}x(2wxW) = 2wW_r r$$

$$\iiint rxdm |2wxW| = 2 \int_0^{L/2} r = \rho A_r dr (2wWr)$$

$$4\rho A_r w W r \int_0^{L/2} r dr = 4W_r \rho A_r \frac{r^2}{2}$$

$$= 2\rho A_r w \frac{Q}{2A_r} \frac{L_2}{4} = \rho \frac{A_r W Q L_2}{4}$$

Además, consideramos el torque negativo puesto que es el sistema el que lo entrega y por lo tanto tenemos:

$$-T - \iiint_{VC} 2W_r \cdot W_r \rho \iint_{SC} r W u \rho \bar{W} \cdot (d\bar{A})$$

Teniendo en cuenta el esquema N.º 6 se puede observar que en la superficie de control N.º 2 y 3 se cumple que:

$$W \cdot d\bar{A} = WuAe$$

$$r \cdot Wu = \frac{L}{2} Wu$$

Ahora analizando:

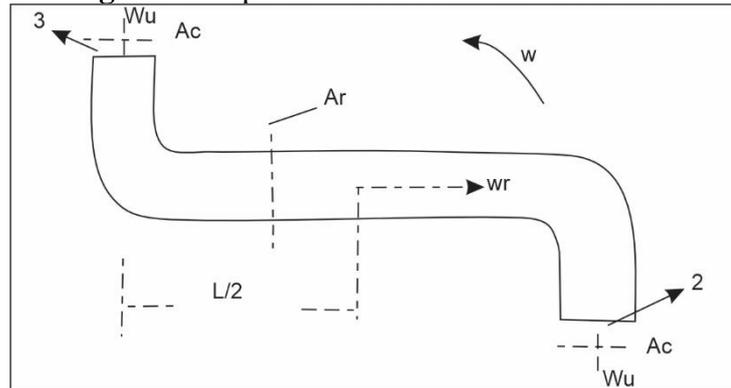
$$\iint_{SC} r W u \rho \bar{W} \cdot (d\bar{A})$$

Tenemos que:

$$\bar{W} \cdot d\bar{A} = WuAe$$

$$Q = 2WuAe$$

Figura 7: Aspersor - área de salida - área radial



Elaborado por el equipo de trabajo

Límite del volumen de control

Ae: Área a la salida

Ar: Área radial

Por lo tanto, tenemos que:

$$\begin{aligned} \iint_{SC}^0 r Wu [\rho W d\bar{A}] &= -\frac{L}{2} Wu \rho 2 Wu Ae = -\frac{L}{2} Wu \rho Q \\ &= -\frac{L}{2} - \frac{Q}{2Ae} (\rho Q) = -\frac{\rho Q 2L}{4Ae} \end{aligned}$$

Ahora resolviendo el primer término del segundo miembro tenemos:

$$\begin{aligned} \iiint_{VC}^0 2W_r \cdot W_r \rho dvol &= 2 \int_0^{L/2} W_r W_r \rho Ar dr \\ &= 4w W_r \int_0^{L/2} Ar pr dr \\ &= 4w W_r \rho Ar L^2 \\ &= \frac{4w W_r \rho Ar L^2}{2} = \frac{2w W_r \rho Ar L^2}{4} = \frac{w Q L^2}{4} \end{aligned}$$

Por lo tanto, el torque exterior será:

$$\begin{aligned} T &= \frac{Q \rho L^2 w}{4} - \frac{Q^2 \rho L}{4Ae} \\ -T &= \rho \frac{QL}{4} \left[LW - \frac{Q}{Ae} \right] \end{aligned}$$



$$-T = \rho \frac{QL}{4} \left[2Wr - \frac{2WuAe}{Ae} \right]$$

$$-T = \rho \frac{QL}{2} [Wr - Wu]$$

$$T = \rho \frac{QL}{4} (Wu - U) \dots \dots \dots (5)$$

4.1.2. Deducción de fórmula de potencia

La potencia se define como:

$$Wt = T \cdot w$$

$$Wt = \rho \frac{QLW}{2} (W - U)$$

$$\text{Pero: } U = \frac{wL}{2}$$

$$Wt = \rho QU(W - U) \dots \dots \dots (6)$$

Trabajo de Euler: Cuando se analizan las turbomáquinas un término frecuentemente empleado es el llamado “Trabajo de Euler”, término que define la Potencia útil por unidad de flujo masico.

Es decir:

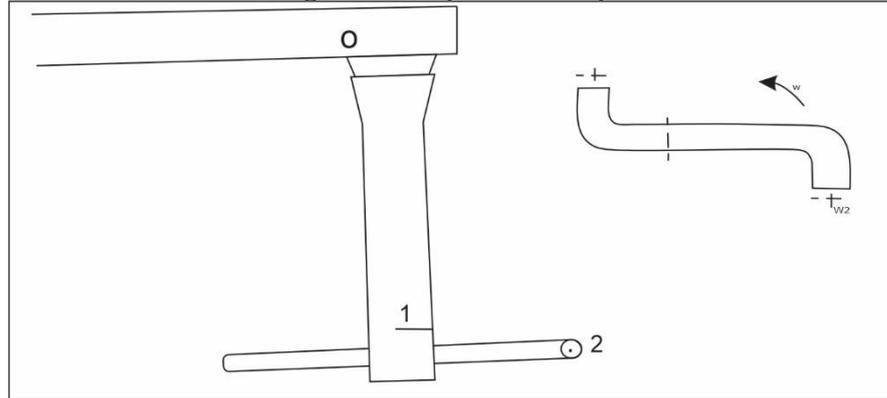
$$We = \frac{Wt}{\rho Q}$$

$$We = \frac{\rho QU(W - U)}{\rho Q}$$

$$We = U(W - U) \dots \dots \dots (7)$$

Deducción de la fórmula de la velocidad relativa en función de la altura, velocidad tangencial y la gravedad.

Figura 8: Aspersor - torque



Elaborado por el equipo de trabajo

Aplicando la ecuación de energía sin considerar pérdidas de energía y teniendo como referencia el esquema anterior:

$$\frac{P_2 - P_0}{\rho} + \frac{V_2^2 - V_0^2}{2} + B(-H) + We = 0$$

$P_2 = P_0$ = Presión atmosférica por lo tanto el termino se hace igual a cero

$V_0 = 0$ = Considerando que su velocidad es muy pequeña.

Por lo tanto, obtenemos lo siguiente:

$$V_2^2 = gH + We = 0$$

Se sabe también que:

$$V_2 = W_2 - U_2 \implies V_2^2 = (W_2 - U_2)^2 = W_2^2 - 2W_2U_2 + U_2^2$$

Reemplazando V_2^2 en la formula anterior tenemos:

$$\frac{W_2^2 - 2W_2U_2 + U_2^2}{2} - gH + We = 0$$

Asimismo, de acuerdo a la formula N.º 7 se sabe que:

$$We = U_2(W_2 - U_2)$$

Por lo tanto, en la ecuación anterior tenemos:

$$\frac{W^2}{2} - W_2 U_2 + \frac{U_2}{2} - gH + U(W_2 - U) = 0$$

$$\frac{W^2}{2} - \frac{U_2}{2} = gH$$

$$W^2 - U^2 = 2gH$$

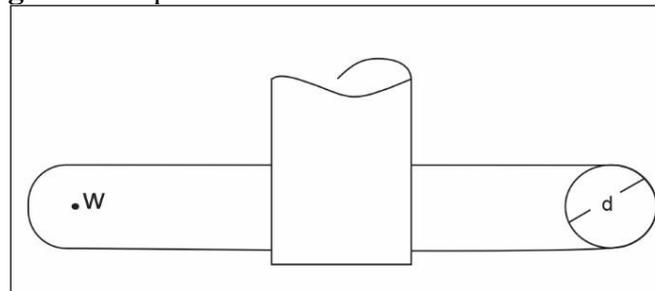
$$W = \sqrt{2gH + U^2} \text{ Expresion para fluido ideal}$$

Pero se sabe que hay perdidas por fricción del flujo, viscosidad, por lo tanto, afectamos la expresión por un factor “ ψ ” menor que:

$$W = \psi \sqrt{2gH + U^2} \text{ expresion real (8)}$$

Deducción de la fórmula de caudal en la descarga, observando el siguiente esquema vemos que:

Figura 9. Esquema de deducción de caudal de descarga



Elaborado por el equipo de trabajo

Z = números de salidas

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$V = \sqrt{2gH + U^2} \quad V = \text{Velocidad de chorro.}$$

De lo cual obtenemos lo siguiente:

$$Q = \frac{z\pi d^2}{4} \psi \sqrt{2gH + U^2} \text{ (9)}$$

Deducción de la fórmula de rendimiento

El rendimiento de la turbina se define:



$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Energía potencial neta del agua}}$$

La energía potencial neta del agua esta dad por:

$$P = QH\rho g$$

La potencia de salida esta dad por:

$$W_t = \frac{\rho Q L w}{2} (W - U)$$

Considerando rendimiento n tenemos:

$$\eta = \frac{\rho Q w L / 2 (W - U)}{QH\rho g}$$

$$n = \frac{Lw(W - U)}{2gH}$$

Se sabe que:

$$U = wr = \frac{WL}{2}$$

Por tanto:

$$n = \frac{U(W - U)}{gH}$$

Además

$$W = \psi \sqrt{2gH + U^2}$$

Por lo tanto:

$$\eta = \frac{U[\psi \sqrt{2gH + U^2} - U]}{gH}$$

Deducción de la fórmula para la velocidad angular limite

Se sabe que:



$$Q = \frac{Zd^2\pi}{4} \sqrt{2gH + U^2}$$

Pero:

$$(A_{at}) = \frac{Zd^2\pi}{4}$$

Entonces:

$$Q = A_{at}\psi\sqrt{2gH + U^2}$$

$$\left(\frac{Q}{A_{at}}\right)^2 = 2gH + U^2$$

Por tanto:

$$U = \sqrt{\left(\frac{Q}{A_{at}}\right)^2 - 2gH}$$

También:

$$U = \frac{wD}{2} = \frac{2\pi N}{60} \times \frac{D}{2} = \frac{\pi NL}{60}$$

Igualando:

$$\frac{\pi ND}{60} = \sqrt{\left(\frac{Q}{A_{at}}\right)^2 - 2gH}$$

$$N = \frac{60}{\pi D} \sqrt{\left(\frac{Q}{A_{at}}\right)^2 - 2gH} \dots\dots\dots(11)$$

4.2. CÁLCULO DE DISEÑO DE LA TURBINA DE REACCIÓN LIBRE PARA LA PICOCENTRAL

Este numeral se efectuará los cálculos de diseño de la Turbina de Reacción Libre para la Pico central de una Altura de 4 m y Potencia de 300W, Diseño del Rotor, Cálculo de la velocidad tangencial óptima para el diámetro elegido, Cálculo del área total de salida, Cálculo del diámetro de la tobera, Cálculo del número de revoluciones máximo, Diseño del tubo vertical, Cálculo del eje, Cálculo de torque y el Cálculo del Eje de la Turbina, para que la información se refleje en el logro de los objetivos planteados en la investigación.

4.2.1. Diseño de la Capacidad de Caudal

Se desea diseñar una turbina con lo cual se puede aprovechar la mayor cantidad de recursos hidráulicos que se presentan en nuestro país. Al haber tenido la oportunidad de observar la cantidad de agua que normalmente emplean los agricultores para regar sus parcelas y habiendo observado las alturas aplicables en la mayor proporción se dan en la sierra de nuestro país, tenemos para el diseño para una carga total de 300W y una altura de 4m. Así mismo, se tiene en cuenta el agua a utilizarse es no tratada con un mediano porcentaje de material sólido por lo que se estima un rendimiento de 70%. Por lo que se diseña un desarenador.

Las turbinas convencionales, al observar los cuadros de selección, no resultan apropiadas por lo que se plantea el ejemplo de una turbina de reacción libre.

Para el cálculo de la potencia tenemos:

$$P = n. \rho. Q. g. H$$

$$Q = \frac{300}{0.7 * 1000 * 9.81 * 4}$$

$$Q = 0.0109 \frac{m^3}{s}$$



Donde:

P: potencia en kW.

Q: caudal de equipamiento en m³/s.

n: velocidad específica.

ρ : Densidad del Agua en Kg/m³.

H: salto neto existente en metros.

g: Gravedad

F_f=20% (factor de fuga. evaporación, pérdidas), entonces:

$$Q = 0.0131 \frac{m^3}{s}$$

4.2.2. Diseño del Rotor

El diseño se inicia con el dimensionamiento del rotor siendo el primer punto el diámetro del mismo.

Cálculo del diámetro

$$D = \frac{60}{N_{opt}\pi} \sqrt{gH \left(\frac{1}{1 - \phi^2} - 1 \right)}$$

Se asume:

$\phi = 0.96$ (Factor de descarga)

$$D = \frac{60}{N \times 3.1416} \sqrt{9.18 \times 4 \left(\frac{1}{1 - 0.96^2} - 1 \right)}$$

$$D = \frac{410.2}{N}$$

Se hace un análisis de posibilidades obteniéndose el siguiente cuadro:

Tabla 3: Determinación del diámetro del rotor

N(RPM)	D(m)	D(cm)
200	2.05	205.10
500	0.82	82.04
700	0.59	58.60
800	0.51	51.28
900	0.46	45.58
1200	0.34	34.18
1500	0.27	27.35
1750	0.23	23.44
1800	0.23	22.79
2100	0.20	19.53
2400	0.17	17.09

Elaborado por el equipo de trabajo.

Se considera un $N_{opt} = 500$ rpm por lo que se da un diámetro de 0.82 m puesto que él se considera un N_{opt} menor se tendrá dificultad en la construcción del rotor, mientras que si consideremos un N_{opt} mayor disminuiría notablemente el torque.

