

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**

**DISEÑO DE PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA
QUEBRADA TUMBILLAN, DISTRITO DE LAS PIRIAS
PROVINCIA DE JAÉN – 2024**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autores: Bach. Sarmiento Yajamanco Jhonatan Yanpoul

Bach. Vega Llamó Osmar

Asesor: Dr. Edwin Carlos Lenin Félix Poicon

Línea de investigación: Energías Alternativas

JAÉN, PERÚ

2024

Jhonatan Y. Sarmiento Yajamanco; Osmar Vega Lla...

DISEÑO DE PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA QUEBRADA TUMBILLAN, DISTRITO DE LAS PIRIAS PROVINC...

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3224912704

72 Páginas

Fecha de entrega
22 abr 2025, 9:42 a.m. GMT-5

9254 Palabras

Fecha de descarga
22 abr 2025, 9:45 a.m. GMT-5

47.289 Caracteres

Nombre de archivo
co_y_Osmar_Vega_Llamo_-_JHONATAN_YANPOUL_SARMIENTO_YAJAMANCO.pdf

Tamaño de archivo
2.7 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN

Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería

7% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Small Matches (less than 15 words)

Top Sources

- 7% Internet sources
- 1% Publications
- 4% Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN

Dr. Alexander Huamán Mera
Profesor en la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día martes 25 de marzo del 2025, siendo las 17:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Dr. José Gerardo Saavedra Carrasco
Secretario : Dr. Walter Linder Cabrera Torres
Vocal : Mg. Juan Antonio Labrín Romero

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "DISEÑO DE PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA QUEBRADA TUMBILLAN, DISTRITO DE LAS PIRIAS PROVINCIA DE JAÉN – 2024".

Presentado por los bachilleres: **Sarmiento Yajamanco Jhonatan Yanpoul y Vega Llamo Osmar**, de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

- (X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (17) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 18:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando con la suscripción de la presente.


Dr. José Gerardo Saavedra Carrasco
Presidente Jurado Evaluador


Dr. Walter Linder Cabrera Torres
Secretario Jurado Evaluador


Mg. Juan Antonio Labrín Romero
Vocal Jurado Evaluador

“AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA”

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

DE LA TESIS

Nosotros, Sarmiento Yajamanco Jhonatan Yanpoul, identificado con DNI 70106567 y Osmar Vega Llamo, identificado con DNI 71203588 egresados de la carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén.

Declaramos bajo juramento que:

1. Somos los Autores del trabajo titulado: “DISEÑO DE PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA QUEBRADA TUMBILLAN, DISTRITO DE LAS PIRIAS PROVINCIA DE JAÉN, 2024”. Asesorado por Dr. Edwin Carlos Lenin Félix Poicon. El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis para optar; el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.
2. El texto de nuestro trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de nuestro trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presentamos no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuimos a nuestra autoría son veraces.
5. Declaramos que nuestro trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Somos conscientes de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumimos frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 07, mayo 2025.




JHONATAN YANPOUL SARMIENTO YAJAMANCO
CEL : 943789039
CORREO :Jhonatan.sarmiento@unj.edu.pe




OSMAR VEGA LLAMO
CEL : 925034216
CORREO : Osmar.vega@est.unj.edu.pe

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. MATERIALES Y MÉTODOS	5
2.1. Objeto de estudio.....	5
2.2. Ubicación del área de estudio	5
2.3. Materiales.....	5
2.4. Métodos.....	6
III. RESULTADOS.....	8
3.1. Estimación de demanda general.....	8
3.2. Determinación de caudal.....	8
3.2.1. Método del Flotador.....	9
3.2.2. Trabajo en gabinete	11
3.3. Tubería de presión.....	14
3.3.1. Diámetro interior de la tubería	14
3.3.2. Cálculos de la velocidad del agua	16
3.3.3. Cálculo de las pérdidas en la tubería.....	16
3.4. Selección de Turbina.....	23
3.4.1. Potencia nominal en la turbina.....	24
3.4.2. Potencia mecánica del sistema	24
3.4.3. Potencia eléctrica	24
3.4.4. Parámetros del mecanismo de diseño de la turbina.....	26
3.5. Parámetros del generador eléctrico	41
3.5.1. Cálculo de capacitancia para excitación	42
3.5.2. Transmisión Generador – Turbina	44

3.6. Cámara de carga	45
3.7. Evaluación de costos	46
3.7.1. Coste para la cámara de captación	46
3.7.2. Costos para la generación.....	47
3.7.3. Costo de tubería, acero	48
3.7.4. Costos de accesorios y pernería	48
3.7.5. Costo por implementación de una turbina michell banki.....	49
IV. DISCUSIÓN.....	51
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	54
VII. DEDICATORIA.....	56
VIII. AGRADECIMIENTO	57
IX. ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1:	Demanda referencial del sector Tinguillan.....	8
Tabla 2:	Datos del tramo.....	11
Tabla 3:	Tiempos cronometrados.....	13
Tabla 4:	Tabla resumen de valores calculados.....	34
Tabla 5:	Cotas en milímetros de perfil del inyector.....	37
Tabla 6:	Ficha técnica del motor de inducción.....	43
Tabla 7:	Materiales para cámara de captación.....	46
Tabla 8:	Servicios para cámara de captación.....	47
Tabla 9:	Costo de generador.....	47
Tabla 10:	Costo de tuberías y aceros.....	48
Tabla 11:	Accesorios y pernería.....	48
Tabla 12:	Costos resumen.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del área de estudio.....	5
Figura 2: Área promedio de sección del tramo.....	12
Figura 3: Diámetro de tubería comercial.....	15
Figura 4: Propiedades del agua.....	17
Figura 5: Coeficiente de rugosidad.....	18
Figura 6: Coeficientes de pérdidas.....	20
Figura 7: Coeficiente de pérdida en codos.....	21
Figura 8: Selección de turbina.....	25
Figura 9: Rango de aplicación de turbinas hidráulicas.....	27
Figura 10: Diagrama de velocidades para Michell – Banki.....	28
Figura 11: Parámetros y características en turbinas.....	32
Figura 12: Rodete.....	33
Figura 13: Perfil del inyector y alabe directriz.....	36
Figura 14: Diseño de la turbina.....	41
Figura 15: Motor de inducción trifásico.....	42
Figura 16: Esquema de conexión de capacitancia.....	42
Figura 17: Costo por implementación de turbina michell banki.....	49

RESUMEN

Este proyecto de investigación logró cumplir con el objetivo de diseñar un pico central hidroeléctrica en el sector de tunguillan, aprovechando las fuentes hídricas que tiene en su espacio geográfico, la cual es la quebrada de tumbillan, procediendo a la recolección de información para posteriormente evaluarlas y así realizar la propuesta del diseño. Como resultados se cuantificó un caudal de 29 litros por segundo en la quebrada, la cual nos permitió el determinar el diámetro óptimo de 8 pulgadas para la tubería a presión, que dirigirá el agua hacia una turbina Michell Banki de 200 mm de diámetro situada a una diferencia de altura de 6 metros, mencionada turbina girará a 485.61 RPM, la cual mediante poleas transmitirá la energía a un motor de inducción, la cual convertirá la energía mecánica en 1.08 kW de energía eléctrica, el coste del proyecto proyectado total es de S/. 7 947.40 nuevos soles.

Palabras clave: Pico Central Hidroeléctrica, Michell Banki, Energía eléctrica, Turbinas Hidraulicas.

ABSTRACT.

This research project managed to meet the objective of designing a hydroelectric power plant peak in the Tinguillan sector, taking advantage of the water sources it has in its geographical space, which is the Tumbillan ravine, proceeding to the collection of information to later evaluate them and thus make the design proposal. As results, a flow rate of 29 liters per second was quantified in the stream, which allowed us to determine the optimal diameter of 8 inches for the pressure pipe, which will direct the water to a Michell Banki turbine of 200 mm in diameter located at a height difference of 6 meters, said turbine will rotate at 485.61 RPM. which through pulleys will transmit the energy to an induction motor, which will convert the mechanical energy into 1.08 kW of electrical energy, the total cost of the projected project is S/. 7,947.40 nuevos soles.

eywords: Pico Hydroelectric Power Plant, Michell Banki, Electric power, Hydraulic Turbines.

I. INTRODUCCIÓN

La electrificación rural en el Perú, pretende enfocarse en la igualdad de los derechos ciudadanos, en particular en el acceso al servicio básico de electricidad a la vivienda, solucionando de esta forma las innumerables brechas existentes en infraestructura entre las zonas urbanas y las áreas rurales y de frontera del país, incorporando a sus beneficiarios al mercado, al consumo y al desarrollo, con el fin de disminuir la pobreza. (Ministerio de energía y minas, 2023).

La energía eléctrica es un elemento fundamental para el desarrollo de la sociedad, no obstante, existen zonas rurales donde aún no se implementa este servicio o también se da el caso de que cuentan con el servicio, pero tiene que pagar altas tarifas que muchas veces no pueden ser costeadas por los pobladores.

Este proyecto fue impulsado por la necesidad de los pobladores del caserío San Juan de Tinguillan a acceder a un suministro eléctrico constante y de bajas tarifas, puesto que ya cuenta con energía eléctrica, sin embargo, por ser un caserío rural se producen cortes eléctricos frecuentes que no solo pudieron dañar los artefactos eléctricos en los hogares, sino que también generan imprevistos en temas de estudios ya que actualmente la mayoría de viviendas cuentan con internet que dejó de ser un lujo para convertirse en una necesidad esencial a la hora de estudiar o comunicarse. Todo esto mediante equipos y maquinarias que aprovechan los recursos hídricos adyacentes a la localidad.

En nuestra investigación se observó que pasa adyacente al caserío la quebrada Tumbillan, que provee un caudal aproximado de 0.029 m³/s la que sirvió para el diseño de la turbina y con más cálculos determinar los componentes del pico central hidroeléctrica. El proyecto brinda un respaldo ante interrupciones eléctricas y genera un entorno de investigación y desarrollo explorando fuentes de energía renovables o desarrollando tecnologías innovadoras.

En la investigación de (Bernal & Urriago, 2023), los autores se ven en la necesidad de abastecer energéticamente un galpón avícola, para esto se enfocaron en reconocer y estudiar las partes que conforman una central hidroeléctrica, y así posteriormente, dimensionar los componentes principales y simular el funcionamiento de estas mediante

programas especializados. Tras la evaluación de recursos determinaron que se requería una potencia real de 2 101.99 W, alimentado por un caudal de 0.027 m³/s y el uso de una turbina Kaplan de cuchara fija. Como resultado obtuvieron que la implementación del equipo es viable ya que presenta beneficios en ahorro energético y costes de operación.

Por otro lado (Monteza, 2022) plantea un estudio y análisis del caudal del agua en el río llamado Utcubamba con la finalidad de abastecer de energía eléctrica a las infraestructuras de bombeo de agua para una obra de aplicación de la red de agua potable. El autor en su proyecto de tesis obtuvo como resultados que la demanda eléctrica asciende a 176.61 kW, la pequeña central hidroeléctrica contaría con una potencia activa de 213.37 kW que funcionaría con una turbina michel banki y finalmente como presupuesto de instalación y componentes la cantidad de ascendente a S/ 963 363. 82 nuevos soles, satisfaciendo la demanda eléctrica.

Los objetivos de la investigación son:

Objetivo general:

- Diseñar un pico central hidroeléctrica en la quebrada Tumbillan, las Pirias – Jaén – 2024.

Objetivo específico:

- Realizar un estudio sobre el potencial hídrico de la fuente de agua denominada quebrada Tumbillan.
- Determinar los parámetros del pico central hidroeléctrica en la quebrada Tumbillan usando programas de diseño especializados.
- Evaluar el costo de llevar a cabo el pico central hidroeléctrica en la quebrada Tumbillan.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Objeto de estudio

Como objetivo del proyecto tenemos el suministrar un respaldo energético al sector Tinguillan, provincia de Las pirlas, mediante el diseño de un pico central hidroeléctrica en la quebrada Tumbillan.

2.2. Ubicación del área de estudio

El pico central hidroeléctrica se diseñó para estar ubicada a la ribera de la quebrada Tumbillan donde también se ubica el sector Tinguillan, distrito de Las pirlas, provincia de Jaén. La cual cuenta con las coordenadas $5^{\circ}40'24''S$ $78^{\circ}48'54''W$.

Figura 1

Ubicación del área de estudio



Nota: Adaptado de Google Earth, 2024.

2.3. Materiales

En la aplicación física de esta investigación se hizo uso de los siguientes equipos:

- Motocicleta para el traslado de los tesisistas.
- Laptop HP Pavilion.
- Cámara fotográfica

- Útiles de oficina
- Licencia de software de gratuitos para el diseño y cálculos que conllevo la ejecución del proyecto.
- Cinta métrica
- Esfera flotadora
- Cronometro

Para el diseño del pico central hidroeléctrica se tuvo en cuenta para la selección de materiales las condiciones específicas del sitio, los requerimientos de diseño y condiciones económicas. Considerando los siguientes materiales:

- Concreto armado y acero estructural, fundamentales en la construcción de la infraestructura del pico central hidroeléctrica.
- Tuberías de conducción, para conducir el agua hacia las turbinas.
- Turbinas y generadores de aleación de acero, para garantizar la resistencia a la corrosión y al desgaste.

2.4. Métodos

El tipo de investigación es cuantitativo y experimental, porque consistió en recolección y análisis de datos numéricos con respecto a los materiales utilizados, además de experimentar la capacidad de la máquina que se diseñó.

Se realizó una evaluación descriptiva de las condiciones socioeconómicas y geográficas, esta información se utilizó para la toma de decisiones de los conceptos específicos, los cuales se representan en las siguientes etapas:

Etapa 1: Recopilación de información

- Se realizó el análisis de la zona identificando de la demanda energética y, además, nos capacitamos en el uso de instrumentos para la toma de medidas y cálculos respecto al caudal de la quebrada tumbillan.
- Recopilamos información hidrológica de la quebrada Tumbillan mediante sitios web, no encontrando datos para la investigación, de tal manera que se procedió a utilizar la estimación del caudal por el método de flotadores.