4.2.3. Cálculo de la velocidad tangencial óptima para el diámetro elegido.

$$V_{opt} = \frac{D \pi N_{opt}}{60}$$

$$V_{opt} = \frac{0.82 \times 3.1416 \times 500}{60}$$

$$V_{opt} = 21.46 \frac{m}{s} = 21.5 \text{ m/s}$$

4.2.4. Cálculo del área total de salida.

$$A = \frac{Q}{\phi \sqrt{2gH + V_{opt}^2}}$$

$$A = \frac{0.01635}{0.96 \sqrt{2 \times 9.81 \times 4 + 21.45^2}}$$

$$A = 0.00073 \text{ m}^2$$



4.2.5. Cálculo del diámetro de la tobera.

Considerando solo 2 toberas por facilidad de construcción tenemos:

$$d = \sqrt{\frac{A \times 4}{Z \times \pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0.00073}{4 \times 3.1416}}$$

$$d = 0.0153 \text{ m} = 15.3 \text{ mm}$$

4.2.6. Cálculo del número de revoluciones máximo, N_{max} .

$$N_{max} = \frac{60 \times Q}{D \pi A}$$

$$N_{max} = \frac{60 \times 0.01635 \times 10000}{0.82 \times 3.1416 \times 7.3}$$

$$N_{max} = 521.6 \text{ rpm}$$

Se concluye que el rotor tendrá las siguientes dimensiones:

$$D = 0.82 \text{ m}$$

$$d = 15.3 \text{ mm}$$

$$N_{opt} = 500 \text{ rpm}$$

$$N_{max} = 521.6 \text{ rpm}$$

$Z = 4$ *Números de brazos radiales.*

4.2.7. Diseño del tubo vertical

Para el diseño del tubo vertical se tiene en cuenta que el agua debe circular a una velocidad muy baja para evitar pérdidas por lo tanto se adopta una velocidad de 1.2 m/s. El conducto vertical es rolado y soldado longitudinalmente construido en una hoja de metal de 1,6 mm de espesor, La parte superior tiene forma de embudo, por comodidad y así evitar se rebalse el agua. Así mismo, para la unión de cada una de las secciones se



utilizarán pestañas unidas por pernos. Para encontrar el área transversal del tubo vertical se hará uso de la formula $Q = VA$ utilizando una velocidad apropiada con la cual se disminuyen las perdidas por rozamiento.

Con esta consideración tenemos:

$$Q = V.A.$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.01635 \text{ m}^3/\text{s}}{1.2 \text{ m/s}} = 0.0109 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \rightarrow d = \frac{4A}{\pi}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0.0006}{3.1416}}$$

$$d = 0.175 \text{ m} = 175 \text{ mm}$$

Para la parte del embudo en la entrada se le dará un diámetro de 50 m.m. para facilitar la entrada del agua y evitar el rebalse.

4.2.8. Cálculo del eje.

Para el cálculo del eje se necesita saber el torque a transmitir, por lo tanto:

4.2.9. Cálculo de torque.

La expresión correspondiente al torque es.

$$T = \frac{D}{2} AW (W - V)\rho$$

Pero:

$$W = \phi \sqrt{2gH + V^2}$$

$$W = 0.96 \sqrt{2 \times 9.81 \times 4 + (21.5)^2}$$

$$W = 22.32 \text{ m/s}$$

Por lo tanto:



$$T = \frac{0.82}{2} \times 0.0109 \times 22.32 (22.32 - 21.5)1000$$

$$T = 211.5 Nm$$

Para el cálculo del eje se hace necesario saber las cargas que actúan por efecto de la polea, por lo tanto, a continuación, se procede a diseñar la polea.

4.2.10. Cálculo del Eje de la Turbina

Cálculo del eje de la turbina por torsión

Datos:

$$T = 211.5 Nm$$

Por fórmula tenemos $\tau_{max} = \frac{T*r}{J}$ donde :

T: torque que soporta el eje

r: radio del eje

J: momento polar de inercia $\rightarrow J = \frac{\pi*r^4}{2}$

Obtenemos la ecuación para el cálculo del radio del eje:

$$\tau_{max} = 210 \frac{kgf}{cm^2} \text{ (Esfuerzo de diseño)}$$

$$r = \sqrt{\frac{2*T}{\pi \tau_{max}}}$$

$$r = \sqrt{\frac{2*T}{\pi \tau_{max}}} = \sqrt{\frac{2*211.5}{\pi}} = 1.7 \text{ cm,}$$

$$d = 3.4 \text{ cm}$$

Resumiendo, las características, se hace el diseño de un rotor con un diámetro de 0.82 m, Diámetro de salida de la tobera de 0.00073 m² Diámetro de la tobera 15.3 mm, Número de revoluciones óptimo y máxima de 500 y



521.6, Torque de 211.5 Nm, radio y diámetro del eje de la turbina que son de 1.7 cm. y 3.4 cm respectivamente.

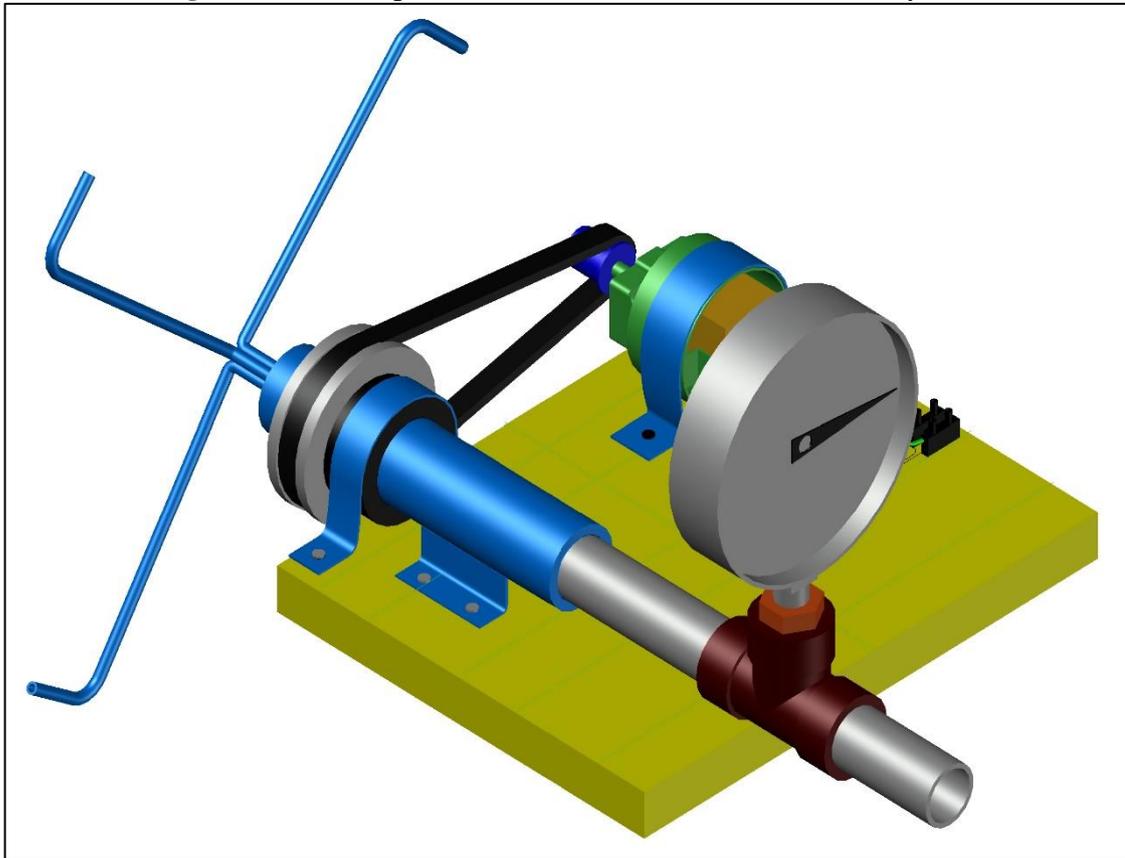
4.3. COMPUTER ASISTED DESIGN (CAD) DEL PROTOTIPO DE TURBINA DE REACCIÓN LIBRE

En esta sección, organizamos los planos de diseño generados para el Prototipo de Turbina de Reacción Libre mediante el Software de Diseño Asistido por computador conocidos como CAD, se desarrollaron según la siguiente lista de detalle:

1. Diseño de la Base de Madera para el prototipo (Ver Anexo 1)
2. Diseño de la Tuerca de 15.24 cm Bronce (Ver Anexo 2)
3. Diseño de Cables color Verde y Café y Carga (Ver Anexo 3)
4. Diseño de la Parte de la Tuerca Bronce (Ver Anexo 4)
5. Diseño del Tubo 1.27 cm PVC (Ver Anexo 5)
6. Diseño del Instrumento de Presión Manométrica (Ver Anexo 6)
7. Diseño del Tuvo 1.27 cm PVC (Ver Anexo 7)
8. Diseño del Tubo 1.27 cm Abrazadera Metal (Ver Anexo 8)
9. Diseño del Rodamiento 6204 2SRH (Ver Anexo 9)
10. Diseño del Abrazadera Metálica 1.59 cm (Ver Anexo 10)
11. Diseño de la Abrazadera Metálica 0.1 cm. (Ver Anexo 11)
12. Diseño del Polea de Baquelita (Ver Anexo 12)
13. Diseño del Polea Dentado Diámetro 4.34 cm (Ver Anexo 13)
14. Diseño de la Turbina de Reacción Libre (Ver Anexo 14)
15. Diseño de la Faja Dentado 0.6 cm (Ver Anexo 15)
16. Diseño de la Parte de la Polea Dentado (Ver Anexo 16)
17. Diseño de la Tapa de Metal para el Motor (Ver Anexo 17)

Sobre el diseño del sistema de generación se presenta en la figura mostrada a continuación:

Figura 10. Prototipo de turbina de Reacción Libre del Proyecto



Elaborado por el equipo de trabajo

Los detalles con dimensiones de los planos y esquemas diseñados del Prototipo de turbina de Reacción Libre y sistema de generación se adjuntan en los anexos 18 y 19 del presente trabajo.

4.4. PARÁMETROS DE PRUEBAS DEL PROTOTIPO DE TURBINA DE REACCIÓN LIBRE.

En esta sección, organizamos los datos obtenidos mediante las pruebas del sistema prototipo de generación mediante la turbina de generación tipo reacción libre, los cuales se analizarán sus comportamientos, sobre los indicadores de las Variables: el Número de revoluciones, el caudal de alimentación, presión de admisión y la tensión de generación

a la salida del generador, como principales resultados obtenidos que se muestran a continuación:

Tabla 4. Pruebas del Prototipo de Turbina de Reacción Libre

N°	Prueba	N (RPM)	Q (lt/s)	P (psi)	V Medido (V)
1	Medición 1	300	8.05	21.7	7.12
2	Medición 2	350	8.58	22.1	7.18
3	Medición 3	400	8.37	22.5	8.17
4	Medición 4	450	10.05	23.5	8.92
5	Medición 5	500	11.20	23.7	10.6
6	Medición 6	550	12.60	24.6	11.4
7	Medición 7	600	13.00	24.8	12.1

Elaborado por el equipo de trabajo

4.4.1. Variación Caudal - Voltaje

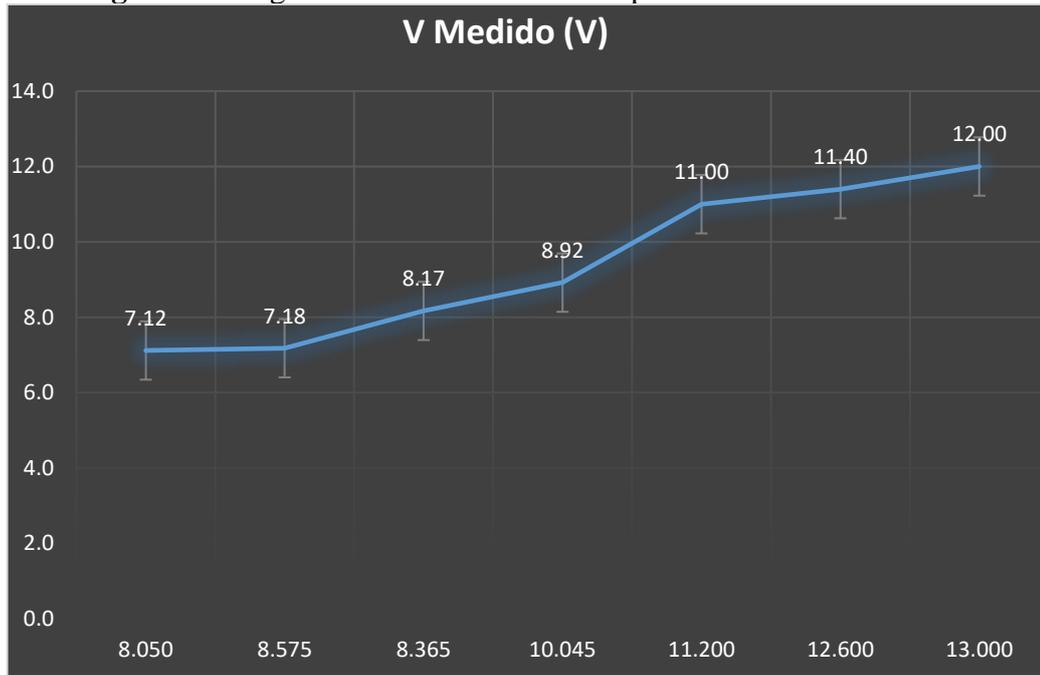
Durante las pruebas operativas realizadas de la Turbina de Reacción Libre presenta cuyo comportamiento de la relación de ambas variables se presenten, resultando los siguientes tabla y gráfico:

Tabla 5: Registro de tensión medida respecto al caudal consumido

Parámetros	Medició n 1	Medición 2	Medición 3	Medició n 4	Medició n 5	Medició n 6	Medició n 7
Q (lt/s)	0.23	0.245	0.239	0.287	0.32	0.36	0.38
V Medido (V)	7.12	7.18	8.17	8.92	11	11.4	12

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 11: Registro de tensión medida respecto al caudal consumido



Elaborado por el equipo de trabajo

De la Tabla 4 y Figura 3 donde se presenta registra los valores de la tensión medida respecto al caudal consumido, iniciándose sus valores en un rango de 7.12 V. hasta los 12 V. como valor máximo.