Etapa 2: Evaluación de la información recopilada

- Ejecutamos la evaluación de las condiciones geográficas de la quebrada tumbillan, considerando que esta pueda proporcionar la suficiente energía hidráulica para el pico central hidroeléctrica.
- Seleccionamos un canal con caudal de aprovechamiento que abastezca el pico central hidroeléctrica.

Etapa 3: Realización de diseño

- Mediante los datos obtenidos se realizó el dimensionamiento conceptual del pico central hidroeléctrica.
- Determinamos el presupuesto del proyecto y el alcance de este.

III. RESULTADOS

3.1. Estimación de demanda general

Tabla 1

Demanda referencial del sector Tinguillan

Número de suministro	Consumo por mes (kW)					Consumo promedio (kW)	Consumo total registrado (W)
	May	Jun	Jul	Agos	Set		
			3		4		
36446000	0	44	8	25	1	29.6	2092
36421399	2	0	0	0	0	0.4	197
36421403	0	2	0	0	0	0.4	66
36421405	0	0	0	0	0	0	0
36421411	0	0	0	0	0	0	40
36421412	1	1	1	1	0	0.8	88
36421414	2	2	1	2	1	1.6	143
	Total					0.46 kW	238.71 kW

Nota. Esta tabla muestra el consumo general registrado en los recibos de luz durante los meses de mayo a setiembre del presente año de las viviendas a la ribera de la quebrada Tumbillan, así como también el consumo total registrado desde la instalación de medidores por la empresa estatal de derecho privado Electro Oriente s.a., encontrándose entre estas la Institución Educativa Primaria N° 17516 San Juan de Tinguillan y la casa comunal de este sector.

3.2. Determinación de caudal

Para poder diseñar el pico central hidroeléctrico se determinó la cantidad de agua que circula a lo largo de la quebrada de tumbillan usando la estimación del caudal por método de flotadores; un método de campo, simple y con resultados rápidos. De esta manera se logró calcular con un grupo de operaciones las velocidades en la superficie de la corriente de la mencionada quebrada.

3.2.1. Método del Flotador

El ministerio del ambiente, mediante SENAMHI y la Dirección Regional de Lima presenta la guía de hidrometría en el 2011, la cual pretende apoyar al observador hidrológico en el cálculo de caudales de agua ante la ausencia de un caudalímetro o en situaciones en la cual el personal hidrológico exponga su integridad física.

El uso de flotadores ayuda a determinar la velocidad en la superficie de cualquier corriente de agua a un costo minúsculo e incluso nudo dependiendo del material a usar ya sean botellas plásticas, troncos secos o cualquier objeto que tenga la capacidad de flotar en el agua, sin embargo, esto también trae consigo la desventaja de que no es un método con valores exactos o precisos puesto que solo se está midiendo la velocidad superficial del material que se está usando.

Sin embargo, debido a que no se cuenta con información hídrica de la quebrada tumbillan y no se puede recurrir a la edificación de una estación hidrométrica para el cálculo de esta, es que para la toma de medidas se siguió el procedimiento según (Chamorro, 2011) en su guía de hidrometría para el cálculo del caudal por método de flotadores en la cual se aplican los siguientes puntos:

A. Selección del tramo

Se escogió el tramo de la quebrada en tiempo de estiaje con características óptimas para el desarrollo de la toma de puntos referenciales; un trecho libre de grandes rocas o escombros de ramas y troncos que pudieran afectar la toma de datos, además, con un ancho de quebrada uniforme y con una longitud total de 13 m para la toma de información. Obteniendo: $l = 13 \text{ m}$.

B. Se obtuvo la altura o profundidad promedio mediante la siguiente operación tomada en los puntos:

$$h_p = \frac{p_1+p_2+p_3+p_4+p_5}{5} \dots\dots\dots [1]$$

Donde:

h_p : Profundidad promedio (m)

p_n : Profundidad en el punto n (m)

C. El sondeo de la quebrada nos permitió determinar el ancho promedio de la quebrada mediante el cálculo de:

$$a_m = \frac{a_1+a_2+a_3+a_4+a_5}{5} \dots\dots\dots [2]$$

Donde:

a_m : Ancho promedio (m)

a_n : Ancho en el punto n (m)

D. Para el cálculo del área de la sección de la quebrada se utilizó la ecuación:

$$A_{sec} = a_m * hp \dots\dots\dots [3]$$

Donde:

A_{sec} : Área de la sección (m^2)

a_m : Ancho promedio (m)

hp : Profundidad promedio (m)

E. Se consiguió el cálculo de la velocidad superficial mediante la ecuación:

$$Vel_{superf} = l/t_m \dots\dots\dots [4]$$

Donde:

Vel_{superf} : Velocidad superficial (m/s)

l : longitud del tramo (m)

t_m : Tiempo promedio (s)

F. El cálculo del caudal se efectuó operando:

$$Q = A_{sec} * Vel_{media} \dots\dots\dots [5]$$

Donde:

Q : Caudal del agua ($\frac{m^3}{s}$)

A_{sec} : Área de la sección (m^2)

Vel_{media} : Velocidad media (m/s)

3.2.2. Trabajo en gabinete

Cálculo del área de sección

Los resultados que se tomó de los puntos de referencia para la obtención de área de la sección de la quebrada fueron los presentados en la Tabla 2.

Tabla 2

Datos del tramo

Punto referencia	Profundidad (m)	Ancho (m)
1	0.03	0.5
2	0.035	0.6
3	0.04	0.5
4	0.045	0.45
5	0.05	0.53

Nota. Los datos presentados en la Tabla 2, son puntos referenciales a lo largo del tramo en la quebrada de tumbillan, seleccionado aproximadamente cada 2.6 metros de distancia entre cada uno.

Para el cálculo del área de sección se tuvo que desarrollar las fórmulas [1] y [2] con los datos recolectados en la Tabla 2, dando como resultado:

- Para la profundidad promedio o altura media

$$h_p = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5}{5}$$

$$h_p = \frac{0.03 \text{ m} + 0.035 \text{ m} + 0.04 \text{ m} + 0.045 \text{ m} + 0.05 \text{ m}}{5}$$

$$h_p = 0.04 \text{ m}$$

- Se calculó el ancho promedio

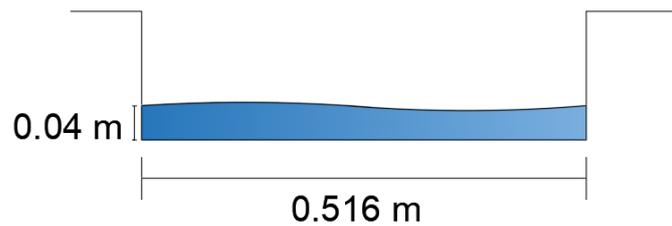
$$a_m = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5}{5}$$

$$a_m = \frac{0.5 \text{ m} + 0.6 \text{ m} + 0.5 \text{ m} + 0.45 \text{ m} + 0.53 \text{ m}}{5}$$

$$a_m = 0.516 \text{ m}$$

Figura 02

Área promedio de sección del tramo



Nota. La figura muestra de manera gráfica y simplificada las medidas promedio de la altura o profundidad y el ancho del tramo promedio de donde se tomaron los datos para la Tabla 2.

- Con la profundidad y ancho promedio se calculó el área de la sección mediante la ecuación [3].

$$A_{sec} = a_m * h_p$$

$$A_{sec} = 0.516 \text{ m} * 0.04 \text{ m}$$

$$A_{sec} = 0.02 \text{ m}^2$$

- Para el cálculo de la velocidad primero fue fundamental la estimación de un tiempo medio, tiempo que se obtuvo mediante la cronometrización de

una esfera plástica parcialmente llena de agua a lo largo del tramo de 13 metros. Mencionados tiempos han sido plasmados en la Tabla 3.

Tabla 3

Tiempos cronometrados

Lanzamiento	Tiempo
f1	7.76
f2	7.55
f3	7.8
f4	7.63
f5	7.6
Tiempo medio	7.668 s

- La velocidad promedio superficial se encontró operando el tiempo promedio que demoró en recorrer el flotador la longitud total del tramo, mediante la formula [4].

$$Vel_{superf} = l/t_m$$

$$Vel_{superf} = 13 \text{ m} / 7.668 \text{ s}$$

$$Vel_{superf} = 1.697 \text{ m/s}$$

El valor de la velocidad media superficial que se obtuvo es la representación de la velocidad promedio en la superficie de la quebrada, medida que nos describe la velocidad recorrida por el flotador desde un punto A hacia un punto B, sin embargo, fue necesario multiplicarla por un coeficiente de corrección que existe entre la velocidad media y la superficial para los diferentes tipos de cauces.

Según los hidrólogos la velocidad media suele variar entre 0.75 y 0.90 veces la velocidad en la superficie dependiendo de las causas naturales

pequeños o grandes del río respectivamente. (Chamorro, 2011). Fue Considerado un coeficiente de corrección de 0.85.

Dando como resultado:

$$Vel_{media} = Vel_{superf} * 0.85 \dots \dots \dots [6]$$

$$Vel_{media} = 1.697 \text{ m/s} * 0.85$$

$$Vel_{media} = 1.44 \text{ m/s}$$

- Cuando se operó la ecuación [5] determinamos el caudal de la quebrada tumbillan, valor que nos permitió determinar parámetros de diseño del pico central hidroeléctrica.

$$Q = A_{sec} * Vel_{media}$$

$$Q = 0.02 \text{ m}^2 * 1.44 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.029 \text{ m}^3/\text{s}$$

Lo que equivaldría a 29 l/s.

3.3. Tubería de presión

Para el diseño fue fundamental incluir tuberías a presión, dado que esta transporta el agua a presión desde el canal hacia la turbina, siendo necesario el cálculo del dimensionamiento y pérdidas que existen en el sistema, considerando que el material a usar es PVC.

Los parámetros fueron seleccionados según criterios de (Coz, y otros, 1995) en su publicación Manual de mini y microcentrales hidráulicas.

3.3.1. Diámetro interior de la tubería

De la ecuación de Bondschú sabemos que:

$$D = 1.27 \frac{Q^{0.4268}}{(H_B + H_S)^{0.1423}} \dots \dots \dots [7]$$

Donde:

Q : Caudal de diseño (m³/s)

H_B : Altura bruta (m)

H_s : Altura a sobrepresión por golpe de ariete (m). Recomendado valor a $0.3H_B$.

Resolviendo nos quedó:

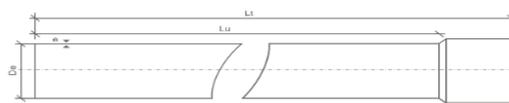
$$D = 1.27 \frac{0.029^{0.4268}}{(6 + 1.8)^{0.1423}}$$

$$D = 0.2092 \text{ m} \approx 8.24 \text{ in}$$

El diámetro que resultó no es una medida de tubería comercial, por tal motivo se seleccionó un diámetro de 8 pulgadas la cual si es comercial y de venta en el mercado.

Figura 3

Diámetro de tubería comercial



Diámetro Nominal Dn (pulg)	Diámetro Externo De (mm)	Diámetro Interno Di (mm)	Espesor Mínimo e (mm)	Longitud Total Lt (m)	Longitud Util Lu (m)
PN 10 bar (Clase 10)					
1/2	21,0	17,4	1,8	5	4,97
3/4	26,5	22,9	1,8	5	4,96
1	33,0	29,4	1,8	5	4,95
1 1/4	42,0	38,0	2,0	5	4,95
1 1/2	48,0	43,4	2,3	5	4,95
2	60,0	54,2	2,9	5	4,94
2 1/2	73,0	66,0	3,5	5	4,93
3	88,5	80,1	4,2	5	4,92
4	114,0	103,2	5,4	5	4,90
6	168,0	152,0	8,0	5	4,85
8	219,0	198,2	10,4	5	4,83
10	273,0	247,0	13,0	5	4,79
12	323,0	292,2	15,4	5	4,75

*Nota** Adaptado de especificaciones técnicas, de Tubos PVC-U simple Presión NTP 399.002, 2024, <https://grupoalixaxis.s3.us-east-2.amazonaws.com/nicoll-peru/Ficha+tecnica/Edificaci%C3%B3n/Ficha+T%C3%A9cnica+Tubos+PVC-U+Presi%C3%B3n+NTP+399.002+Nicoll.pdf>.

3.3.2. Cálculos de la velocidad del agua

Para el cálculo de la velocidad del agua en la tubería se determinó mediante la ecuación:

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} \dots \dots \dots [8]$$

Donde:

Q : Caudal (m^3/s)

D : Diámetro interior de la tubería (m)

V : Velocidad de circulación del agua (m)

Resolviendo tenemos que:

$$V = \frac{4 * 0.029}{\pi * 0.219^2}$$
$$V = 0.77 \text{ m/s}$$

3.3.3. Cálculo de las pérdidas en la tubería

Se generan dos tipos de pérdidas energéticas al momento de circular el agua por las tuberías, las primarias al generar fricción el agua contra las paredes de la tubería y las secundarias al presentarse turbulencia.

A. Pérdidas por fricción en la tubería

Aplicamos la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_{fric} = \frac{f * L * V^2}{2 * g * D} \dots \dots \dots [9]$$

Donde:

f : Factor de fricción

L : Longitud de la tubería (m)

D : diámetro de la tubería (m)

V : Velocidad de circulación del agua (m/s)

g : Aceleración de la gravedad (m/s²)

Se aplicó la siguiente ecuación para determinar el factor de fricción:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left(\frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} + \frac{Ks}{3.71D} \dots \dots \dots [10] \right)$$

Donde:

Re : Numero de Reynolds

Ks : Rugosidad absoluta de PVC

D : diámetro de tubería (m)

También tenemos que:

$$Re = \frac{V * D}{\nu} \dots \dots \dots [11]$$

V : Velocidad de circulación del agua (m/s)

ν : Viscosidad cinemática del agua (m²/s)

Figura 4
Propiedades del agua

temperatura t °C	densidad ρ kg/m ³	módulo elasticidad K · 10 ⁻⁹ N/m ²	viscosidad dinámica $\mu \cdot 10^3$ N·s/m ²	viscosidad cinemática $\nu \cdot 10^6$ m ² /s	tensión superficial σ N/m	presión de vapor p _v kPa
0	999,8	1,98	1,781	1,785	0,0756	0,61
5	1000,0	2,05	1,518	1,519	0,0749	0,87
10	999,7	2,10	1,307	1,306	0,0742	1,23
15	999,1	2,15	1,139	1,140	0,0735	1,70
20	998,2	2,17	1,002	1,003	0,0728	2,34
25	997,0	2,22	0,890	0,893	0,0720	3,17
30	995,7	2,25	0,798	0,800	0,0712	4,24
40	992,2	2,28	0,653	0,658	0,0696	7,38
50	988,0	2,29	0,547	0,553	0,0679	12,33
60	983,2	2,28	0,466	0,474	0,0662	19,92
70	977,8	2,25	0,404	0,413	0,0644	31,16
80	971,8	2,20	0,354	0,364	0,0626	47,34
90	965,3	2,14	0,315	0,326	0,0608	70,10
100	958,4	2,07	0,282	0,294	0,0589	101,33

*Nota** Adaptado de *Propiedades físicas del agua a 1 bar*, de Rowher Saisonsdumonde, 2024, <https://rowher.saisonsdumonde.fr/mx/viscosidad-cinematica-del-agua-a-20-c.html>.

Resolviendo las ecuaciones [11] y [10] obtuvimos:

$$Re = \frac{0.77 * 0.219}{1.14 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 117104.167$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left(\frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} + \frac{Ks}{3.71D} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left(\frac{2.51}{117104.167 * \sqrt{f}} + \frac{0.0015}{3.71 * 0.219} \right)$$

Mediante proceso iterativo se realizó el cálculo del factor de fricción, donde dio como resultado:

$$f = 0.015$$

Figura 5

Coefficiente de rugosidad

Material	Coefficiente de Manning (n)	Coefficiente Hazen Williams (C _H)	Coefficiente Rugosidad Absoluta (ks)
Asbesto Cemento	0,011	140	0,0015
Latón	0,011	135	0,0015
Tabique	0,015	100	0,6
Fierro fundido (nuevo)	0,012	130	0,26
Concreto (cimbra metalica)	0,011	140	0,18
Concreto (cimbra madera)	0,015	120	0,6
Concreto simple	0,013	135	0,36
Cobre	0,011	135	0,0015
Acero corrugado	0,022	--	45
Acero galvanizado	0,016	120	0,15
Acero (esmaltado)	0,01	148	0,0048
Acero (nuevo, sin recubrimiento)	0,011	145	0,045
Acero (remachado)	0,019	110	0,9
Plomo	0,011	135	0,0015
Plástico PVC	0,009	150	0,0015
Madera (duelas)	0,012	120	0,18
Vidrio (laboratorio)	0,011	140	0,0015

*Nota** Adaptado de *Coefficiente de rugosidad absoluta*, de Computer Applications in Hydraulic Engineering, 2004.

Con estos valores se calculó la ecuación [9]:

$$h_{fric} = \frac{0.015 * 6 * 0.77^2}{2 * 9.81 * 0.219}$$

$$h_{fric} = 0.012 \text{ m}$$

B. Pérdidas por accesorios en la tubería

Estas pérdidas se calculan con la ecuación:

$$h_{acc} = \frac{k * V^2}{2 * g} \dots \dots \dots [12]$$

Donde:

k : Factor asociado a cada accesorio a utilizar

V : Velocidad del agua entrante (m/s)

g : Aceleración de la gravedad (m2/s)

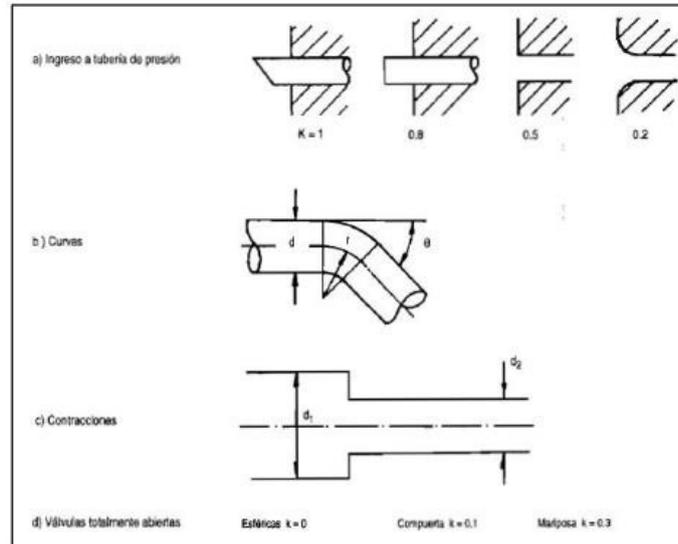
Las pérdidas aplicables al proyecto son:

- Conexión Tubería – Cámara de descarga k1
- En las válvulas k2
- Acoplamientos de la tubería a presión k3
- Codos k4

Perdidas por la conexión Tubería – Cámara de descarga

Figura 6

Coefficientes de pérdidas



*Nota** Adaptado de *pérdidas menores en componentes de tuberías*, de Manual de mini y micro centrales hidráulicas, ITDG PERÚ, 1995.

De acuerdo con la figura 6 se asume un valor de 0.5 a k_1 para el ingreso a la tubería de presión.

$$h_{k1} = \frac{k * V^2}{2 * g}$$

$$h_{k1} = \frac{0.5 * 0.77^2}{2 * 9.81}$$

$$h_{k1} = 0.015 \text{ m}$$

Perdida en las válvulas

Para k_2 se asumió un valor de 0.1 debido a que cuenta con compuerta y estaría completamente abiertas.

$$h_{k2} = \frac{0.1 * 0.77^2}{2 * 9.81}$$

$$h_{k2} = 0.003 \text{ m}$$

Perdidas por acoplamiento

Para k3 se consideró un valor de 0.5 debido al diseño del ingreso a la tubería de presión.

$$h_{k3} = \frac{0.5 * 0.77^2}{2 * 9.81}$$

$$h_{k3} = 0.015 \text{ m}$$

Perdidas por codos a 45°

Para asumir un valor para k4 fue necesario considerar la figura 7, seleccionando el valor de 0.42.

Figura 7

Coefficiente de perdida en codos

Accesorio	k_m
Válvula de globo, completamente abierta	10.0
Válvula en ángulo, completamente abierta	5.0
Válvula de cheque, completamente abierta	2.5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.2
Válvula de compuerta, con 3/4 de apertura	1.00-1.15
Válvula de compuerta, con 1/2 de apertura	5.6
Válvula de compuerta, con 1/4 de apertura	24.0
Codo de radio corto ($r/d \pm 5 \text{ a } 1$)	0.9
Codo de radio mediano	0.75-0.80
Codo de gran radio ($r/d \pm 5 \text{ a } 1.5$)	0.6
Codo de 45°	0.4-0.42
Retorno (curva en U)	2.2
Tee en sentido recto	0.3
Tee a través de la salida lateral	1.8
Unión	0.3
Ye de 45°, en sentido recto	0.3
Ye de 45°, salida lateral	0.8
Entrada recta a tope	0.5
Entrada con boca acampanada	0.1
Entrada con tubo reentrante	0.9
Salida	1.0

*Nota** Adaptado de *Coefficientes de pérdidas en codos de 90° con diferentes relaciones entre el diámetro de curvatura (r) y el diámetro de la tubería*, 2024, <https://es.scribd.com/document/557132889/COEFICIENTES-PARA-PERDIDAS-EN-ACCESORIOS-Y-CODOS>

$$h_{k4} = \frac{0.42 * 0.77^2}{2 * 9.81}$$

$$h_{k4} = 0.013 \text{ m}$$

Realizando la sumatoria de los valores en las perdidas por accesorios en la tubería se obtiene el valor de:

$$h_{acc} = h_{k1} + h_{k2} + h_{k3} + h_{k4} \dots \dots \dots [13]$$

$$h_{acc} = 0.015 + 0.003 + 0.015 + 0.013$$

$$h_{acc} = 0.046 \text{ m}$$

C. Cálculo de las pérdidas totales

Las pérdidas totales son la suma de las perdidas por fricción y las perdidas por accesorios, la cual se determinó por la ecuación:

$$H_{PT} = h_{fric} + h_{acc}$$

$$H_{PT} = 0.012\text{m} + 0.046\text{m}$$

$$H_{PT} = 0.058 \text{ m}$$

D. Cálculo del porcentaje de perdidas

El manual recomienda que el porcentaje de perdidas esté menor al 11%, de lo contrario se seleccionara una tubería con mayor dimensión. Para el cálculo de este porcentaje se aplicó la ecuación.

$$\%Per = \frac{100 * H_{PT}}{H_S}$$

Donde:

H_{PT} : Pérdidas totales (m)

H_S : Altura neta (m)

$$\%Per = \frac{100 \times 0.058}{6}$$

$$\%Per = 0.97\%$$

E. Potencia a generar

Determinamos la potencia con las ecuaciones siguientes:

$$P = Q \times Hn \times \rho \times g \dots \dots \dots [14]$$

Donde:

P : Potencia (kW)

Q : Caudal (m³/s)

Hn : Altura útil (m)

ρ : Densidad del agua (Kg/m³)

g : Aceleración de la gravedad (m/s²)

$$Hn = Hs - H_{PT} \dots \dots \dots [15]$$

Donde:

Hs : Altura neta (m)

H_{PT}: Pérdidas totales (m)

Resolviendo:

$$Hn = 6 - 0.058$$

$$Hn = 5.942 \text{ m}$$

3.4. Selección de Turbina

Las turbinas permiten la generación de energía eléctrica a partir de una fuente renovable (Cardona, Sierra, & Chica, 2018), las cuales cuentan con eficiencias entre un 65% al 97%, la cual dependerá del diseño de la turbina que se plantee.

Con la información recolectada en este trabajo de investigación se seleccionó los equipos estandarizados mediante los datos siguientes:

- Caudal : 0.029 m³/s
- Altura útil : 5.942 m

3.4.1. Potencia nominal en la turbina

Obtuvimos este valor mediante la ejecución de la ecuación [14]:

$$P = 0.029 \times 5.942 \times 1000 \times 9.81$$

$$P = 1690.44 \text{ W}$$

$$P = 1.69 \text{ kW}$$

3.4.2. Potencia mecánica del sistema

Esta potencia lo obtuvimos mediante la operación siguiente:

$$P_{mec} = P * n_m \dots \dots \dots [16]$$

Donde:

P_{mec} : Potencia mecánica (kW)

n_m : Eficiencia mecánica, para Michell – Banki 0.8.

$$P_{mec} = 1.69 * 0.8$$

$$. P_{mec} = 1.35 \text{ kW}$$

3.4.3. Potencia eléctrica

La potencia mecánica tiene que ser transmitida al generador, la cual produce más pérdidas ya sea en el eje de transmisor o el generador. Determinamos este valor con:

$$P_{elec} = P_{mec} * n_{t-g} \dots \dots \dots [17]$$

Donde:

P_{elec} : Pérdidas eléctricas

n_{t-g} : Eficiencia turbina – generador, para Michell – Banki 0.8.

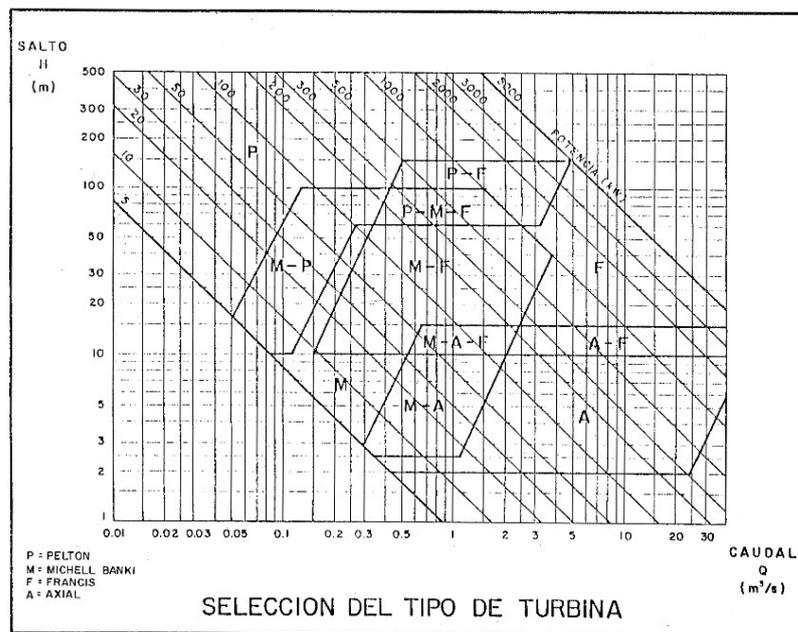
$$P_{elec} = 1.35 * 0.8$$

$$P_{elec} = 1.08 \text{ kW}$$

Con los parámetros encontrados pudimos seleccionar la turbina que mejor se acople a nuestro diseño, siendo seleccionada la Turbina Michell – Banki según la figura 8:

Figura 08

Selección de turbina



*Nota** Adaptado de *Selección del tipo de turbina*, de Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas, Olade, 1988.

Tomando como referencia los datos calculados anteriormente, para un caudal de 0.029 m³/s y una altura útil de 5.94 m, pudimos seleccionar en la Figura 8 el tipo de turbina que mejor se acople al diseño siendo esta la turbina Michell - Banki.

3.4.4. Parámetros del mecanismo de diseño de la turbina

Para el diseño y cálculo de los parámetros de esta fue necesario saber que el diámetro exterior de la turbina tipo Michell – Banki no depende del caudal, lo que provoca que mencionado diámetro sea un parámetro independiente.

Las dimensiones exteriores varían desde 200 mm a 600 mm, siendo el estandarizado el valor de 300 mm, con velocidades rotatorias de 200 a 700 rpm (Hernandez, Indacochea, & Pardo, 1988), Por diseño escogimos el diámetro de 200 mm.