4.4.2. Variación Caudal - Presión

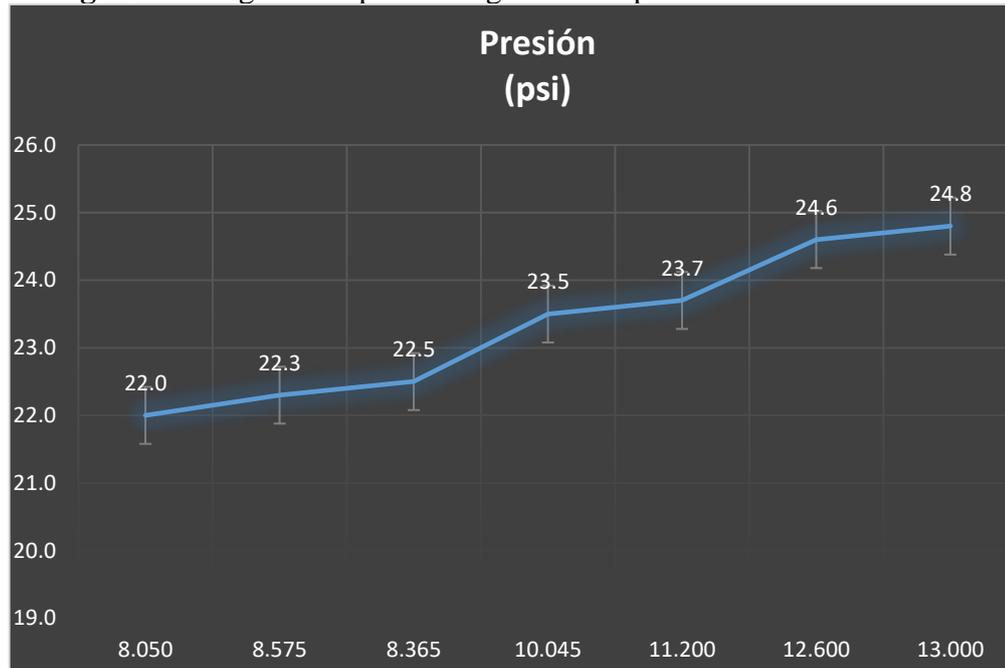
En la realización de las pruebas operativas realizadas a la Turbina de Reacción Libre, se presenta el comportamiento de la variable presión respecto al comportamiento de la variable caudal teniéndose un comportamiento accedente, resultando el siguiente gráfico:

Tabla 6. Registro de presión registrada respecto al caudal consumido

Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Medición 6	Medición 7
Caudal (lt/s)	0.23	0.245	0.239	0.287	0.32	0.36	0.38
Presión (psi)	22.0	22.3	22.5	23.5	23.7	24.6	24.8

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 12: Registro de presión registrada respecto al caudal consumido



Elaborado por el equipo de trabajo

De la Tabla 5 y Figura 4 donde se presenta registra los valores de la presión medida respecto al caudal consumido, iniciándose sus valores en un rango de 22.0 psi. hasta los 24.8 psi. como valor máximo.

4.4.3. Variación Caudal – Número de revoluciones RPM

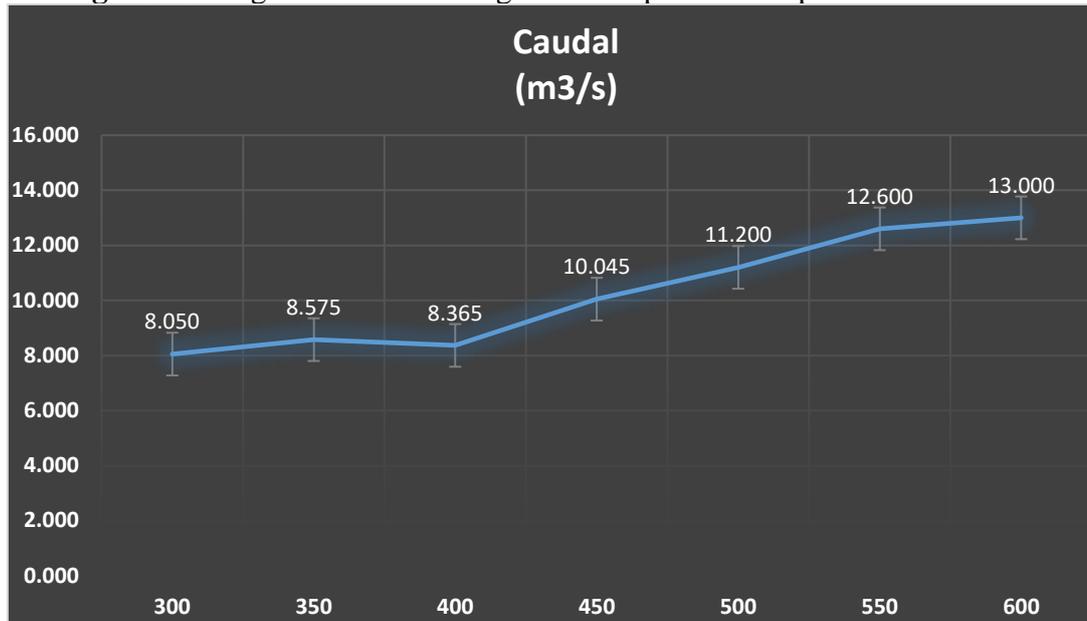
En la realización de las pruebas operativas realizadas a la Turbina de Reacción Libre, se presenta el comportamiento de la variable presión respecto al comportamiento de la variable caudal teniéndose un comportamiento accedente, resultando el siguiente gráfico:

Tabla 7. Registro del caudal registrada respecto a las rpm desarrolladas

Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Medición 6	Medición 7
Caudal (lt/s)	0.23	0.245	0.239	0.287	0.32	0.36	0.38
Presión (psi)	22.0	22.3	22.5	23.5	23.7	24.6	24.8

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 13: Registro del caudal registrada respecto a las rpm desarrolladas



Elaborado por el equipo de trabajo

De la Tabla 6 y Figura 5 donde se presenta registra los valores del caudal medido respecto a las revoluciones desarrollados por la turbina, iniciándose sus valores en un rango de 8.05 m³/s. hasta los 13.00 m³/s. como valor máximo, de las pruebas realizadas se adjuntas las fotografías del desarrollo de las mediciones efectuadas (Ver Anexo 20).

Discusión

Según los resultados tanto en el presente estudio como en la investigación realizada por Zamora (2017), para efectuar la generación de energía eléctrica por medio de una nano turbina resulta que el diseño debe mejorarse y que las características de diseño, a utilizar un generador de mejor desempeño, determinándose que es necesario mejorar el método de construcción y la instalación de una infraestructura más adecuada y con ello aumentar su eficiencia y productividad del sistema, así mismo en el trabajo desarrollado por donde Betancur (2020), también realizó la evaluación de prototipos de rotores de turbinas hidrocínicas, mostrándose que al margen del rendimiento y productividad los sistemas cumplen con el propósito de sus diseños.



V. CONCLUSIONES

PRIMERO: El modelamiento de cada elemento de la turbina de reacción libre permitió el desarrollo de una forma adecuada para construcción del prototipo donde sus características se desarrollaron de forma adecuada, para el aprovechamiento del recurso hídrico y su utilización en la generación mediante una picocentral hidráulica en la localidad de Ayapata.

SEGUNDO: Los parámetros de funcionamiento del prototipo de pico central hidráulica para uso rural, nos llevó a implementar el proyecto planteado es factible para el uso del sistema para el beneficio de la localidad de Ayapata, sistema con características definidas en el informe.

TERCERO: Se desarrollo los requerimientos y parámetros del Diseño Asistido por Computador de Esquemas y Planos garantizará, que ofrecen detalles claros del prototipo de Turbina de Reacción Libre, en un número de 20 planos adjuntados al proyecto.

CUARTO: El comportamiento operativo del prototipo de una picocentral de 0.3 kW de potencia utilizando una turbina de reacción libre pura, permite la generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento de los recursos hídricos en la zona rural y otros de la misma naturaleza.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERO: Una determinación de los parámetros de diseño que reflejan el desempeño del sistema de generación, para tener un conocimiento detallado de las condiciones de operación son una herramienta imprescindible para determinar una cualquier situación, a lo evaluado queda pendiente mayor análisis en sus demás indicadores para futuras investigaciones, en las cuales se recomienda seguir profundizando, con nuevas metodologías de investigación en el tema.

SEGUNDO: En materia de Diseño e innovación, sería saludable continuar con el mejoramiento del rendimiento de la turbina, como un nuevo tipo de turbina utilizándose el prototipo construido, que garanticen la objetividad de sus resultados por parte de los encargados en su evaluación.

TERCERO: Las pruebas se han realizado en un equipo novedoso. Para generar un modelo comercial, sería deseable diseñar un equipo modular, compacto y portátil, que permita realizar pruebas en campo y seguir con el proceso de optimización.

CUARTO: Podemos constatar que la forma apropiada efectuar el diseño de un equipo de turbomáquina, es que, a partir de modelos de generadores disponibles en el actual mercado, diseñar la geometría del perfil más adecuada. Así de esta forma se garantizará que sobre la generación de energía esta sea la mayor y de más eficiente.



VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Alberto, M. J. (2011). *Diseño de una Turbina Hidráulica basada en el Tornillo de Arquímedes* [Universidad de el Salvador]. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1788/>
- Barrios, Z. A. J., & Bernal, M. A. M. (2015). *Diseño y Construcción de Turbina Libre para la Generación de Energía* [Fundación Universitaria Los Libertadores]. <https://repository.libertadores.edu.co/handle/11371/364>
- Betancur, J. D. (2020). *Evaluación de prototipos de rotores de turbinas hidrocínicas de eje horizontal con diferentes perfiles hidrodinámicos con posible aplicación en picogeneración* [Instituto Tecnológico Metropolitano]. https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/4533/JuanDiego_BetancurGomez_2021.pdf?sequence=7&isAllowed=y
- Cabello, R. M. (2019). *Diseño, Fabricación y Ensayo de un Rodete de Turbina Kaplan Lenta* [Universidad Pontificia Comillas]. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/31482>
- Carmona, V. R. (2014). *Análisis, caracterización y diseño de una Turbina Francis* [Universidad de Jaén, Escuela Politécnica superior de Linares]. <https://tauja.ujaen.es/jspui/handle/10953.1/1853>
- Castro, A. (2006). Minicentrales hidroeléctricas. In IDAE (Ed.), *IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_2.1.7_Minicentrales_hidroelectricas_125f6cd9.pdf
- Chavarro, L. J. D. (2019). *Modelación y simulación en CFD de una turbina Kaplan* [Universidad de los Andes Colombia].



<https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/39412>

Chivata, R. G. A. (2014). *Diseño y Simulación de una Turbina de Vapor cuatro etapas para el Laboratorio de Térmicas y Fluidos de la Universidad Los Libertadores* [Fundación Universitaria Los Libertadores].

<https://repository.libertadores.edu.co/handle/11371/3000>

Cuervo, G. A. C. (2020). *Diseño de una Turbina para una Microcentral Hidroeléctrica para la vereda Los Arrayanes en Viota, Cundinamarca* [Fundación Universidad de América]. <http://mpoc.org.my/malaysian-palm-oil-industry/>

Ferrada, S. L. A. (2012). *Diseño de Rodete de Turbina Hidráulica tipo Pelton para Microgeneración* [Universidad de Chile].

http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112366/cf-ferrada_ls.pdf

Galarza, H. J. L. (2015). Metodología Para El Diseño De Turbinas En Pequeñas Centrales Hidroeléctricas Con Capacidad Menor a 10 MW- Con Ejemplo De Aplicación [Escuela Politécnica Nacional]. In *Escuela Politécnica Nacional*.

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9138/1/CD-6092.pdf>

García, D. M. (2021). *Diseño y optimización de turbina para sistemas de captación de energía del oleaje* [Universidad de Oviedo].

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=302261>

García, P. M. A. (2011). *Turbomáquinas – Turbinas Hidráulicas*. Universidad Nacional del Callao.

Gómez, S. J. R., De Armas, T. M. A., Monteaguado, Y. J. P., Ramos, M. F., & Navarro, A. E. (2009). Diagnóstico del Rendimiento en Turbinas de Contrapresión Aplicando Redes Neuronales Artificiales. *Energética*, 41, 23–31.

<https://www.redalyc.org/pdf/1470/147012859003.pdf>



- Guerra, Z. Y. O. (2020). *Diseño mecánico de una turbina hidrocínética para generación de electricidad en Ríos Amazónicos*. Universidad de Ingeniería y Tecnología UTEC.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, L. P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6th ed.). McGraw-Hill.
- Illidge-Araujo, J. M., Chacon, V. J. L., Chacon, V. A. J., & Romero, P. C. A. (2020). Diseño y simulación de un sistema pico-hydro para la generación de energía eléctrica en zonas rurales, mediante un software de mecánica de fluidos computacional. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), 155–170.
<https://doi.org/10.18273/revuin.v19n1-2020015>
- Loaiza, N. J. L. (1987). *Estudio de salto hidraulico como unidad de Mezcla Rapida* [Universidad Autónoma de Nuevo León].
<https://core.ac.uk/download/pdf/76594799.pdf>
- Maldonado, Q. F. (2005). *Diseño de una turbina de río para la generación de electricidad en el distrito de Mazán-Región Loreto* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiM5uSprs_SAhVW0WMKHRxqC8sQFggwMAQ&url=http%3A%2F%2Fsisbib.unmsm.edu.pe%2Fbibvirtualdata%2Fmonografias%2Fbasic%2Fmaldonado_qf%2Fmaldonado_qf.pdf&usg=AFQjCNHy9BX1tl
- Martinez, E. M. P. (2007). *Pruebas de Comportamiento de las Turbinas Francis* [Universidad EAFIT].
https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/4476/MariaPaulina_MartinezEscobar_2007.pdf?sequence=2&isAllowed=y



- Mayorga, P. A. S., & Villacrés, S. A. R. (2018). *Diseño y construcción de un prototipo de turbina Wells para la generación de energía* [Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29635>
- Monge, G. J. G. (2006). Evaluación de la Potencia de Operación de un Eje de Turbina Vertical Mediante el Método de Elementos Finitos. *Ingeniería*, 16(2), 75–83.
http://www.metalactual.com/ediciones.php?ed_id=7
- Muñoz, C. A. H. (2014). *Metodología costo efectiva para el diseño de una turbina hidrocínética de eje horizontal* [Pontificia Universidad Católica de Chile].
<https://repositorio.uc.cl/handle/11534/4972>
- Oñate, L. F. A. (2014). *Mecanismos para la Promoción de Energías Renovables No Convencionales para la Producción de Energía Eléctrica en el Ecuador* [Escuela Politécnica Nacional].
https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_2.1.7_Minicentrales_hidroelectricas_125f6cd9.pdf
- Orozco, A. G. (2011). *Diseño y construcción de un prototipo de turbina para generación de energía eléctrica en una microplanta* [Instituto Politécnico Nacional]. [https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/17460/1/Diseno y construccion de un prototipo de turbina para generacion de energia.pdf](https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/17460/1/Diseno_y_construccion_de_un_prototipo_de_turbina_para_generacion_de_energia.pdf)
- Peña-García, V. (2013). *Diseño de una turbina hidrocínética para aprovechamiento energético de ríos no caudalosos* [Universidad de Piura].
<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2058>
- Pinto, M. J. P., & Figueroa, T. J. J. (2021). *Prefactibilidad para la Instalación de una Turbina Hidrocínética, para la Generación de Energía Eléctrica, en el Staff Achoma. Arequipa – 2020* [Universidad Antonio Ruiz de Montoya].