Diámetro exterior del rodete $D = 0.2$ m

A. Cálculo de las RPM

Para encontrar este valor se desarrolló la siguiente ecuación:

$$n = 39.85 \frac{Hn^{\frac{1}{2}}}{De} \dots \dots \dots [18]$$

Donde:

n : Numero óptimo de revoluciones (RPM)

De : Diámetro exterior de rodete (m)

Hn : Altura útil (m)

$$n = 39.85 \frac{5.94^{\frac{1}{2}}}{0.2}$$

$$n = 485.61 \text{ RPM}$$

Para la validación de los parámetros que cumplen con los requisitos de las turbinas Michell Banki, se calculó con la formula del número específico de revoluciones:

$$N_q = n * \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}} \dots \dots \dots [19]$$

$$N_q = 485.61 * \frac{\sqrt{0.029}}{5.94^{\frac{3}{4}}}$$

$$N_q = 29.23$$

$$N_s = n * \frac{\sqrt{P}}{H^{\frac{5}{4}}} \dots \dots \dots [20]$$

$$N_s = 485.61 * \frac{\sqrt{1.69}}{5.94^{\frac{3}{4}}}$$

$$N_s = 68.08$$

Valor que si está dentro del rango de la aplicación de la turbina Michell Banki

Figura 9

Rango de aplicación de turbinas hidráulicas

Tipo de Turbina	Nq	Ns
Turbina Pelton de 1 tobera	Hasta 9	Hasta 30
Turbina Pelton de 2 toberas	4-13	14-42
Turbina Pelton de 3 toberas	5-22	17-73
o más		
Turbina Michell-Banki	18-60	60-200
Turbina Francis Lenta	18-38	69-125
Turbina Francis Normal	38-68	125-225
Turbina Francis Rápida	68-135	225-450
Turbina Axial	105-300	350-1000

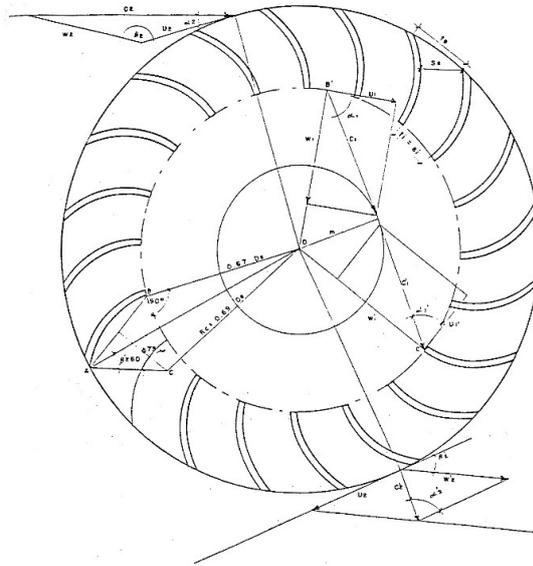
*Nota** Adaptado de *Rango de aplicación de turbinas hidráulicas*, de Fernandez, Indacochea & Pardo, 1988, Apuntes para un diseño, estandarizado y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas.

B. Diagrama de velocidades

Las velocidades del rodete fueron calculadas en base a diagramas de velocidades en cada punto del rodete, como se muestra en la figura 10:

Figura 10

Diagrama de velocidades para Michell – Banki



*Nota** Adaptado de *Diagrama de velocidad en el rodete Michell Banki*, de Fernandez, Indacochea & Pardo, 1988, Apuntes para un diseño, estandarizado y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas.

Aplicamos la ecuación de Bernoulli para saber con qué velocidad saldrá el agua del inyector.

$$\frac{P_0}{\gamma} + \frac{C_0^2}{2 * g} + Z_0 = \frac{P_i}{\gamma} + \frac{C_i^2}{2 * g} + Z_i + \Delta H_t + v \dots \dots \dots [21]$$

Donde:

$C_0 - C_i$: Velocidad de la partícula del agua en la superficie de reservorio y en la salida del inyector.

$P_0 - P_1$: Presiones en la superficie de reservorio y en la salida del inyector.

$Z_0 - Z_1$: Salto bruto.

γ y g : Peso específico del agua y la gravedad.

ΔH_t : Perdida de presión por efecto de la fricción del agua en la tubería.

ΔH_i : Perdidas de presión por efecto de la fricción del agua con el inyector.

De la ecuación podemos despejar la velocidad del líquido a la salida del inyector, quedando;

$$C_i = \sqrt{1 - \frac{\Delta H_i}{H}} * \sqrt{2 * g * H} \dots \dots \dots [22]$$

Siendo H la altura útil, asimismo:

$$K_c = \sqrt{1 - \frac{\Delta H_i}{H}} \dots \dots \dots [23]$$

Donde:

K_c : Coeficiente de la velocidad del inyector, valor comprendido entre 0.97 y 0.98

Operando la ecuación [20] y [21] resulta:

$$C_i = K_c * \sqrt{2 * g * H} \dots \dots \dots [24]$$

$$C_i = 0.98 * \sqrt{2 * 9.81 * 5.94}$$

$$C_i = 10.57 \text{ m/s} ; C_i = C_2$$

La velocidad de salida del agua es la misma que al ingreso del rodete, mencionado chorro ingresa a un ángulo de $\alpha_2 = 16^\circ$ siendo este un valor promedio típico.

La velocidad tangencial del rodete en turbinas de acción se expresa:

$$U_2 = K_u * C_2 * \text{Cos}(\alpha_2) \dots \dots \dots [25]$$

Donde:

K_u : Coeficiente de velocidad tangencial, valor aproximado a 0.5 en turbinas de acción.

Resultando:

$$U_2 = 0.5 * 10.57 \text{ m/s} * \text{Cos}(16^\circ)$$

$$U_2 = 5.08 \text{ m/s}$$

Pudimos calcular la velocidad relativa resolviendo la ecuación:

$$W_2 = C_2 * \sqrt{1 - K_u(2 - K_u)\text{Cos}^2(\alpha_2)} \dots \dots \dots [26]$$

$$W_2 = 10.57 \text{ m/s} * \sqrt{1 - 0.5(2 - 0.5)\text{Cos}^2(16^\circ)}$$

$$W_2 = 5.86 \text{ m/s}$$

Posteriormente construimos el diagrama de velocidades en la entrada del rodete, calculando el ángulo β_2 y cumpliendo dentro del rodete que:

$$U_1 = U'_2$$

$$C_1 = C'_2$$

$$\alpha_1 = \alpha'_2$$

$$\beta'_1 = 180^\circ - \beta_1 \therefore \beta'_1 = \beta_1 = 90^\circ$$

Obteniendo a la salida del rodete las velocidades de:

$$U'_2 = U_2 = K_u * C_2 * \text{Cos}(\alpha_2)$$

$$U'_2 = 5.08 \text{ m/s}$$

$$\beta_2 = 180^\circ - \beta'_2$$

El ángulo entre los alabes esta expresada por la ecuación:

$$\beta'_2 = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \alpha_2}{\sqrt{1 - K_u(2 - K_u)\text{Cos}^2(\alpha_2)}} \right) \dots \dots \dots [27]$$

$$\beta'_2 = \sin^{-1} \left(\frac{\sin 16^\circ}{\sqrt{1 - 0.5(2 - 0.5)\text{Cos}^2(16^\circ)}} \right)$$

$$\beta'_2 = 29.83^\circ$$

Para calcular la velocidad relativa efectuamos:

$$W'_2 = K_f * W_2 \dots \dots \dots [28]$$

Donde:

K_f : Coeficiente de velocidades relativas, perdida por fricción del agua con alabes del rodete, valor referente de 0.98

$$W'_2 = 0.98 * 5.86 \frac{m}{s}$$

$$W'_2 = 5.74 \text{ m/s}$$

Cálculo de la velocidad absoluta a la salida del rodete.

$$C'_2 = C_2 * \sqrt{\frac{K_f^2(1 - K_u(2 - K_u)\cos^2(\alpha_2)) + K_u * \cos^2(\alpha_2)}{-2K_f * \cos^2(\alpha_2)(1 - K_u)K_u}} \dots \dots \dots [29]$$

$$C'_2 = 10.57 \sqrt{\frac{0.98^2(1 - 0.5(2 - 0.5)\cos^2(16^\circ)) + 0.5 * \cos^2(16^\circ)}{-2(0.98) * \cos^2(16^\circ)(1 - 0.5)0.5}}$$

$$C'_2 = 5.82 \frac{m}{s}$$

Calculamos con los valores encontrados C_{m1} :

$$C_{m1} = 1.229 K_c * \sqrt{H_n} \dots \dots \dots [30]$$

$$C_{m1} = 1.229 * 0.98 * \sqrt{6}$$

$$C_{m1} = 2.94$$

Las turbinas Michell Banki logran alcanzar hasta 82% de eficiencia cuando se realiza buenos acabados al momento de fabricar los componentes. (Hernandez, Indacochea, & Pardo, 1988)

C. Numero de alabes

El número óptimo de alabes oscila entre los 24 y 30, debido a que si se incluyen al diseño pocos alabes este provocara pulsaciones al generar potencia, por el contrario, si se le incluyen muchos se generara un aumento de pérdidas y efecto de rejilla.

La figura 11 exhibe un número óptimo de alabes según variadas investigaciones realizadas a nivel mundial.

Figura 11

Parámetros y características en turbinas

REFERENCIA	D/d	D/B	z	η_p
YOKOHAMA, 1985, JAPON	0.66	4.25	26	80.60
VIGM, 1986, CCCP	0.63	3.00	24	78.00
GANZ, 1984, HUNGRIA	0.66	1.00	30	75.00
ALABAMA, 1983, USA	0.66	0.25	20	75.00
RESITA, 1983, RUMANIA	0.66	1.28	24	73.00
KTU, 1987, TRAZBON, TURKIA	0.54	0.81	24	71.30
OREGON, 1949, USA	0.66	1.09	20	68.00
VDI, 1981, ETIOPIA	0.67	3.26	36	66.00
LOS ANDES, 1973, COLOMBIA	0.62	1.87	27	60.60
ODTU, 1985, ANKARA, TURKIA	0.83	1.44	30	55.50

*Nota** Adaptado de *Parámetros característicos en turbinas ensayadas pro diferentes investigaciones*, de Ficha técnica Turbina Michell Banki, 2017.

Para la presente investigación se usará un número de alabes de 24.

$$Z = 24$$

D. Geometría del rodete

Mediante la relación de diámetros del rodete podemos pudimos encontrar el diámetro interno, sabiendo el diámetro externo es de 0.2 m, resolviendo la ecuación:

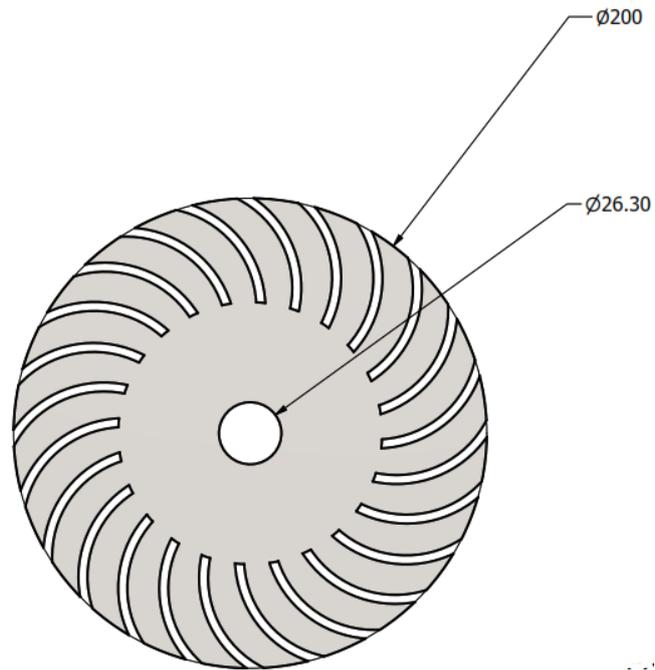
$$\frac{D_i}{D_e} = 0.66 \dots \dots \dots [31]$$

$$D_i = 0.66 * 0.2$$

$$D_i = 0.132 \text{ m}$$

Figura 12

Rodete



El radio de curvatura esta expresada por:

$$r = \frac{De}{4 * \cos\beta'_2} \left| 1 - \left| \frac{Di}{De} \right|^2 \right| \dots \dots \dots [32]$$

$$r = \frac{200mm}{4 * \cos(29.83^\circ)} \left| 1 - \left| \frac{Di}{De} \right|^2 \right|$$

$$r = 32.5 \text{ mm}$$

El ángulo de curvatura de los alabes del rodete se obtiene resolviendo:

$$\theta = 2 \tan^{-1} \left| \frac{\cos\beta'_2}{\frac{Di}{De} + \text{sen}\beta'_2} \right| \dots \dots \dots [33]$$

$$\theta = 2 \tan^{-1} \left| \frac{\cos(29.83^\circ)}{0.66 + \text{sen}(29.83^\circ)} \right|$$

$$\theta = 73.07^\circ$$

Debemos tener en cuenta que desde el punto de vista teórico encontramos limitaciones para el arco de admisión, la cual podemos calcular con la ecuación:

$$\alpha_{BOC} = 2 \tan^{-1} \left| \frac{\sqrt{1 - Ku(2 - Ku)\cos^2\alpha_2}}{\frac{Di}{De} * Ku * \cos \alpha_2} \right| \dots \dots \dots [34]$$

$$\alpha_{BOC} = 119.88$$

Con este valor obtenemos el diámetro máximo del eje que atravesaría el rodete:

$$d_{max} = Di * \cos \left| \frac{\alpha_{BOC}}{2} \right| \dots \dots \dots [35]$$

$$d_{max} = 0.132 * \cos \left| \frac{119.88}{2} \right|$$

$$d_{max} = 0.066 \text{ m o } 66 \text{ mm}$$

Basándonos en el manual de *Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas*, 1988, que da libertad al diseñador de escoger el espesor de los alabes y las placas donde se soportan los alabes del rodete.

Se ha seleccionado un espesor de 2 mm para el alabe y de 3 mm para las placas de soporte.

Tabla 4

Tabla resumen de valores calculados

Dimensiones	Resultado
Diámetro externo del rodete	200 mm
Diámetro interno del rodete	132 mm
Radio de curvatura del alabe	32.5 mm
Angulo de curvatura de los alabes	73.07°

Arco de admisión del rodete	119.88
Diámetro máximo del eje del rodete	98.44 mm
Numero de alabes	24

E. Geometría del inyector

(Tecnologías Olade) da a conocer la geometría de un inyector con alabe directriz, afirmando que la única dimensión que varía en su diseño es el ancho de esta, dado que está relacionado directamente con el salto y el caudal; y que las otras dimensiones se pueden determinar mediante interpolación lineal.

El espesor del inyector se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$B = \frac{Q}{P(\pi * De - e * Z) * K_0 * K_c * \sqrt{2gH_s \sin \alpha_2}}$$

Donde:

- B : Ancho interno del inyector expresado (m)
- Q : Caudal máximo en la turbina (m³/s)
- P : Factor de arco de admisión, valor referencial de 1.
- De : Diámetro exterior del rodete (m)
- E : Espesor de los alabes del rodete (m)
- Z : Numero de alabes
- K₀ : Porcentaje de circunferencia exterior por donde circula el agua

Ecuación practica para encontrar el ancho del inyector:

$$B_{inyector} = \frac{0.96 * Q}{De * \sqrt{H_s}} \dots \dots \dots [36]$$

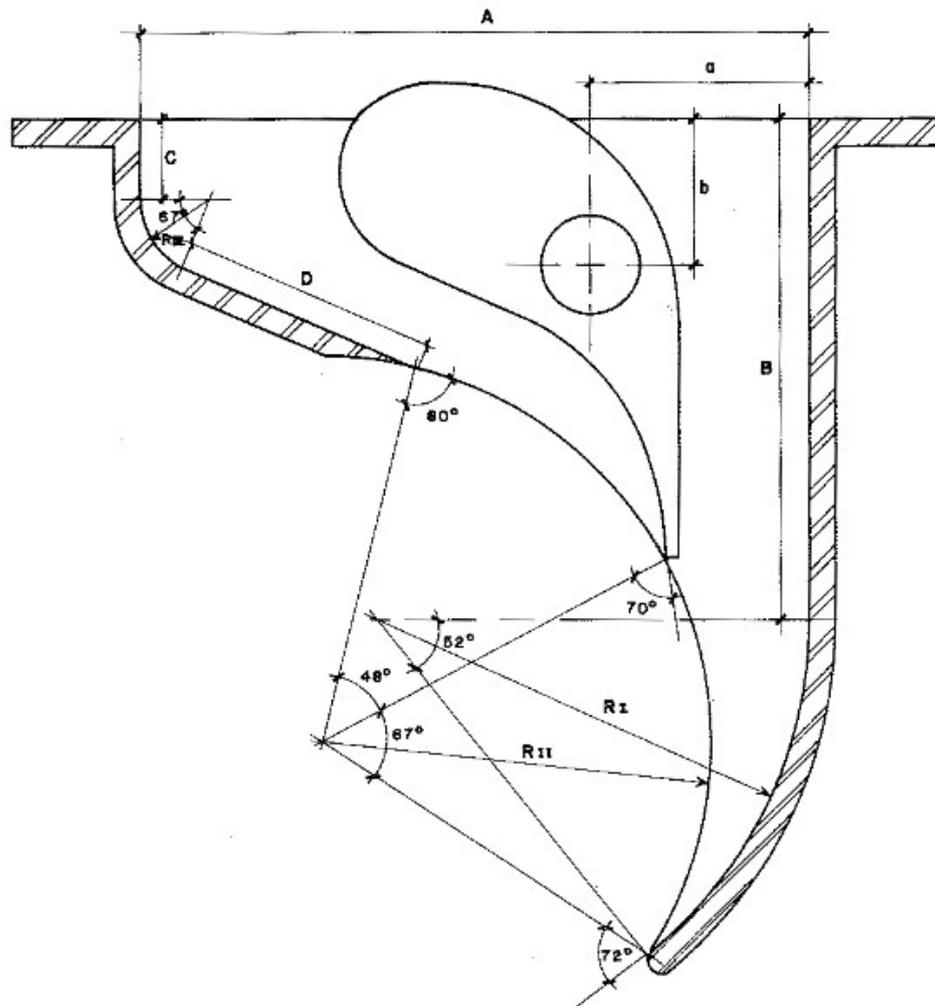
$$B_{inyector} = \frac{0.96 * 0.029}{0.2 * \sqrt{6}}$$

$$B_{inyector} = 0.057 \text{ m}$$

La geometría elegida para el inyector de este proyecto se presenta a continuación:

Figura 13

Perfil del inyector y alabe directriz



*Nota** Adaptado de *Esquema de perfil del inyector y del alabe directriz*, de Tecnologías Olade.

Tabla 5*Cotas en milímetros de perfil del inyector*

Dimensiones del inyector			
Rodete de 200 milímetros de diámetro externo			
Co	mm	Cota	mm
ta			
A	174	R3	20.7
B	130	R4	40
C	20.7	R5	66.7
D	68	R6	46.7
a	56.7	R7	88.7
b	36.7	x	23.3
RI	112	y	77.3
RII	100.7	ℓ_1	34
RII I	18.7	ℓ_2	65.3
R1	62.7	ℓ_3	13.3
R2	26		

F. Diseño y cálculos de rodete

Para calcular la fuerza que actúa sobre los alabes se debe efectuar la ecuación:

$$F_{alabe} = F_{vertical} + F_c \dots \dots \dots [37]$$

Donde:

$F_{vertical}$: Fuerza vertical que soporta cada alabe (Kg*f)

F_c : Fuerza centrífuga (Kg *f)

Para la fuerza vertical que soporta del agua tenemos que:

$$F_{vertical} = 46.5 * Q * \sqrt{H_n} \dots \dots \dots [38]$$

$$F_{vertical} = 46.5 * 0.029 * \sqrt{6}$$

$$F_{vertical} = 3.3 \text{ Kgf}$$

Calculamos el ancho del rodete (m):

$$B_r = 1.2533 * B_{inyector} \dots \dots \dots [39]$$

$$B_r = 1.2533 * 0.057$$

$$B_r = 0.07 \text{ m}$$

Calculamos el volumen del alabe con la expresión:

$$V_{alabe} = \left(R_{curv-alabe} + \frac{e_{alabe}}{2} \right) * 73 * \frac{\pi}{180} * B_r * e_{alabe} \dots \dots \dots [40]$$

$$V_{alabe} = \left(0.0325 + \frac{0.002}{2} \right) * 73 * \frac{\pi}{180} * 0.07 * 0.002$$

$$V_{alabe} = 5.98 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Para el cálculo del peso de los alabes es necesario saber la densidad del material que se usara para poder calcular, en este caso se pretende usar acero inoxidable AISI 316 con $\rho_{aisi316} = 7980 \text{ kg/m}^3$.

$$Peso_{alb} = V_{alabe} * \rho_{aisi316} \dots \dots \dots [41]$$

$$Peso_{alb} = 5.98 * 10^{-6} * 7980$$

$$Peso_{alb} = 0.048 \text{ kg}$$

Con estos valores calculamos la fuerza centrífuga:

$$F_c = \frac{Peso_{alb}}{9.8} * \left(\frac{240 * 2 * \pi}{60} \right)^2 * \frac{D_e}{2} \dots \dots \dots [42]$$

$$F_c = \frac{0.048}{9.8} * \left(\frac{240 * 2 * \pi}{60} \right)^2 * \frac{0.002}{2}$$

$$F_c = 0.31 \text{ kg} * f$$

Con los valores encontrados resolvemos la ecuación [37]:

$$F_{alabe} = 3.3 \text{ Kgf} + 0.31 \text{ kg} * f$$

$$F_{alabe} = 3.61 \text{ kg} * f$$

G. Diámetro del eje

El eje debe ser capaz de soportar las levas del mecanismo de regulación, considerando el diagrama de fuerzas y fórmulas de la ASME.

$$d^3 = \frac{16}{\pi S_d} \sqrt{(K_m * M_{max})^2 + (K_t * T_{max})^2} \dots \dots \dots [43]$$

Donde:

Mmax : Momento flector máximo en el eje, representado por:

$$M_{max} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \dots \dots \dots [44]$$

Siendo:

Mx : Fr * a/2

My : Pr * a/2

Pr : Peso aproximado del rodete (8.30 kg)

Pt : Potencia de la turbina (kW)

N : Revoluciones de la turbina (RPM)

De : Diámetro exterior del rodete (m)

Tmax : Momento torsor máximo en el eje (kg-m), obtenida de

$$T_{max} = 974 \frac{Pt}{N} \dots \dots \dots [45]$$

Km : Factor momento flector para carga estable, valor estimado de 1.5

Kt : Factor momento torsor para carga estable, valor estimado de 1.0

Sd : Esfuerzo del diseño (kg/m²)

Resolviendo las ecuaciones tenemos:

$$T_{max} = 974 \frac{1.69}{485.62}$$

$$T_{max} = 3.39 \text{ kgf} - m$$

Encontramos la fuerza tangencial

$$F_t = \frac{T_{max}}{Re} \dots \dots \dots [46]$$

Donde:

Re : Radio exterior

$$F_t = \frac{3.39}{0.1}$$

$$F_t = 33.9 \text{ kg} - f$$

Momento flector máximo en el eje X:

$$M_x = 33.9 * 0.6/2$$

$$M_x = 10.17 \text{ Kg*f*m}$$

Momento flector máximo en el eje Y:

$$M_y = 8.3 * 0.6/2$$

$$M_y = 2.49 \text{ Kg*f*m}$$

Resolvemos la ecuación [35]

$$M_{max} = \sqrt{10.17^2 + 2.49^2}$$
$$M_{max} = 10.47 \text{ kg} * f * m$$

Para encontrar solución a la ecuación [34], considerando un material de acero inoxidable AISI 4140 con $S_y = 43.54 \times 10^6 \text{ kg} * f / m^2$

$$S_d = S_y * 0.2$$

$$S_d = 43.54 \times 10^6 * 0.2$$

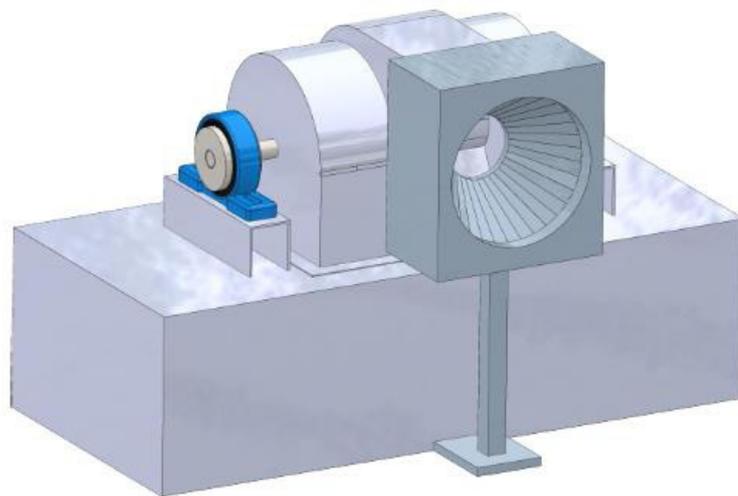
$$S_d = 8.71 \times 10^6 \text{ kg} * f / m^2$$

Diámetro mínimo del eje

$$d^3 = \frac{16}{\pi * 8.71 * 10^6} \sqrt{(1.5 * 10.47)^2 + (1.0 * 3.39)^2}$$
$$d = 0.0211 \text{ m}$$

Figura 14

Diseño de la turbina



3.5. Parámetros del generador eléctrico

Teniendo en consideración que se puede generar una potencia eléctrica de 1.08 kW se ha considerado utilizar un generador de 2 HP ya que este debe ser de igual capacidad o mayor para evitar daños internos a este.

Se uso un motor de inducción como generador, teniendo en cuenta su potencia eléctrica, su protección y el voltaje, adaptándoles capacitores que exciten las bobinas.

Figura 15

Motor de inducción trifásico



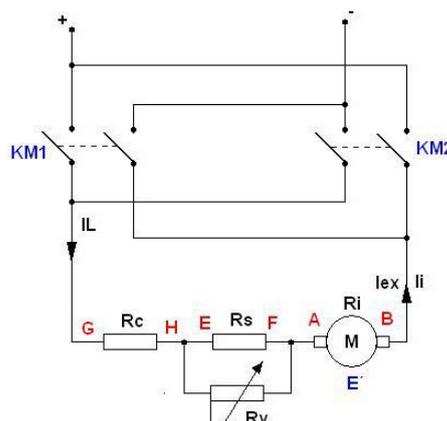
*Nota** Adaptado de *Motor AC de inducción, trifásico, reversible, Siemens ILA7, 2 polos, 230 V, 400 V, 0,37 kW, 2.740 rpm, 1,3 Nm, montaje*, de RS, 2024, <https://es.rs-online.com/web/p/motores-ac/7754527>.

3.5.1. Cálculo de capacitancia para excitación

Conectar los capacitores requiere de una configuración, la cual presentamos la cual presentamos en la figura 14.

Figura 16

Esquema de conexión de capacitancia



*Nota** Adaptado de *Esquema de fuerza correspondiente a la inversión de giro de un motor con excitación serie*, de Cienciasfera, 2024, https://www.cienciasfera.com/materiales/electrotecnia/tema15/35_inversin_del_sentido_de_giro.html.

Para conocer el valor de la capacitancia debemos tener las características técnicas del motor.