- [https://repositorio.uarm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12833/2269/Pinto Medina%2C Juan Percy_ Figueroa Ttito%2C Juan José _Tesis_Licenciatura_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uarm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12833/2269/Pinto_Medina%2C_Juan_Percy_Figueroa_Ttito%2C_Juan_Jos%C3%A9_Tesis_Licenciatura_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ramírez, C. A. C. (2015). Diseño y simulación de hidroturbina con álabes superpuestos para generar electricidad en río Ucayali. *Gaceta Científica*, 1(3), 301–307.
<https://doi.org/10.46794/GACIEN.1.3.994>
- Ramos, H. R., Ramos, S. J., & Sánchez, G. A. (2020). *Diseño de una turbina tipo sin fin para la iluminación del parque de Villa El Sol - La Oroya 2020* [Universidad Continental]. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/9746>
- Rodríguez, B. L. R. (2018). *Diseño, Construcción y Optimización de turbinas Hidrocinéticas de ríos y canales para Generación de Energía Eléctrica* [Universidad Nacional San Agustín de Arequipa].
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8760?show=full>
- Sáenz, V. J. S., & Macías, R. D. F. (2016). *Diseño y Construcción de un Prototipo de Aerogenerador Eólico de eje vertical soportado por cojinetes magnéticos* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas].
[https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3644/DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE TURBINA EÓLICA CON SUSPENSIÓN MAGNÉTICA.pdf?sequence=1](https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3644/DISEÑO_Y_CONSTRUCCIÓN_DE_UN_PROTOTIPO_DE_TURBINA_EÓLICA_CON_SUSPENSIÓN_MAGNÉTICA.pdf?sequence=1)
- Tenorio, Z. N. G. (2005). *Diseño e Implementación de un Prototipo de una Picocentral Hidráulica para uso Rural*. Escuela Politecnica del Ejercito Sede Latacunga.
- Valdivia, A. G. R. (2018). *Propuesta Diseño de Turbina de Gas para Turbina de Gas Prototipo* [Universidad Veracruzana].
https://www.uv.mx/veracruz/miapplicada/files/2021/07/Tesis_Gabriel-Rogelio-



Valdivia-Aguilar-.pdf

Ventura, F. D. K. (2018). *Facultad de ingeniería, arquitectura y urbanismo*

[Universidad Privada Señor de Sipán].

<https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/4874/Ventura>

Falla.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Villacrés, S. A. R. (2018). *Diseño y construcción de un prototipo de turbina Wells para*

la generación de energía [Universidad Técnica de Ambato].

<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29635>

Zamora, J. M. Á. (2017). *Prototipo de nano turbina para la generación de energía*

eléctrica a partir de la captación de lluvia en zonas urbanas [Universidad

Autónoma del Estado de México].

<https://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/67819/1> Prototipo de nano

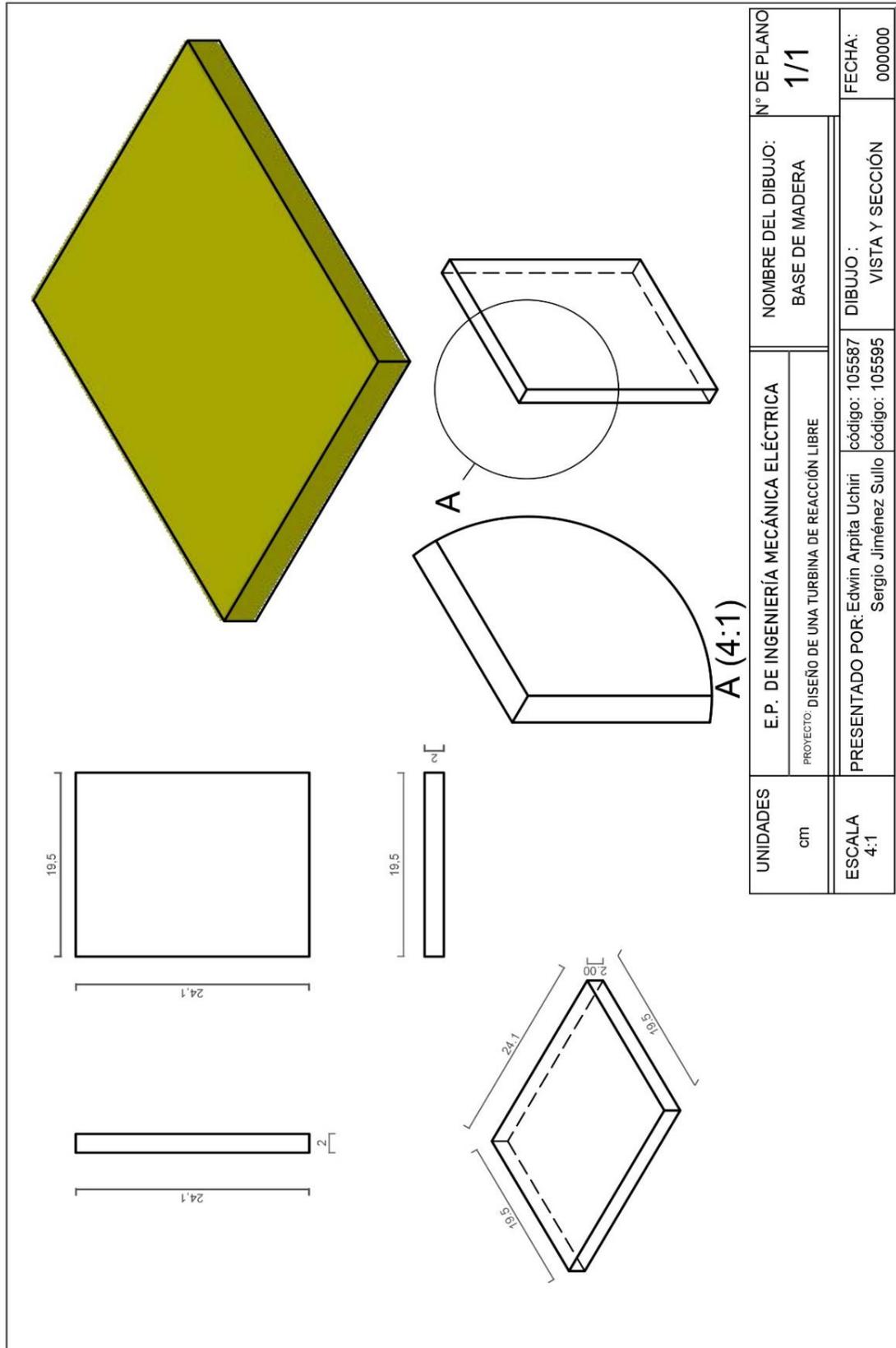
turbina para la generacion de energia electrica a partir de la captacion de agua de

lluvia en zonas

urbanas.pdf;jsessionid=0031ACC88FC0B78B0F4A41B87D815589?sequence=1

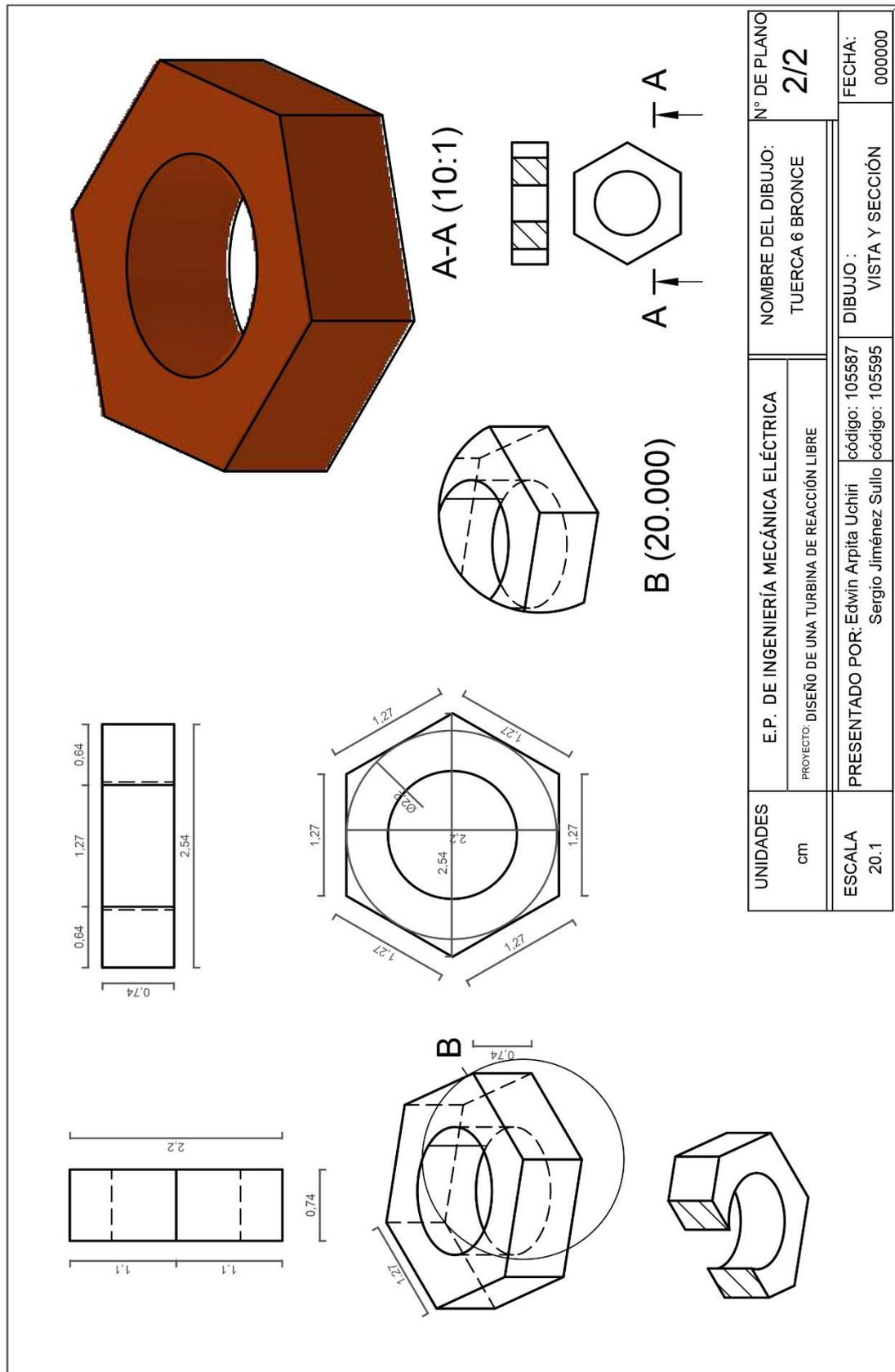
ANEXOS

Anexo 1: Diseño de la Base de Madera para el prototipo



Elaborado por el equipo de trabajo

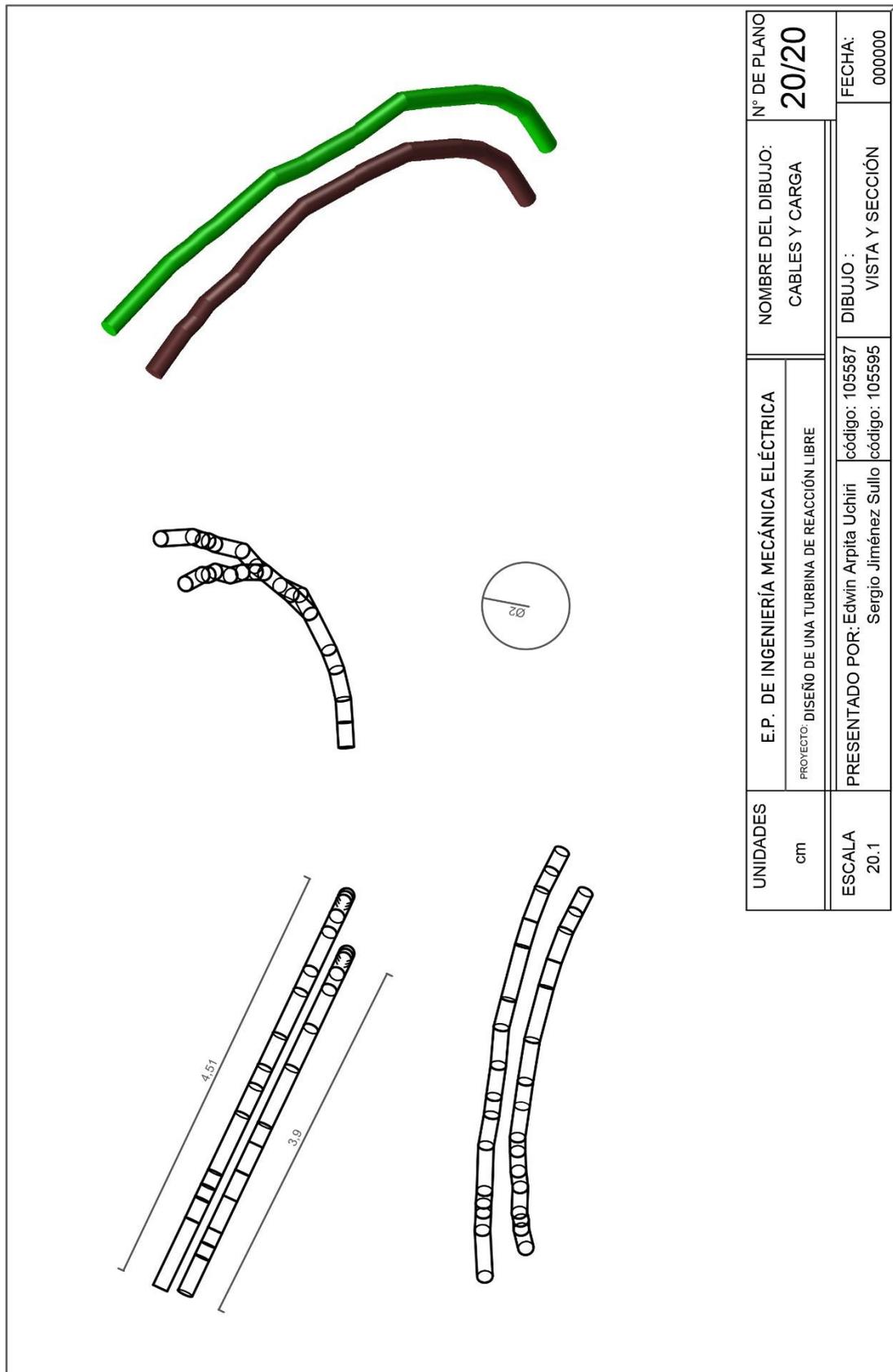
Anexo 2: Diseño de la Tuerca de 15.24 cm Bronce