Tabla 6

Ficha técnica del motor de inducción

Motor Welker Trifásico /1720 / Y90J-4/60 Hz	
Potencia	2HP
Voltaje	220/380 V
Corriente de plena carga	6.4/3.7 A
Protección	IP 44

Con los datos de la Tabla 6, calculamos la capacitancia que se necesita para generar los reactivos

$$\sum S_{no\ carga} = \sqrt{3} * V_l * I_l \dots \dots \dots [47]$$

$$\sum S_{no\ carga} = \sqrt{3} * 220 * 6.4$$

$$\sum S_{no\ carga} = 2438.73\ VAR$$

Sabiendo que la potencia total sin carga es igual a la potencia reactiva:

$$\sum Q = \sum S_{no\ carga} = 2438.73\ VAR$$

Calculamos la potencia relativa por fase:

$$Q_{fase} = \frac{Q}{3}$$

$$Q_{fase} = \frac{2438.73}{3}$$

$$Q_{fase} = 812.91$$

Como la conexión está en delta:

$$V_{fase} = V_{linea} = 220 V$$

Calculamos la corriente de fase

$$I_{fase} = \frac{Q_{fase}}{V_{fase}}$$
$$I_{fase} = \frac{812.91}{220}$$
$$I_{fase} = 3.69 A$$

Con este valor calculamos la capacitancia

$$C = \frac{I_{fase}}{2 * \pi * f * V_{fase}} \dots \dots \dots [48]$$
$$C = \frac{3.69}{2 * \pi * 60 * 220}$$
$$C = 44.5 \mu F$$

3.5.2. Transmisión Generador – Turbina

La turbina opera a 485.61 RPM mientras que el motor opera a 1720 RPM, habiendo que compensar esas revoluciones mediante el uso de poleas, considerando un 10% más de revoluciones al motor debido a que es un síncrono.

El cálculo se realizó mediante diferencias de diámetros y revoluciones aplicados en la formula siguiente.

$$D_{mayor} * n_1 = d_{menor} * n_2 \dots \dots \dots [49]$$

Donde:

D_{mayor} : Diámetro de la polea mayor

n_1 : Numero de RPM de la polea mayor

d_{menor} : Diámetro de la polea menor

n_2 : Numero de RPM de la polea menor

Al no saber aun la relación entre poleas, consideraremos a la polea mayor 1, para encontrar el diámetro menor

$$d_{menor} = \frac{D_{mayor} * n_1}{n_2}$$
$$d_{menor} = \frac{1 * 485.61}{1892}$$

$$d_{menor} = 0.26$$

Con este valor referencial encontramos la relación entre los diámetros:

$$\frac{D_{mayor}}{d_{menor}} = \frac{1}{0.26} = 3.89$$

3.6. Cámara de carga

La cámara de carga es un depósito ubicado al final del canal, precisamente antes de la entrada de la tubería forzada. Su diseño desempeña el papel de un depósito de agua para preservar la presión descendente en la tubería y asegurar un flujo constante de agua del canal para mantener su nivel máximo. (Universidad Nacional de Santana, 2014).

El dimensionamiento de la cámara de carga de este proyecto está sujeto a recomendaciones de (Ortiz, 2011), que menciona que para evitar el ingreso de sedimentos a la tubería de presión se debe tener una altura mínima de $0.3 < a_1 < 0.5$ m.

Para esta investigación se tomó una altura de $a_1 = 0.4$ m.

El valor de a_2 el diámetro exterior de la tubería de presión de PVC.

$$a_2 = 0.219 \text{ m}$$

La altura a_3 garantiza que al ingresar el agua a la tubería de presión el torbellino resultante no produzca cavitación.

Para el diseño se asumirá $a_3 = 0.3$ m, debido a que este valor debe estar en el rango de $0.5a_2 < a_3 < 1.5a_2$.

a_4 es la altura de seguridad para frenar el golpe de ariete, (Ortiz, 2011), siendo el valor mínimo recomendado $a_4 = 0.3$ m

Con estos valores escogemos la $H_2 = 1.3 \text{ m}$, como altura para el tranque de captación y una longitud promedio de 1.5 m.

3.7. Evaluación de costos

Llevar a cabo la ejecución de este proyecto se estima en las tablas siguientes.

3.7.1. Coste para la cámara de captación

Tabla 07

Materiales para cámara de captación

Ítems	Descripción del material	Cantidad	Precio unitario	Precio total
01	Arena x m3	02	S/. 55.00	S/. 110.00
02	Graba x m3	03	S/. 60.00	S/. 180.00
03	Piedra x m3	02	S/. 55.00	S/. 110.00
04	Cemento	08	S/. 32.00	S/. 256.00
05	Clavos x Kg	02	S/. 4.70	S/. 9.40
06	Varilla 10mm	01	S/. 55.00	S/.55.0 0
07	Ladrillos	200	S/. 1.50	S/. 300
08	Rejilla para la cámara de carga	01	S/. 80.00	S/. 80.00
			Total	S/. 1100.4

Tabla 08*Servicios para cámara de captación*

Íte ms	Descripción del servicio	Cantid ad	Precio	Precio total
01	Mano de obra de maestro incluido madera para encofrado	01	S/. 550	S/ 550.00
02	Mano de obra por albañiles	03	S/ 280.00	S/ 840.00
03	Transporte de materiales, turbina y personal	01	S/ 200.00	S/ 200.00
			Total	S/ 1590.00

3.7.2. Costos para la generación

Se ha considerado utilizar un generador de 1.5 HP.

Tabla 09*Costo de generador*

Íte ms	Descripción del material	Cantidad	Precio	Precio total
01	Motor eléctrico trifásico de 2hp 1750 rpm	01	S/. 799.00	S/. 799.00
			Total	S/. 799.00

3.7.3. Costo de tubería, acero

Tabla 10

Costo de tuberías y aceros

Ítems	Descripción del material	Cantidad	Precio unitario	Precio total
01	Plancha de acero espesor 1200 mm x 2400 mm x 3 mm	02	S/. 335.00	S/. 670.00
02	Chumacera	02	S/. 116.00	S/. 232.00
03	Eje acero inoxidable 1 ½ in x 1 m	01	S/. 180.00	S/. 180.00
04	Tubo desagüe Ø 8 in x 5 m PVC	02	S/. 300.00	S/. 600.00
			Total	S/. 1682.0

3.7.4. Costos de accesorios y pernería

Tabla 11

Accesorios y pernería

Ítems	Descripción del material	Cantidad	Precio unitario	Precio total
01	Codo 45° 8 in	01	S/. 137.50	S/. 137.50
02	Válvula de compuerta	02	S/. 54.00	S/. 108.00
03	Pernos M8 X 45	06	S/. 1.00	S/. 6.00
04	Pernos M10 X 45	50	S/. 1.50	S/. 75.00
05	Tuerca hexagonal M8 X 45	06	S/. 0.20	S/. 1.20
06	Tuerca hexagonal M10 X 45	50	S/. 0.20	S/. 10.00
07	Arandela plana M8 X 45	06	S/. 0.20	S/. 1.20

08 Arandela plana M10 X 45 50 S/. 0.20 S/. 10.00

Total S/. 348.90

3.7.5. Costo por implementación de una turbina michell banki

Figura 17

Costo por implementación de turbina michell banki

DESCRIPCIÓN DE COMPONENTE	MATERIAL	OPERACIONES EN:								CNC	Costo total por unidad	Cant.	Costo total
		Torno	Taladro	Fresa	Banco	Oxicorte	Soldadura	Ro./Dob./Arm.					
ÁLABE	AISI 316L			0.125		0.03					S/. 4.94	16	S/. 79.00
DISCO LATERAL	AISI 316L	1							4		S/. 265.00	2	S/. 530.00
CUBO	AISI 316L	2.5		2.5							S/. 150.00	1	S/. 150.00
ENSAMBLE DE ROTOR	AISI 316L	2					3	2			S/. 157.00	1	S/. 157.00
EJE DE ROTOR	AISI A570	8		2							S/. 270.00	1	S/. 270.00
SOPORTE DE EJE	ASTM A36	2	0.5	0.5		1	1				S/. 129.50	1	S/. 129.50
INYECTOR	ASTM A36				1	4	4	2			S/. 232.00	1	S/. 232.00
CARCASA	ASTM A36					3	3	4			S/. 163.00	1	S/. 163.00
BRIDA CUADRADA	ASTM A36		0.25	0.5	0.5	1					S/. 49.00	4	S/. 196.00
BRIDA OVALADA	ASTM A36		0.25	1	1	1					S/. 75.50	1	S/. 75.50
TUBERIA RECTANGULAR	ASTM A36			1		0.5	2	0.5			S/. 114.50	1	S/. 114.50
PIEZA DE TRANSICIÓN	ASTM A36						2	2			S/. 72.00	1	S/. 72.00
BRIDA DESCARGA	ASTM A53	2	0.5	0.5		1	1				S/. 129.50	1	S/. 129.50
BRIDA SUCCIÓN	ASTM A53	2	0.5	0.5		1	1				S/. 129.50	1	S/. 129.50
TOTAL													S/. 2,427.50

*Nota** Adaptado de *Costo de fabricación* de (Millan, 2015). Tesis para optar el título de ingeniero mecánico, Lima: PUCP, p. 95.

Considerando todos los gastos totales se realizó un cuadro resumen:

Tabla 12

Costos resumen

Ítem	Descripción del costo	Monto
01	Materiales para cámara de captación	S/. 1100.4
02	Servicios para cámara de captación	S/. 1590.00
03	Costo de generador	S/. 799.00
04	Costo de tuberías y aceros	S/. 1682.0

05	Accesorios y pernería	S/. 348.90
06	Costo por implementación de turbina michell banki	S/. 2427.50
	TOTAL	S/. 7947.4

IV. DISCUSIÓN

(Median & Sigchi, 2021) realizaron un diseño y análisis para implementar un sistema de generación eléctrica con la finalidad de aprovechar los recursos locales de Cuenca, haciendo uso de un caudal de $0.13 \text{ m}^3/\text{s}$ a un salto de 8 metros de altura, generando 6.5 kW de potencia eléctrica. Para esto diseñaron una turbina Michell Banki la cual tiene con una dimensión de 300 mm, contando con un total de 24 alabes que serán los encargados de hacer girar el rodete. Concluyendo que el proyecto es viable en su totalidad debido a que todos los componentes de la turbina son de fácil accesibilidad en su país, además de que en todas las simulaciones los componentes soportan los esfuerzos.

Para el diseño de la Pico central hidroeléctrica en la quebrada tumbillan, distrito de las Pirias, provincia de Jaén, utilizamos un caudal de $0.029 \text{ m}^3/\text{s}$ con un salto de 6 metros de altura, para poder generar 1.08 kW de potencia neta. Considerando los resultados que tuvimos al momento de recolectar la información se decidió trabajar con una turbina de diámetro de 200 mm, además de también contar con 24 alabes. Tomando en cuenta que para poder considerar un diámetro mayor para a turbina necesitamos de una caudal superior también.

Considerando que para caudales más bajos se requieren diámetros de rodete en las turbinas con menor dimensiones, lo cual significa a su vez el número de alabes se viene disminuyendo, como es el caso de (Llano, 2012), que en su proyecto de grado Montaje y evaluación en laboratorio de un sistema prototipo de pico-generación hidroeléctrica con una turbina michell – banki, propone que para un caudal de $0.012 \text{ m}^3/\text{s}$, se requiere un rodete de 150 mm con un salto de 6.5 metros. Para en consecuencia generar 650 W .

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

i. Conclusiones

- En esta investigación cuantitativa y experimental, se logra cumplir el objetivo de diseñar un pico central hidroeléctrica en la quebrada Tumbillan, las Pirias – Jaén, la cual permitirá a los habitantes del sector de Tumbillan acceder a una energía la cual aprovecha los recursos en su espacio geográfico.
- Se obtuvo como resultados de la potencia hídrica de la quebrada Tumbillan un caudal aproximado de 29 litros por segundo, considerando que los datos obtenidos fueron durante época de estiaje.
- El dimensionamiento de la central está conformado por un motor de inducción de 1.5 HP, para la generación eléctrica, una turbina Michell Banki esquematizado mediante programas especializados con dimensiones de 200 mm de diámetro del rodete que recibirá un chorro de agua desde una altura neta de 6 metros, altura en la cual se habilitara una cámara de carga de 1.5 metros de altura, La potencia eléctrica de esta central es de 1.08 kW.
- El coste total entre costos para la generación, costos de tuberías, aceros, accesorios y pernería, para llevar a cabo la ejecución de este proyecto, asciende a S/. 7 947.40 nuevos soles, donde también viene incluido la mano de obra y soldadura de la turbina, además de la movilidad de los materiales para la realización.

ii. Recomendaciones

- Se recomienda un estudio en las poblaciones rurales sobre el impacto de la energía eléctrica con respecto a la condición de vida los habitantes.
- Al no contar con un historial del caudal del río Tumbillan, es de suma importancia la realización de un estudio hidrológico completo para así obtener datos más precisos para una factible implementación.
- Se recomienda realizar periódicas revisiones de la cámara de carga para evitar la acumulación de sedimentos que pueda traer el cauce del río evitando el libre flujo del agua hacia la turbina.

- Se recomienda recurrir a personal de soldadura con vasta experiencia en acero inoxidable, debido a que el cuerpo cuenta con este material en su mayor parte, y así evitar dañar el material o la estructura de esta.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bernal, D., & Urriago, J. (2023). *Diseño y simulación de una pequeña central hidroeléctrica, aprovechando el cauce de una quebrada para la energización de un galpón ubicado en Pore, Casanare*. Bogota.
- Cardona, C., Sierra, J., & Chica, E. &. (18 de marzo de 2018). Turbinas hidrocínicas de eje horizontal: una revisión. pág. 198.
- Chamorro, G. (2011). *Estimación del caudal por método de flotadores*. Lima: senamhi.
- Coz, F., Sanchez, T., Viani, B., Segura, J., Rodriguez, L., Miranda, H., . . . Moreno, L. &. (1995). *Manual de mini y microcentrales hidráulicas*. Lima: ITDG-PERU.
- Hernandez, C., Indacochea, E., & Pardo, R. (1988). *Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas*. Olade.
- Llano, E. (2012). *Montaje y evaluación en laboratorio de un sistema prototipo de pico-generación hidroeléctrica con una turbina muichell - banki* . Medellin: Universidad EAFIT.
- Median, E., & Sigchi, B. (2021). *Diseño y análisis para la implementación de un sistema de pico-aprovechamiento en generación hidroeléctrica*. Cuenca: Universidad Politécnica salesiana .
- Millan, J. (2015). *Diseño de una turbina michell banki para su implementación en el banco de ensayos de turbinas del laboratorio de energía*. Lima.
- Ministerio de energía y minas. (Junio de 2023). *Plan nacional de electrificación rural*. Plan nacional de electrificación rural:
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5644885/5003343-plan-nacional-de-electrificacion-rural-pner-2024-2033.pdf>
- Monteza, D. (2022). *Pequeña central hidroeléctrica de agua fluyente del cauce del río Utcubamba, ubicado en el distrito de Bagua grande – provincia de Utcubamba – departamento de Amazonas* . Lambayeque.

Ortiz, R. (2011). *Pequeñas centrales hidroelectricas construccion paso a paso*. Bogota: Ediciones de la U.

Tecnologias Olade. (s.f.). *Manual de diseño estandarizacion y fabricacion de equipos para pequeñas centrales hidroelectricas*.

Universidad Nacional de Santana. (25 de septiembre de 2014). *Obras civiles PCH*.
<https://es.slideshare.net/slideshow/camara-de-carga-central-hidroelectrica-de-pasada/39548976>

VII. DEDICATORIA

Esta te trabajo está dedicada para mi amada familia, por su amor incondicional, apoyo constante y paciencia infinita todo este tiempo. Gracias por estar siempre a mi lado, brindándome fuerza en cada paso de este camino.

Esta investigación lleva consigo un pedazo de su sacrificio y dedicación, también un reflejo de su fe en mí y de los valores que me han transmitido.

A ustedes, mi más sincero agradecimiento y todo mi amor.

Jhonatan Sarmiento Yajamanco

Dedico este proyecto a quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y motivación, mis hijos, por su alegría y amor que siempre me han dado fuerzas para seguir adelante.

Este logro es tanto mío como suyo, porque sin su presencia y su aliento, este camino habría sido mucho más difícil.

Los amo profundamente y este trabajo es para ustedes, mi mayor tesoro.

Osmar Vega Llamo

VIII. AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mis queridos padres, quienes han sido mis pilares a lo largo de mi vida. A mi madre, por su amor incondicional y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia.

Especialmente a mi padre por su sabiduría, su guía y por haberme inculcado desde pequeño la importancia de la educación y el trabajo duro. Por su confianza en mí. Siempre has sido mi modelo a seguir, gracias por tus enseñanzas, tanto en los momentos de éxito como en los de dificultad que me han ayudado a superar cualquier obstáculo en el camino.

Este logro es el reflejo de su sacrificio y amor, y sin ustedes no habría sido posible alcanzar esta meta. Les dedico este trabajo con todo mi corazón, agradecido por cada sacrificio y cada palabra de aliento.

Osmar Vega Llamo

Agradezco a mi familia por su amor y apoyo incondicional la que me fue necesaria para continuar adelante en los momentos más difíciles, gracias por creer en mí.

También agradecer a los docentes de Universidad Nacional de Jaén por compartir su sabiduría, motivación y compromiso con mi formación académica, así como también a mis compañeros de estudios, cuya colaboración y compañerismo hicieron de este recorrido algo mucho más enriquecedor.

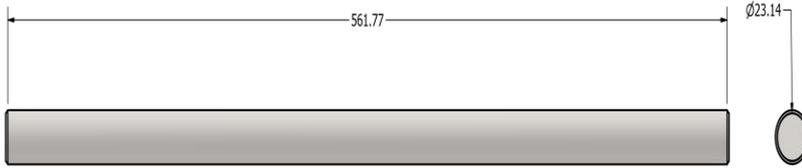
Finalmente, agradezco a todos aquellos que, de alguna u otra manera, contribuyeron a este proyecto, ya sea con su tiempo, conocimientos o palabras de aliento. Este logro es el resultado del esfuerzo y apoyo de cada uno de ustedes.

Jhonatan Sarmiento Yajamanco

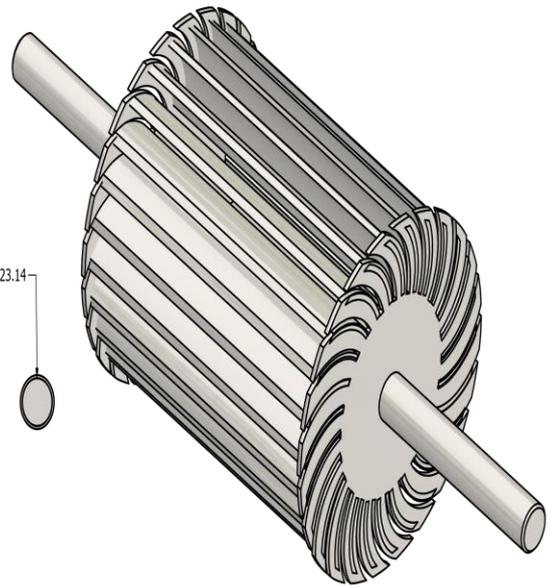
IX. ANEXOS

PLANOS DEL PROYECTO

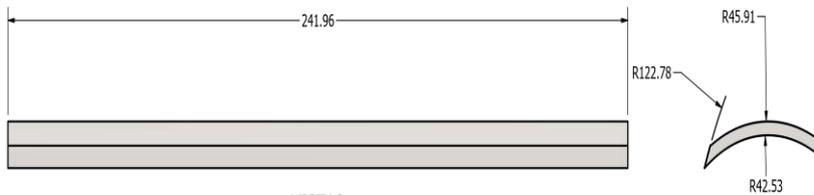
RODETE



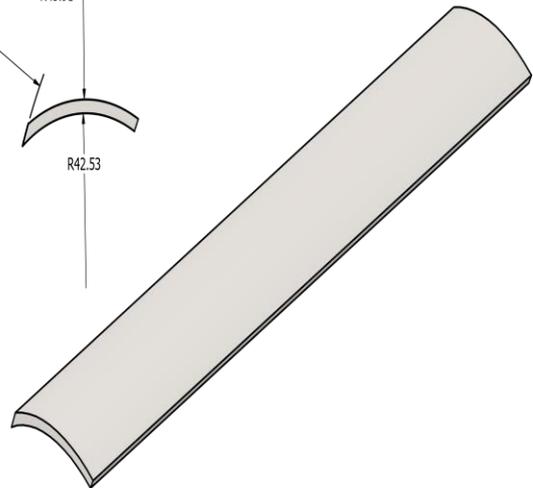
VISTA3
ESCALA 1 / 2



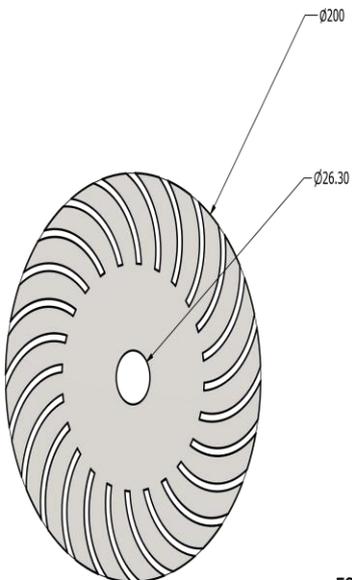
VISTA2
ESCALA 1 / 2



VISTA9
ESCALA 1 : 1

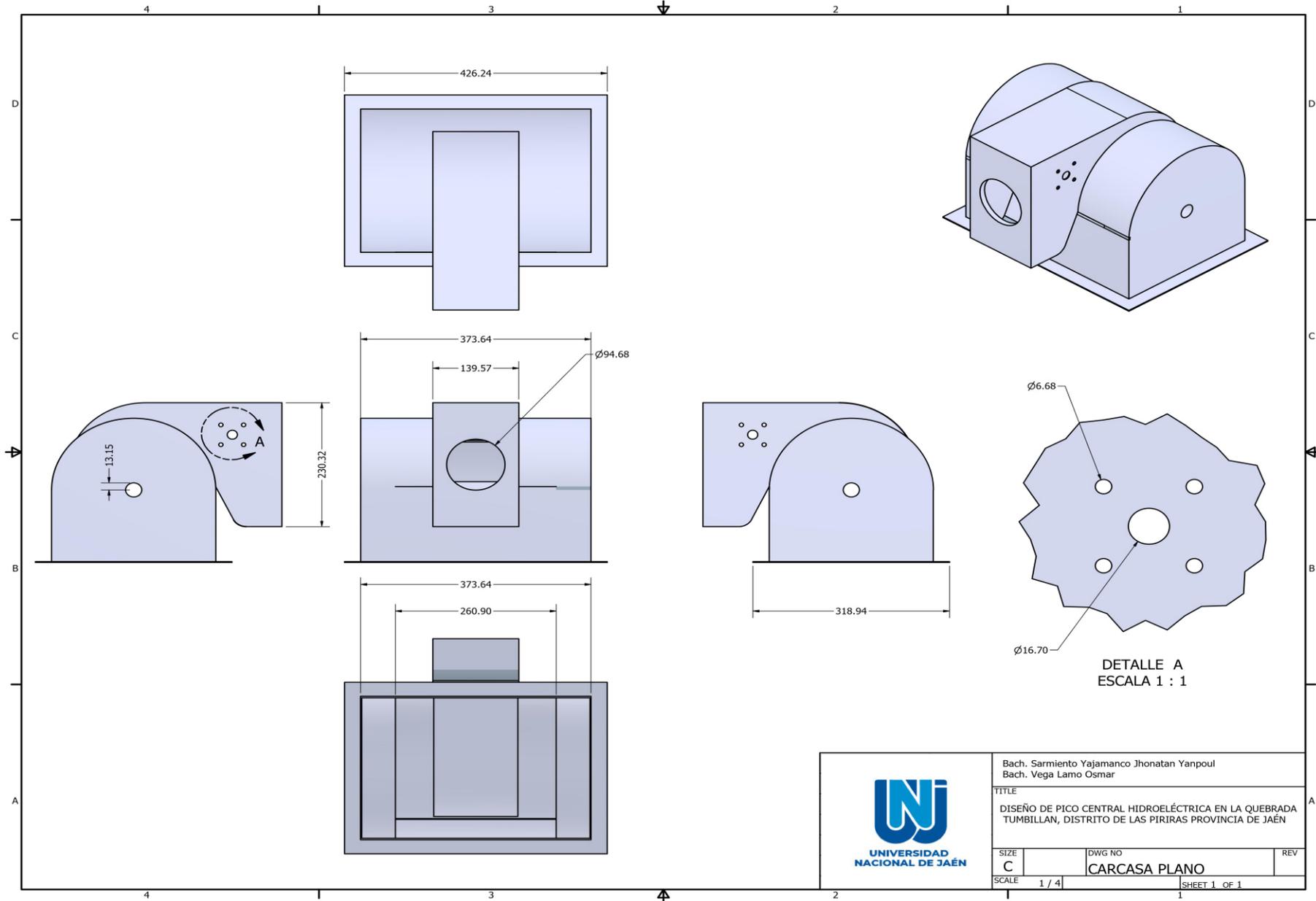


VISTA8
ESCALA 1 : 1



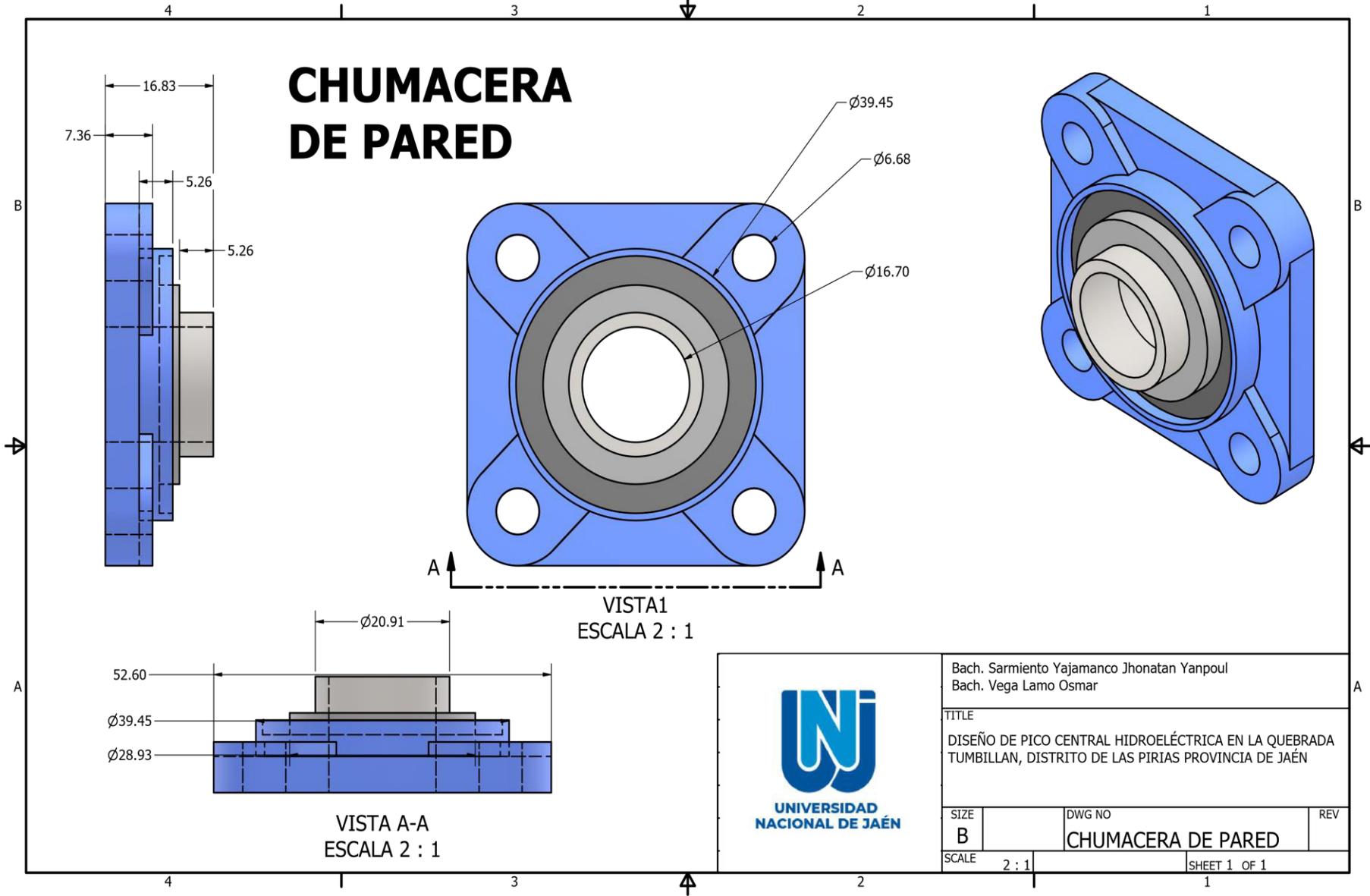
VISTA5
ESCALA 1 / 2

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN			Bach. Sarmiento Yajamanco Jhonatan Yanpoul		
			Bach. Vega Lamo Osmar		
TÍTULO					
DISEÑO DE PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA QUEBRADA TUMBILLAN, DISTRITO DE LAS PIÑAS PROVINCIA DE JAÉN					
SIZE	DWG NO		REV		
C			ALABES Y RODETE		
SCALE	1 / 2		SHEET 1 OF 1		