UNIDADES	E. P. DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA	NOMBRE DEL DIBUJO: TUERCA 6 BRONCE	N° DE PLANO 2/2
	cm		
ESCALA 20:1	PRESENTADO POR: Edwin Arpita Uchiri Sergio Jiménez Sullo	DIBUJO : VISTA Y SECCIÓN	FECHA: 000000

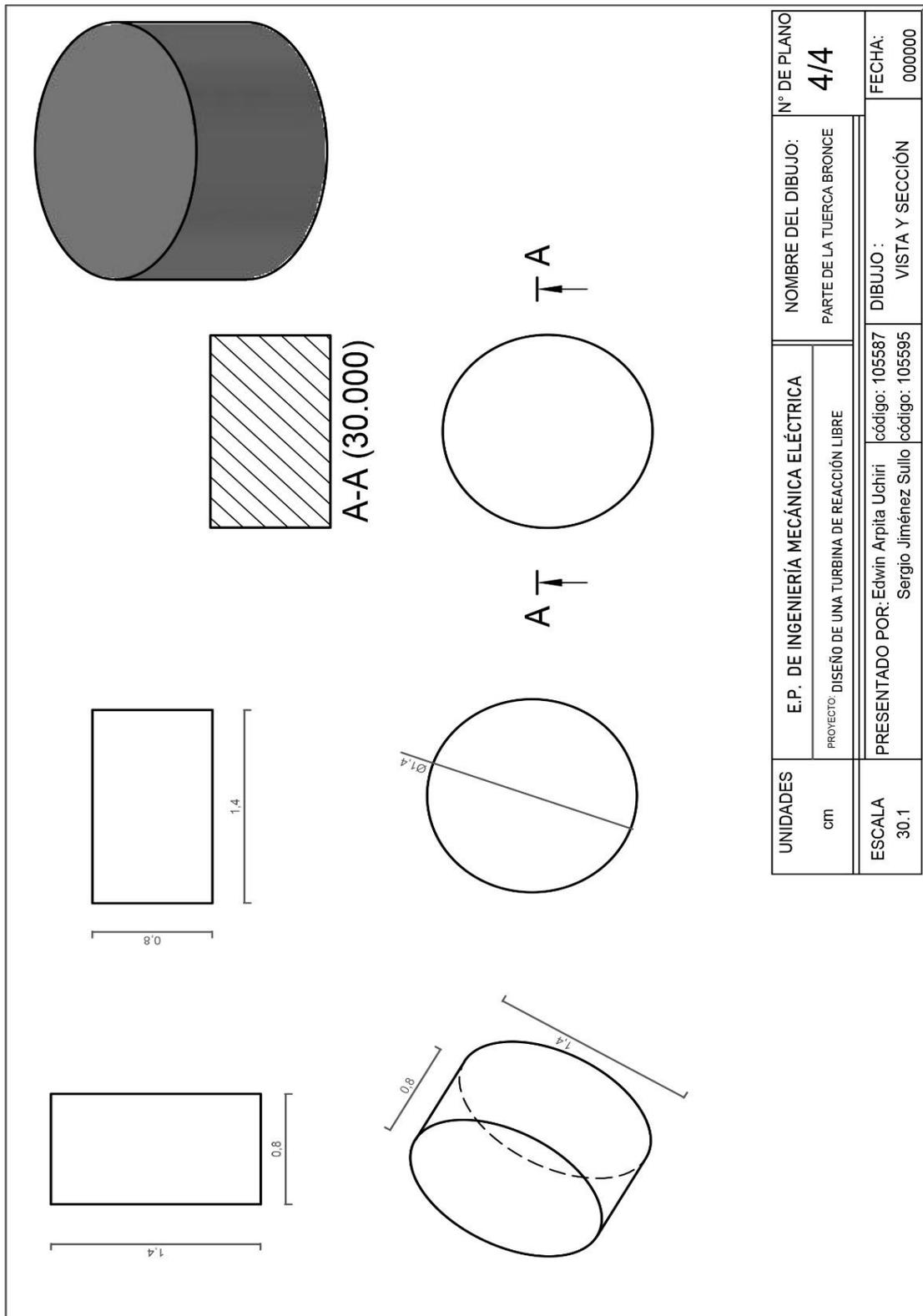
Elaborado por el equipo de trabajo

Anexo 3: Diseño de Cables color Verde y Café y Carga



Elaborado por el equipo de trabajo

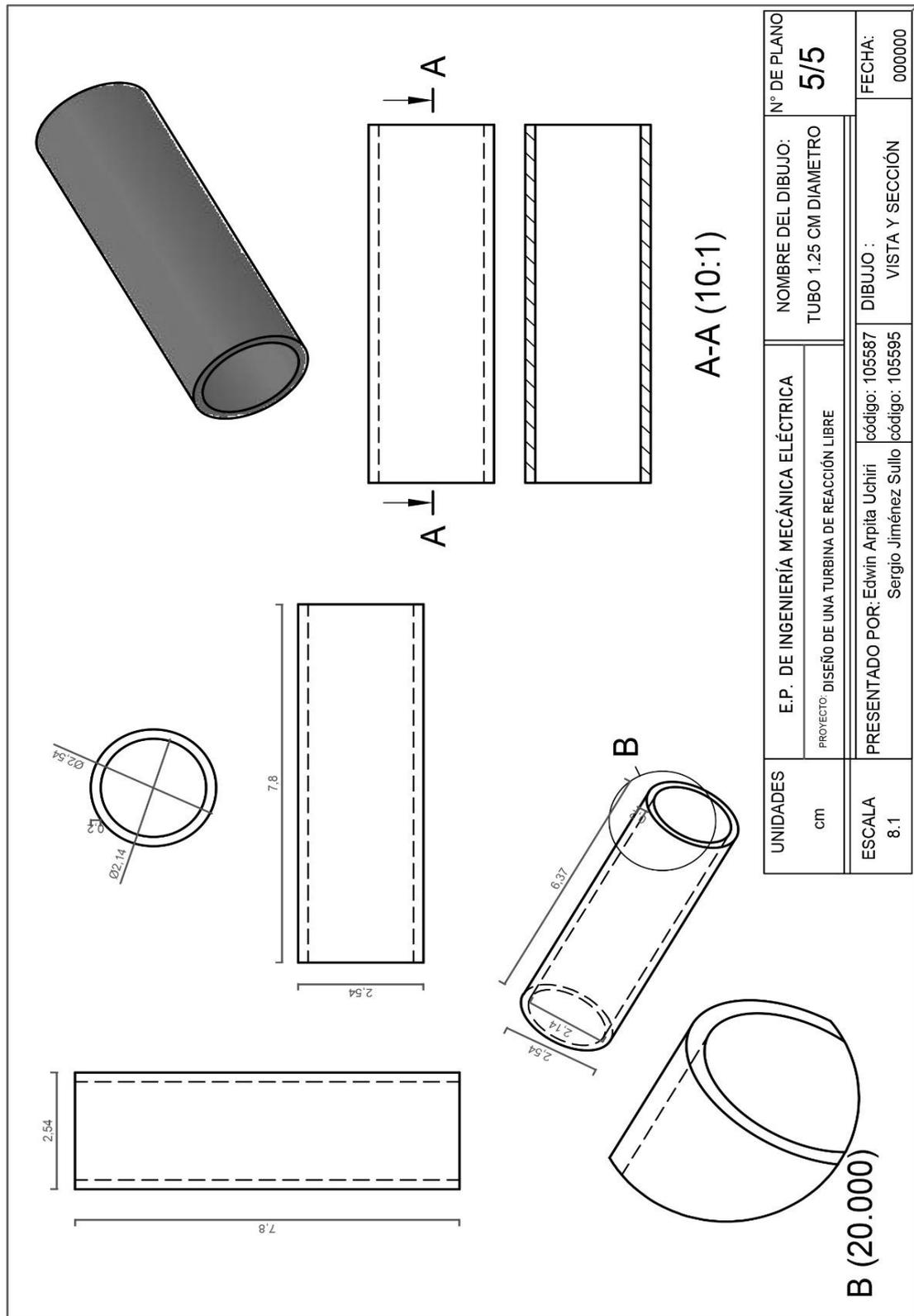
Anexo 4: Diseño de la Parte de la Tuerca Bronce



UNIDADES	E.P. DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA		NOMBRE DEL DIBUJO:		N° DE PLANO
	PROYECTO: DISEÑO DE UNA TURBINA DE REACCIÓN LIBRE		PARTE DE LA TUERCA BRONCE		4/4
cm	PRESENTADO POR: Edwin Arpita Uchiri Sergio Jiménez Sullo		DIBUJO :		FECHA:
ESCALA 30.1	código: 105587 código: 105595		VISTA Y SECCIÓN		000000

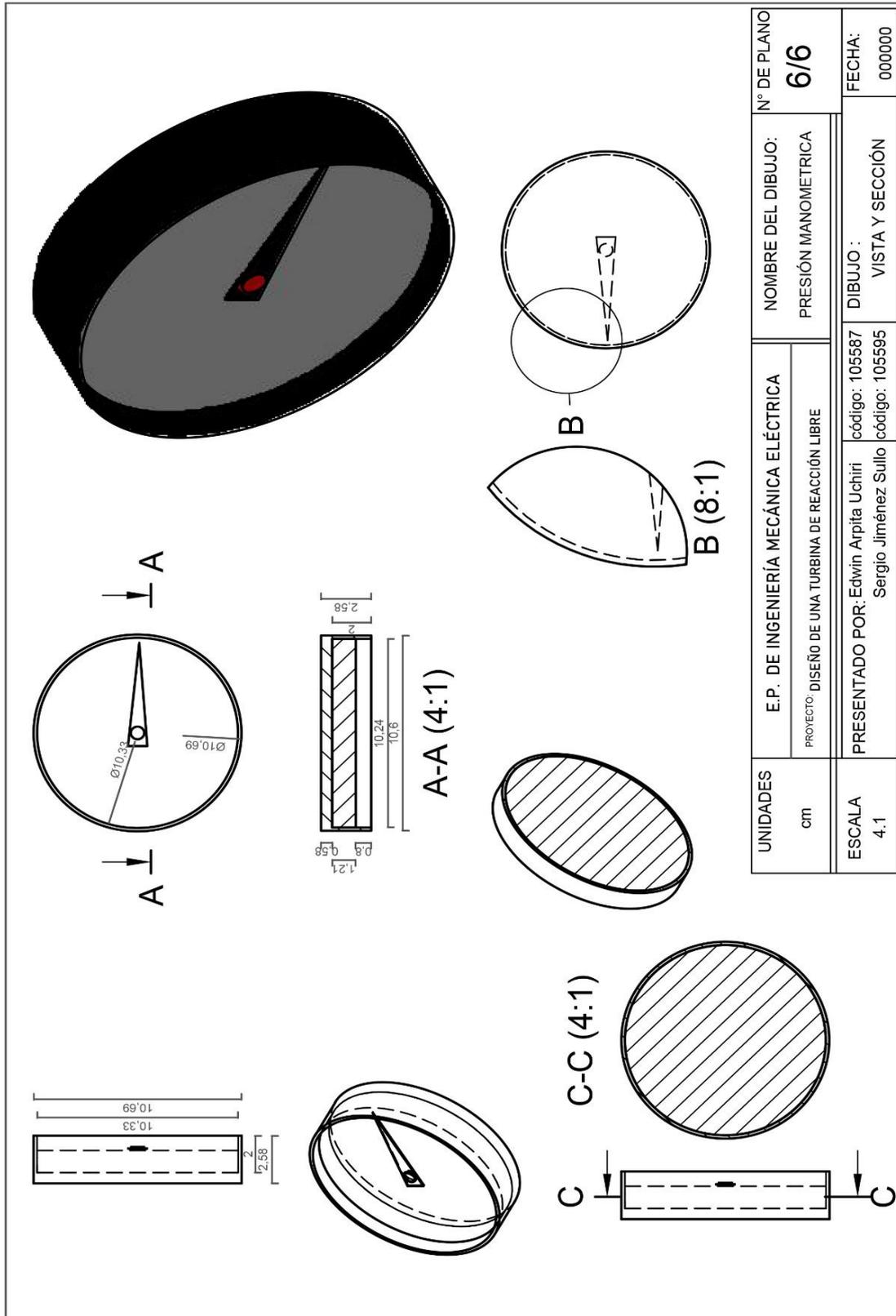
Elaborado por el equipo de trabajo

Anexo 5: Diseño del Tubo 1.25 cm PVC



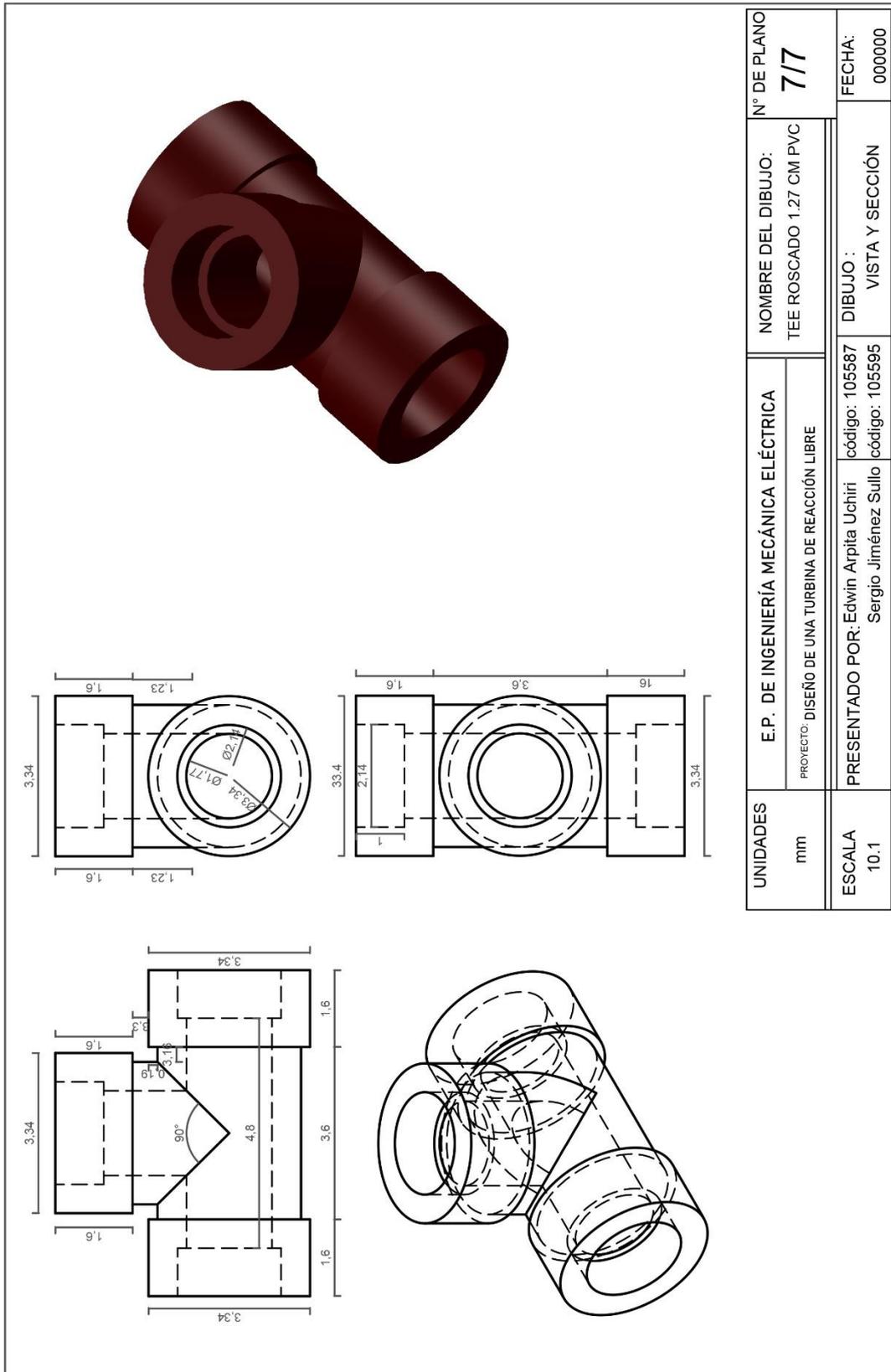
Elaborado por el equipo de trabajo

Anexo 6: Diseño del Instrumento de Presión Manométrica



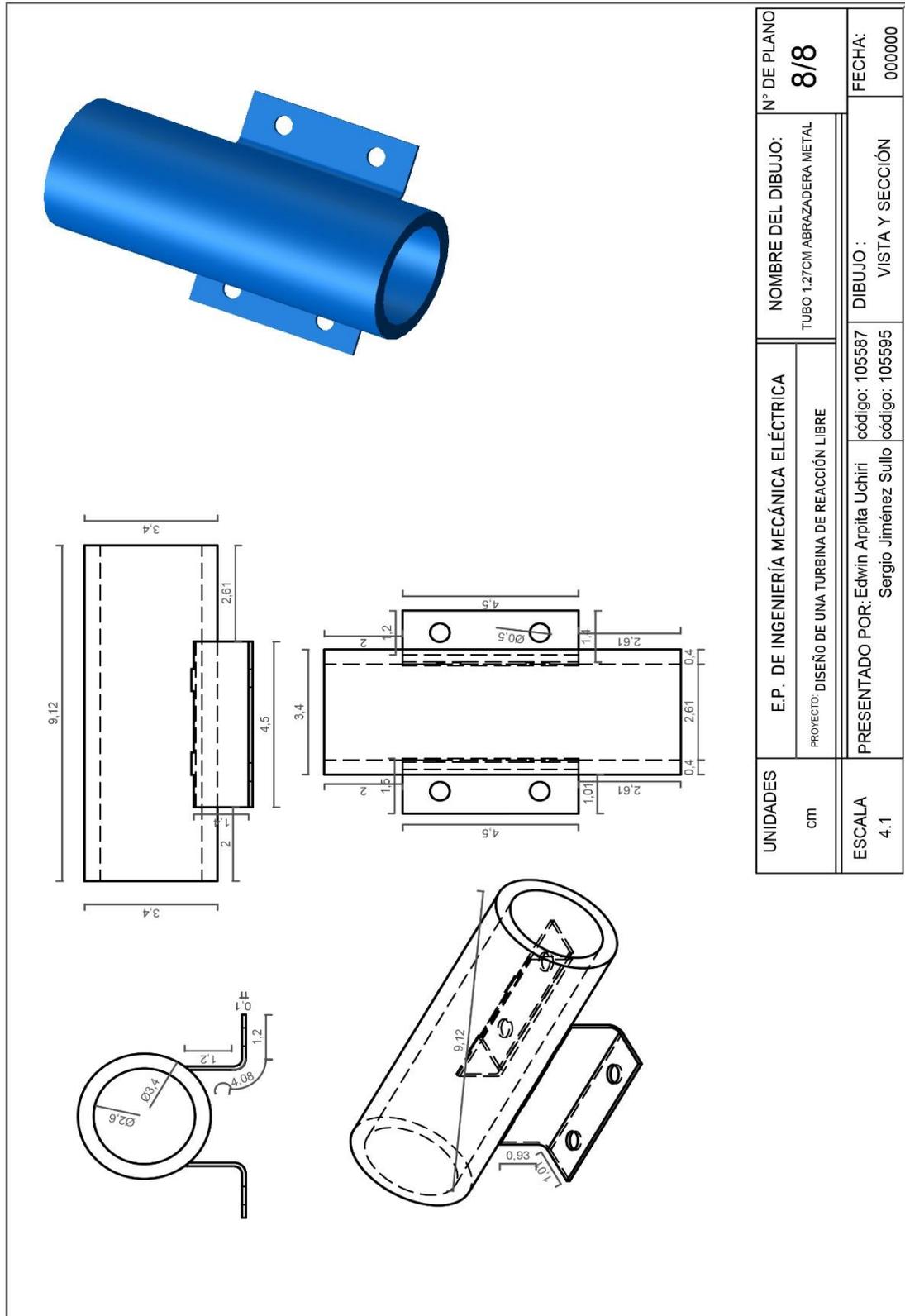
Elaborado por el equipo de trabajo

Anexo 7: Diseño del T de 1.25 cm PVC



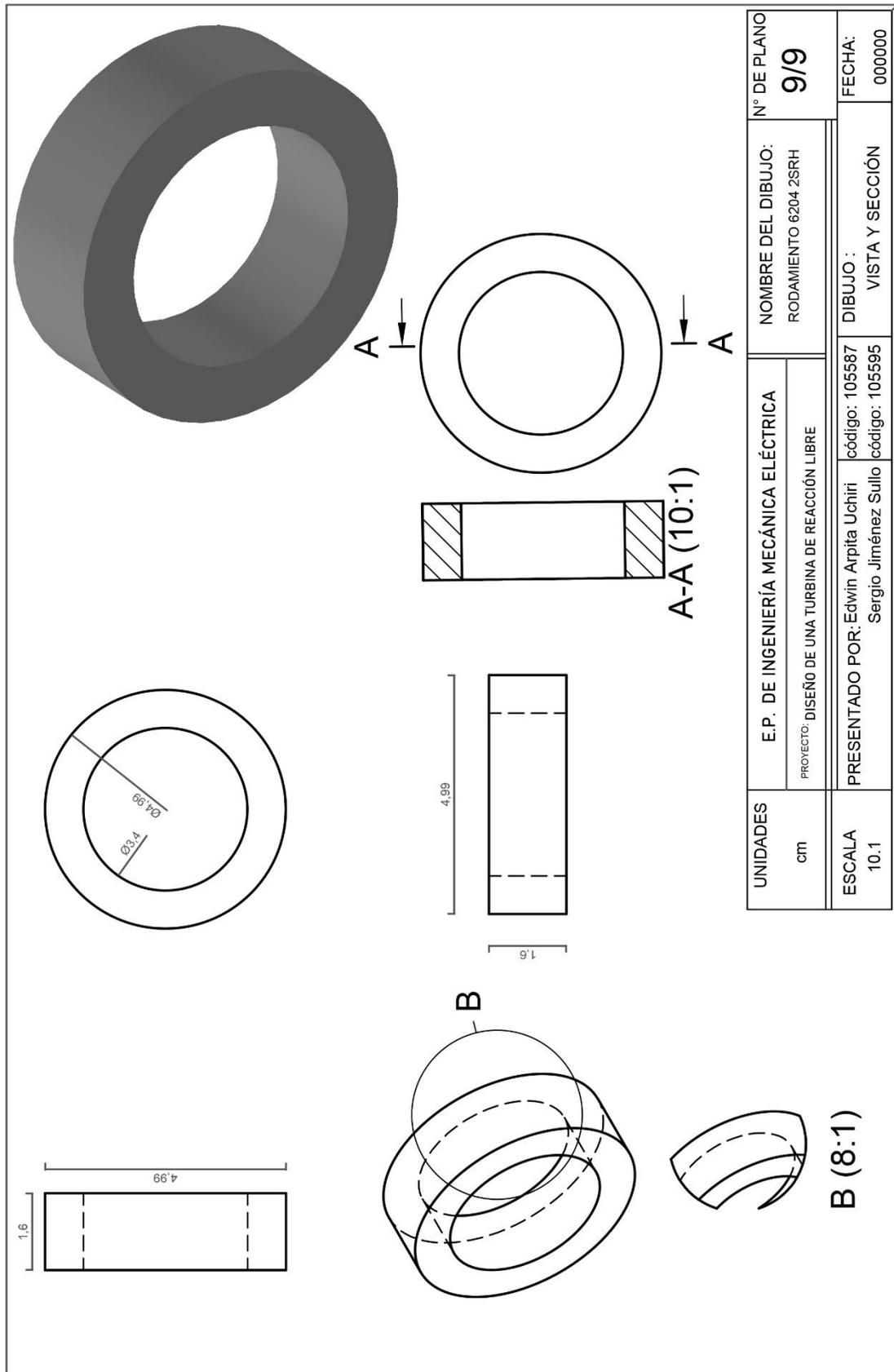
Elaborado por el equipo de trabajo

Anexo 8: Diseño del Tubo 1.27 cm Abrazadera Metal



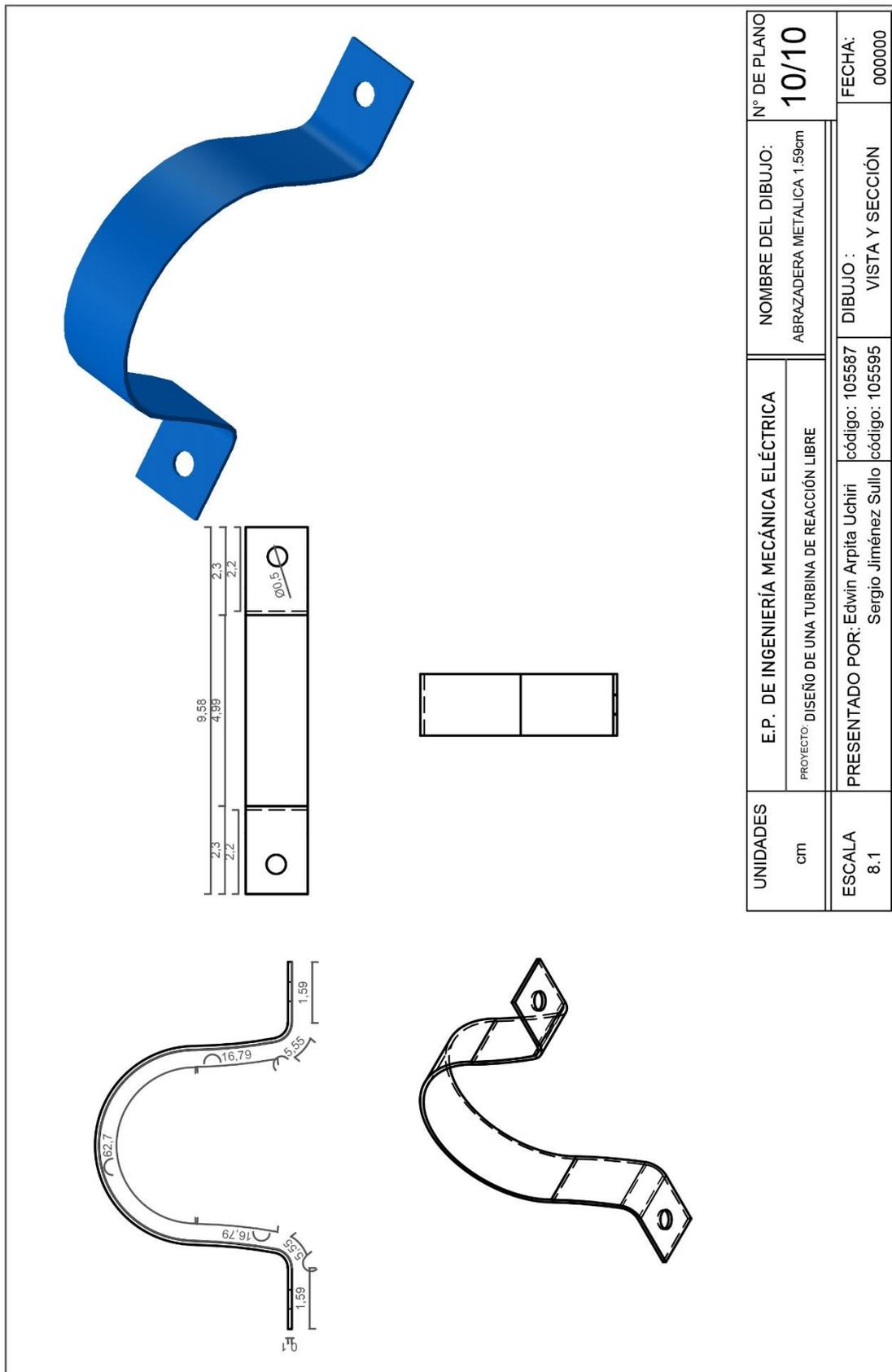
Elaborado por el equipo de trabajo

Anexo 9: Diseño del Rodamiento 6204 2SRH



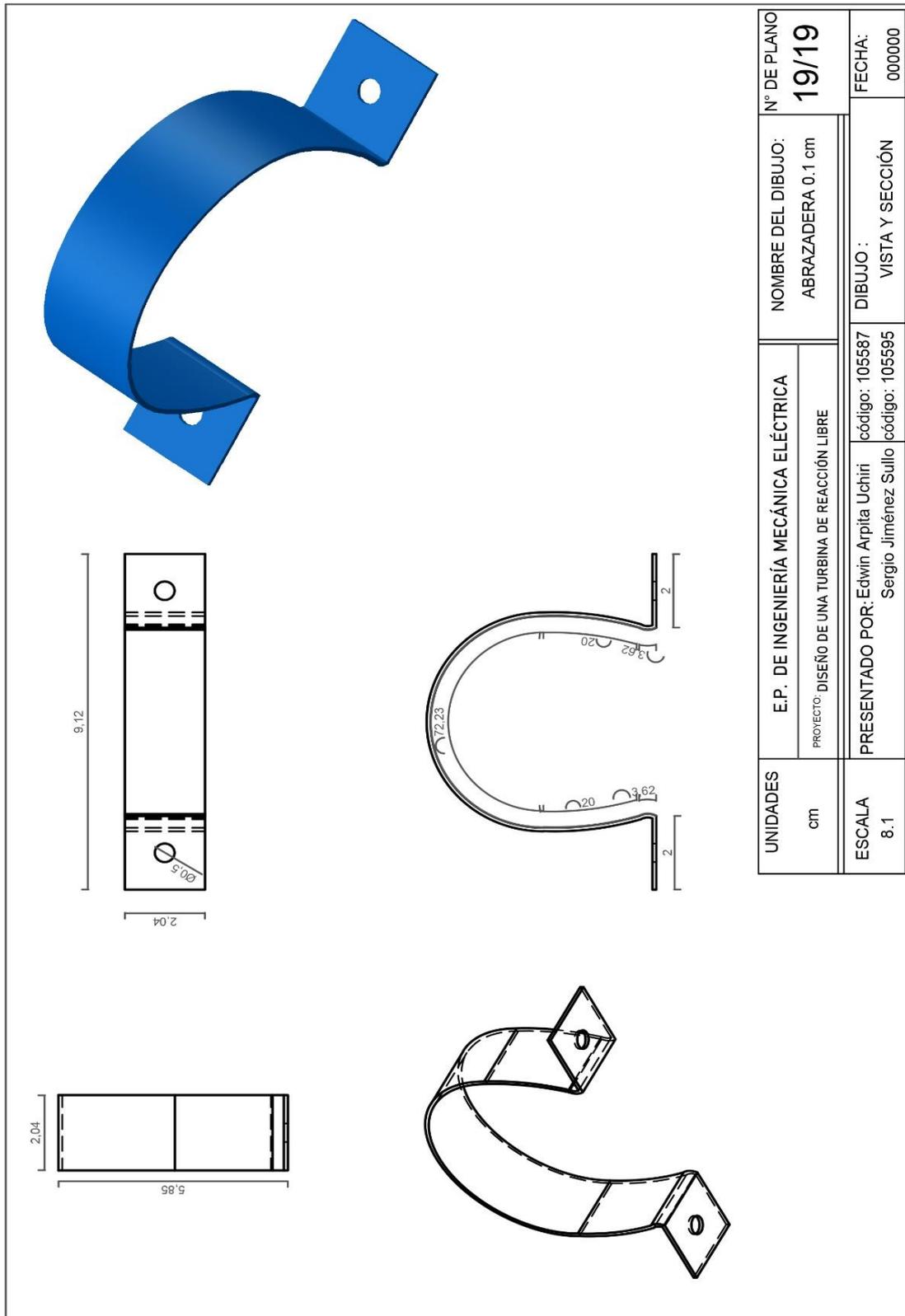
Elaborado por el equipo de trabajo

Anexo 10: Diseño del Abrazadera Metálica 1.59 cm



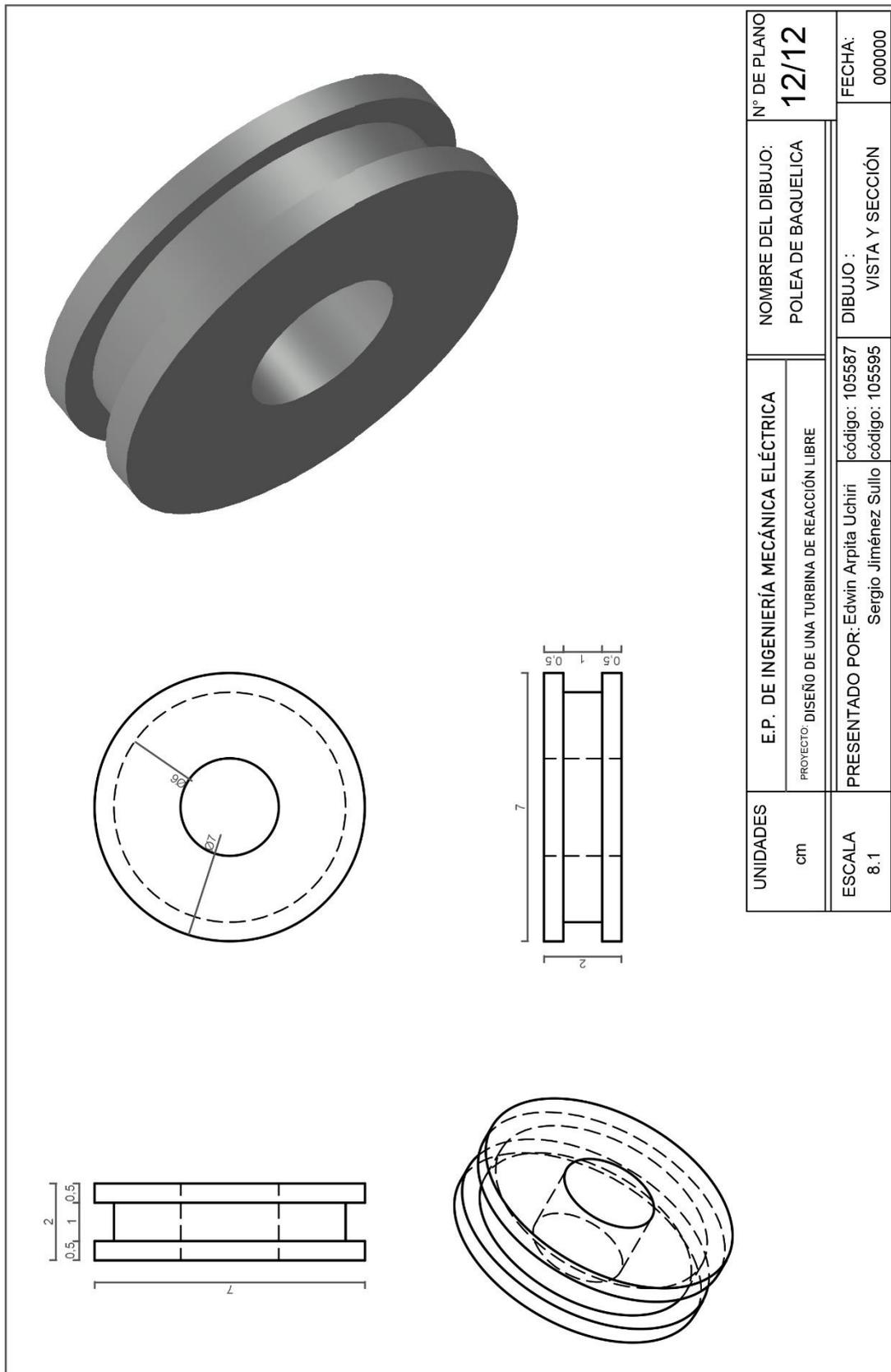
Elaborado por el equipo de trabajo

Anexo 11: Diseño de la Abrazadera Metálica 0.1 cm



Elaborado por el equipo de trabajo

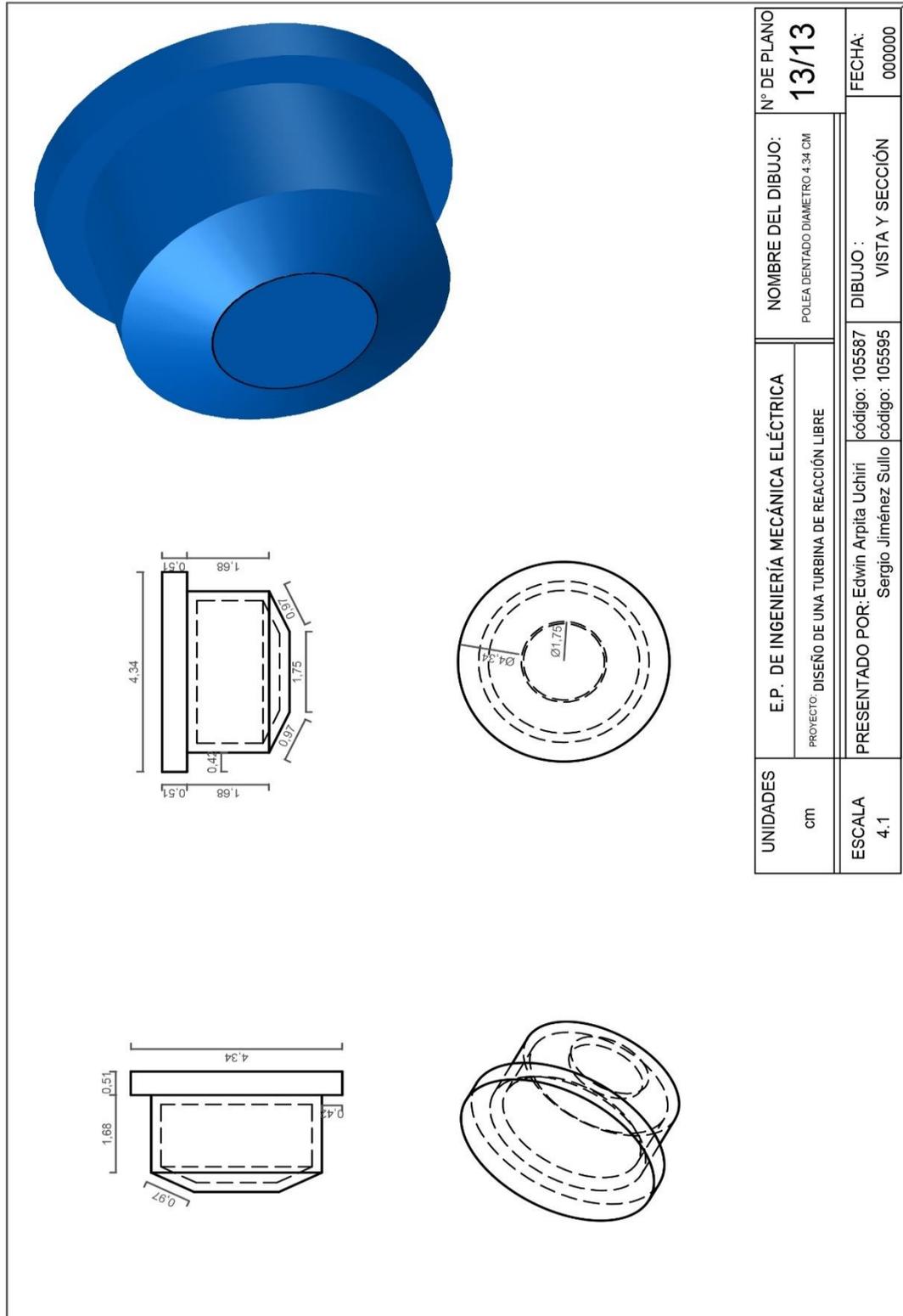
Anexo 12: Diseño del Polea de Baquelita



UNIDADES	E.P. DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA		NOMBRE DEL DIBUJO: POLEA DE BAQUELITA	N° DE PLANO 12/12
	cm	PROYECTO DISEÑO DE UNA TURBINA DE REACCIÓN LIBRE		
ESCALA 8.1	PRESENTADO POR: Edwin Arpita Uchiri Sergio Jiménez Sullo		DIBUJO : VISTA Y SECCIÓN	FECHA: 000000
		código: 105587 código: 105595		

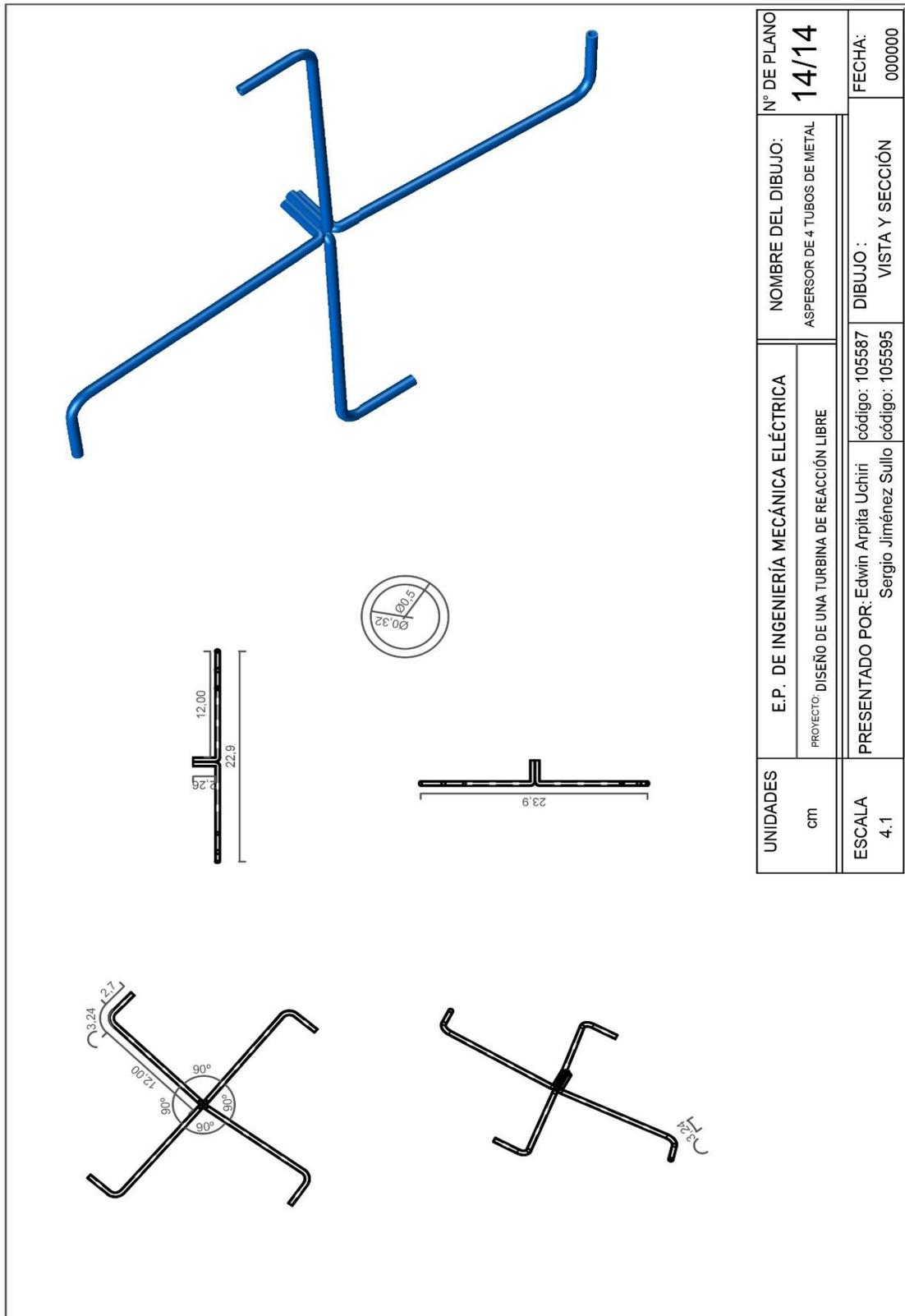
Elaborado por el equipo de trabajo

Anexo 13: Diseño del Polea de Diámetro 4.34 cm



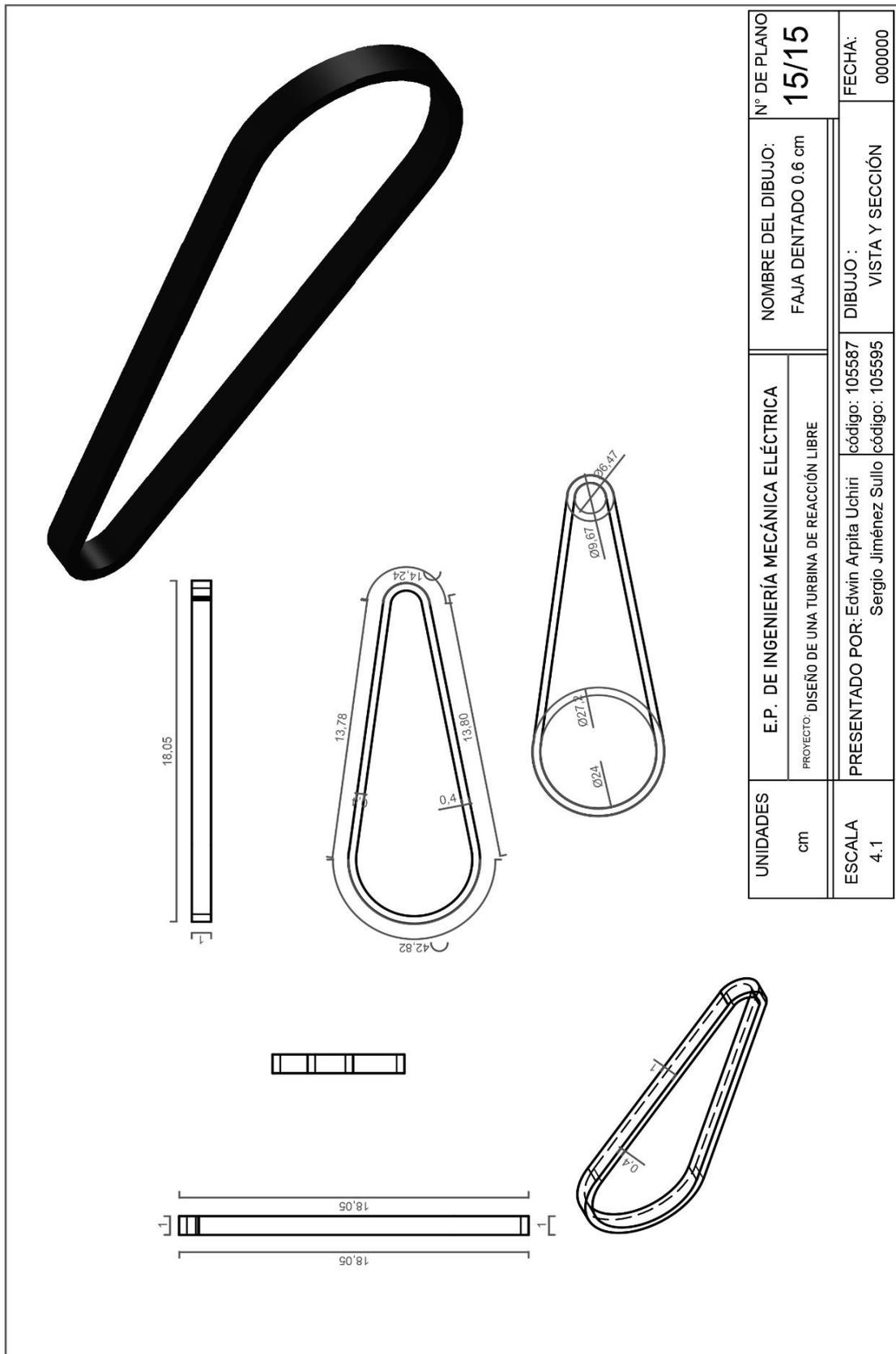
Elaborado por el equipo de trabajo

Anexo 14: Diseño de la Turbina de Reacción Libre



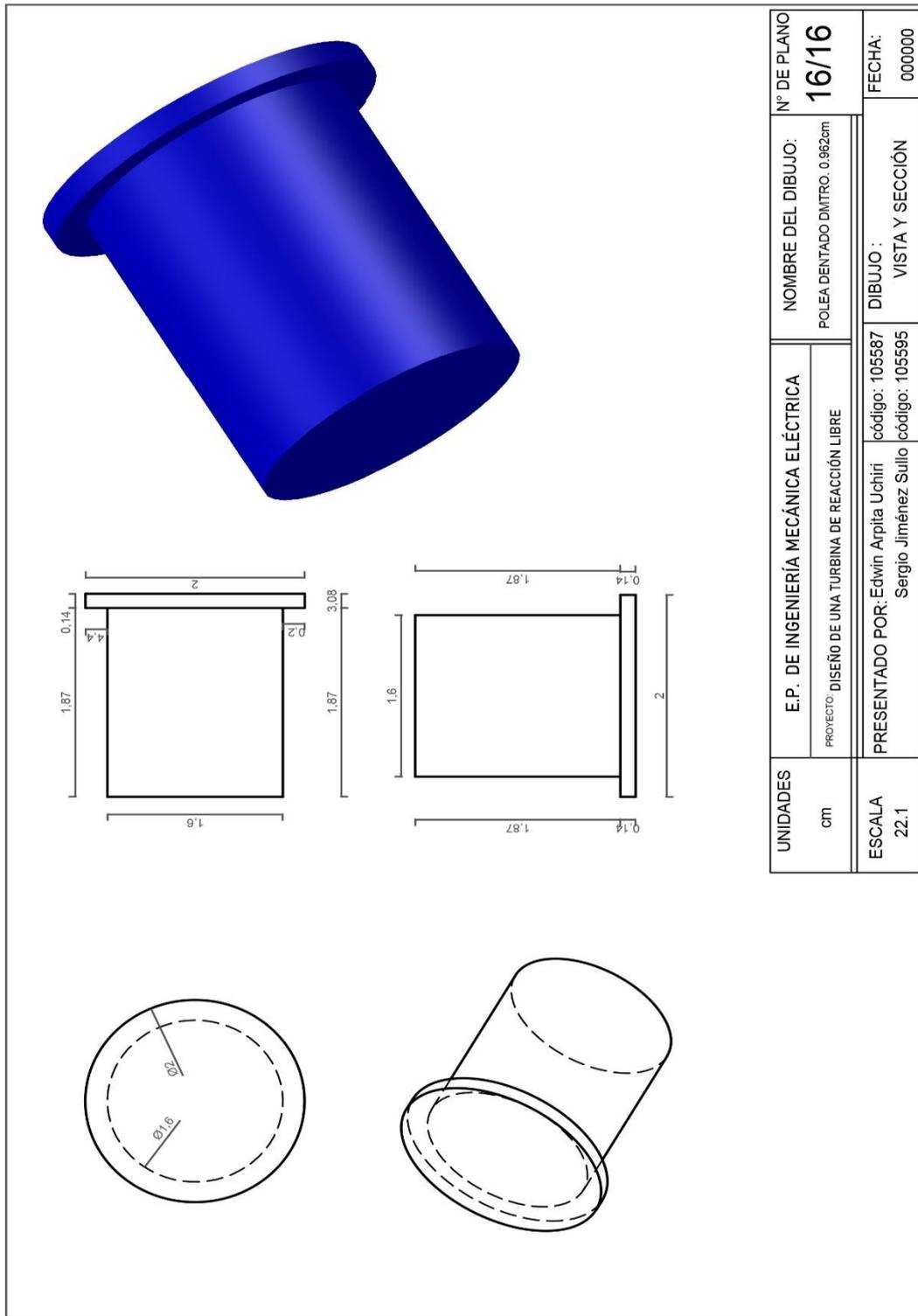
Elaborado por el equipo de trabajo

Anexo 15: Diseño de faja de 0.6 cm



Elaborado por el equipo de trabajo

Anexo 16: Diseño de la Polea Dentado de 0.962 cm



UNIDADES	E.P. DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA	NOMBRE DEL DIBUJO:	Nº DE PLANO
	cm	POLEA DENTADO DMITRO. 0.962cm	16/16
ESCALA	PROYECTO: DISEÑO DE UNA TURBINA DE REACCIÓN LIBRE	DIBUJO:	FECHA:
	22.1	PRESENTADO POR: Edwin Arpita Uchiri Sergio Jiménez Sullo	VISTA Y SECCIÓN 000000

Elaborado por el equipo de trabajo

Anexo 18: Planos de diseño del sistema de generación

The image contains four technical drawings of a mechanical system. At the top left is a 3D perspective view of a yellow rectangular housing with a blue shaft and a black spherical component. Below it is a cross-sectional view showing internal components with various dimensions in millimeters. To the right is a top-down view of the assembly with dimensions. At the bottom left is another cross-sectional view from a different angle. At the bottom right is a wireframe model of the assembly, showing the internal structure and dimensions.

UNIDADES	E. P. DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA	DIBUJO :	N° DE PLANO
cm	PROYECTO: DISEÑO DE UNA TURBINA DE REACCIÓN LIBRE	VISTAS	1
ESCALA	PRESENTADO POR: Edwin Arpita Uchiri	NOMBRE DEL DIBUJO:	FECHA:
4:1	Sergio Jiménez Sullo	DESCRIPCIÓN 1	000000

Elaborado por el equipo de trabajo

Anexo 19: Planos de diseño del sistema de generación - partes

UNIDADES	E.P. DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA	DIBUJO :	N° DE PLANO
cm	PROYECTO: DISEÑO DE UNA TURBINA DE REACCIÓN LIBRE	PRINCIPAL 2	2
ESCALA 4:1	PRESENTADO POR: Edwin Alpita Uchiri Sergio Jiménez Sullo	código: 106587 código: 106595	NOMBRE DEL DIBUJO: DESCRIPCIÓN 2
			FECHA: 000000

LEYENDA	
1	ABRAZADERA METÁLICA
2	TAPA DE METAL PARA EL MOTOR
3	MANÓMETRO
4	BASE DE MADERA
5	TUBO DE ABRAZADERA DE METAL DE 1,27 CM.D.
6	TUBO DE 1,27 CM PVC
7	PORTE DE LA TUERCA DE BRONCE
8	T DE 1,27 CM DE DIÁMETRO PVC
9	TUERCA DE BRONCE
10	RODAMIENTO
11	TUERCA CUADRADO DE BRONCE
12	FOTO
13	TUBO DE 1,27 CM DE DIÁMETRO PVC
14	ABRAZADERA 0,1 CM DE DIÁMETRO
15	POLEA DENTADO DIÁMETRO 0,962 CM
16	POLEA DE VAQUEJETA
17	ASPIRSOR DE 4 TUBOS DE METAL
18	FAJA DENTADO 0,8 CM
19	IGNITOR
20	CABLES Y CARGA
21	TUERCAS

Elaborado por el equipo de trabajo

Anexo 20: Panel Fotográfico

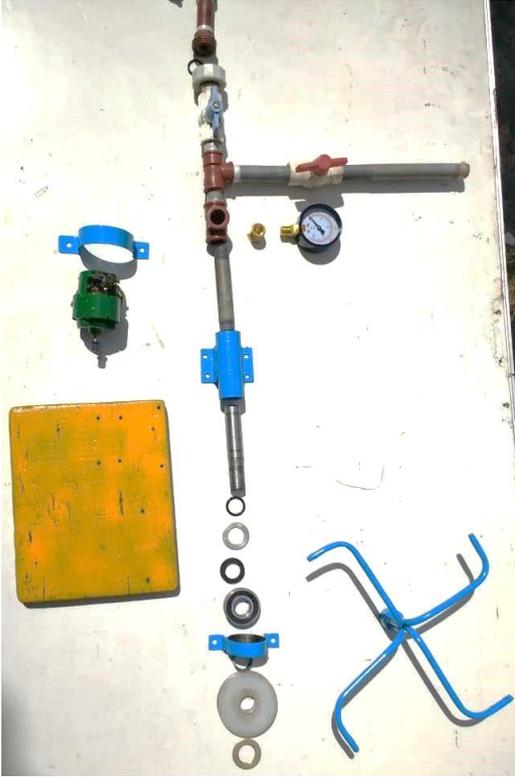
Foto N° 01	Foto N° 02
	
<p>Elementos del sistema de generación con la Turbina de Reacción Libre</p>	<p>Preparación del sistema de generación con la Turbina de Reacción Libre</p>
Foto N° 03	
	
<p>Instalación de los Elementos del sistema de generación con la Turbina de Reacción Libre</p>	

Foto N° 04	Foto N° 05
	
Operación del sistema de generación con la Turbina de Reacción Libre	Operación del sistema de generación con la Turbina de Reacción Libre
Foto N° 06	
	
Instalación de los Elementos del sistema de generación con la Turbina de Reacción Libre	