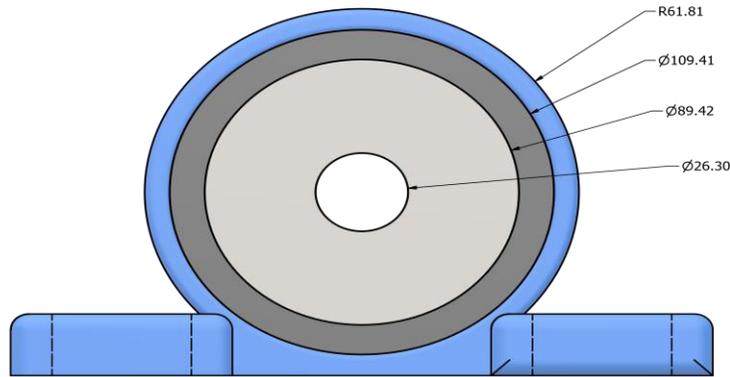
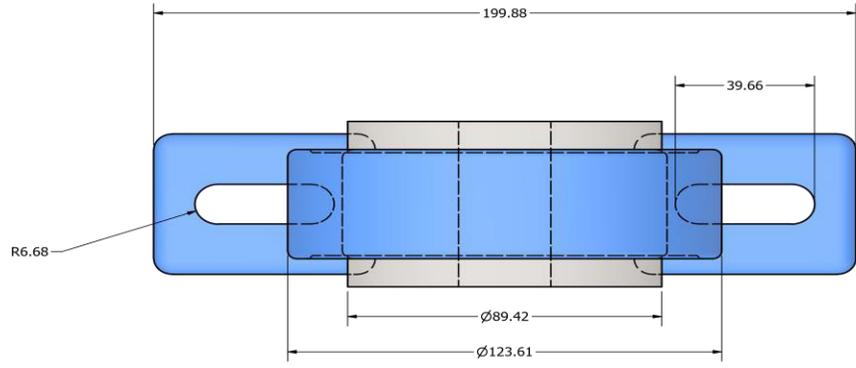


			Bach. Sarmiento Yajamanco Jhonatan Yanpoul		
			Bach. Vega Lamo Osmar		
TITLE					
DISEÑO DE PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA QUEBRADA TUMBILLAN, DISTRITO DE LAS PIRIRAS PROVINCIA DE JAÉN					
SIZE	DWG NO		REV		
C	CARCASA PLANO				
SCALE	1 / 4		SHEET 1 OF 1		

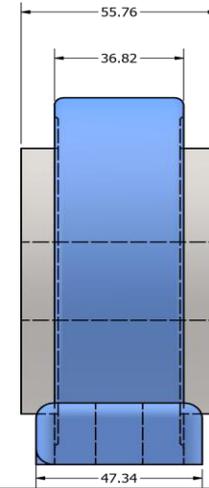
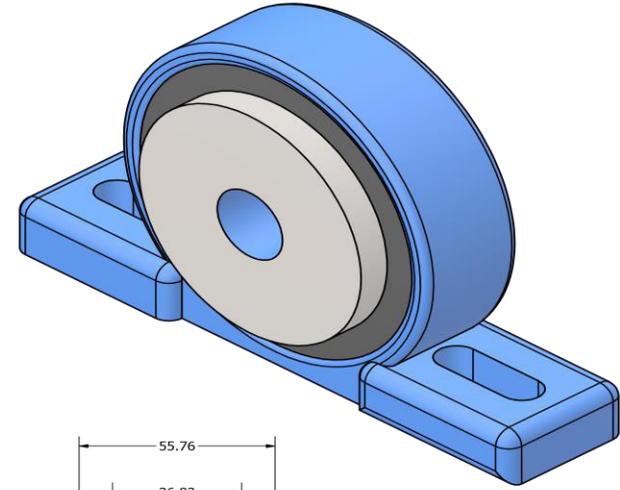
CHUMACERA DE PARED



CHUMACERA DE PISO

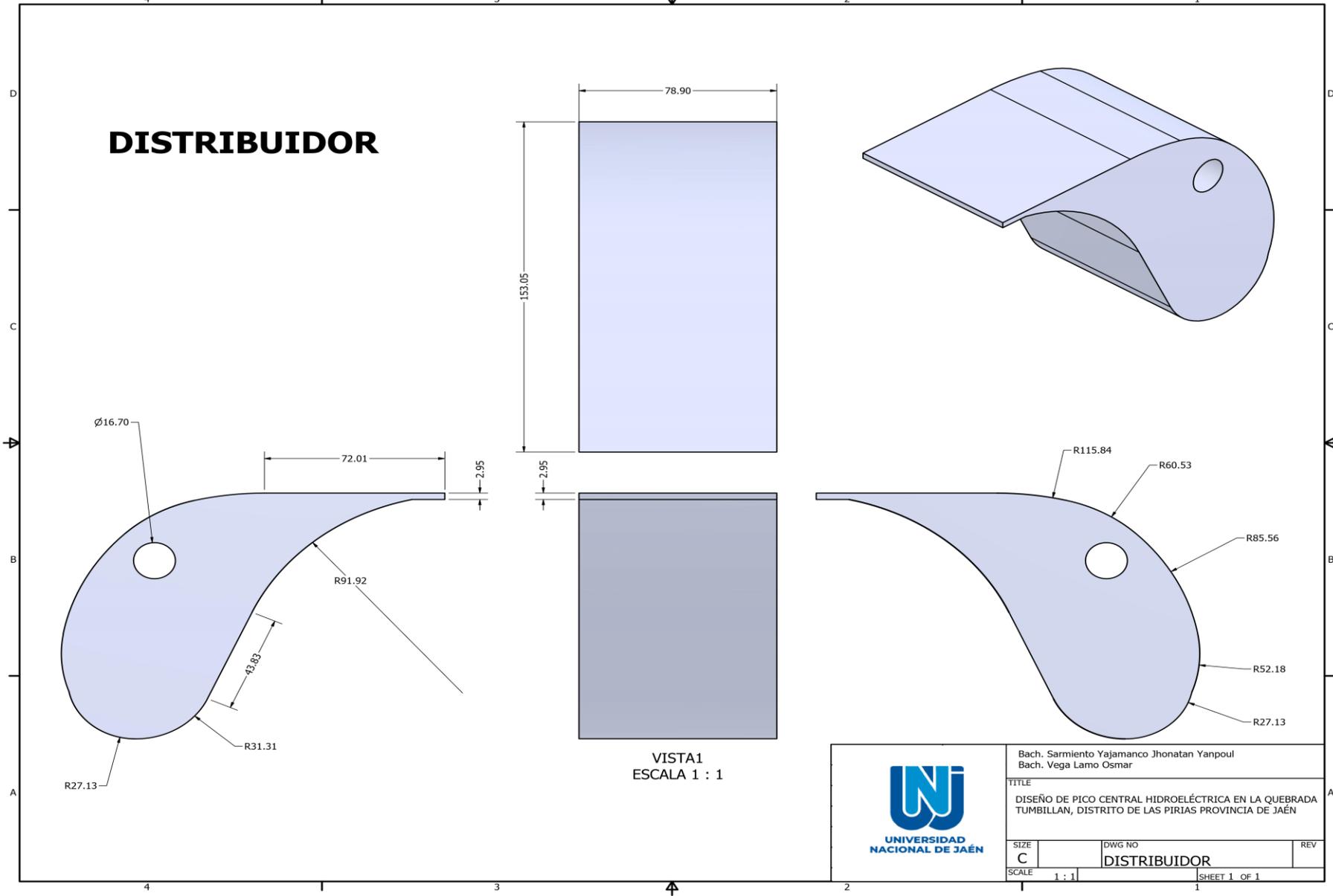


VISTA1
ESCALA 1 : 1



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN</p>	Bach. Sarmiento Yajamanco Jhonatan Yanpoul Bach. Vega Lamo Osmar	
	TÍTULO DISEÑO DE PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA QUEBRADA TUMBILLAN, DISTRITO DE LAS PIRIAS PROVINCIA DE JAÉN	
SIZE C	DWG NO CHUMACERA DE PISO	REV
SCALE 1 : 1	SHEET 1 OF 1	

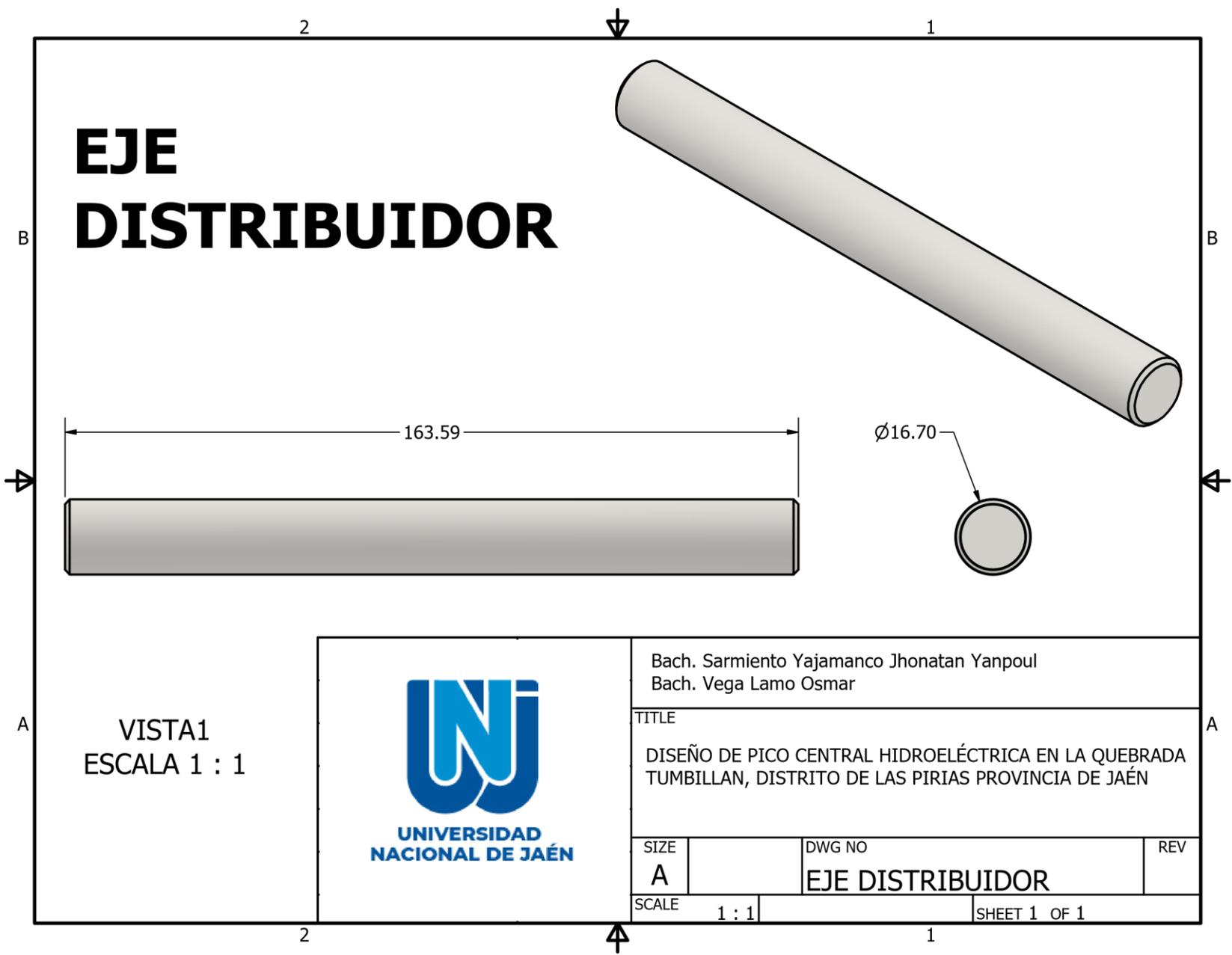
DISTRIBUIDOR



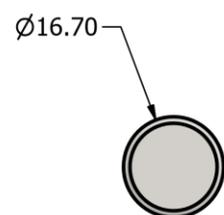
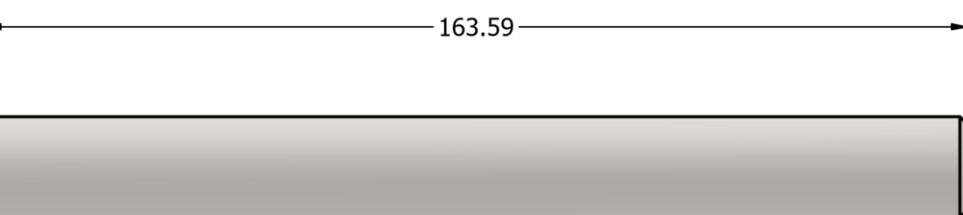
VISTA1
ESCALA 1 : 1



Bach. Sarmiento Yajamarco Jhonatan Yanpoul Bach. Vega Lamo Osmar		
TITLE DISEÑO DE PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA QUEBRADA TUMBILLAN, DISTRITO DE LAS PIRIAS PROVINCIA DE JAÉN		
SIZE C	DWG NO DISTRIBUIDOR	REV
SCALE 1 : 1	SHEET 1 OF 1	



EJE DISTRIBUIDOR



VISTA1
ESCALA 1 : 1

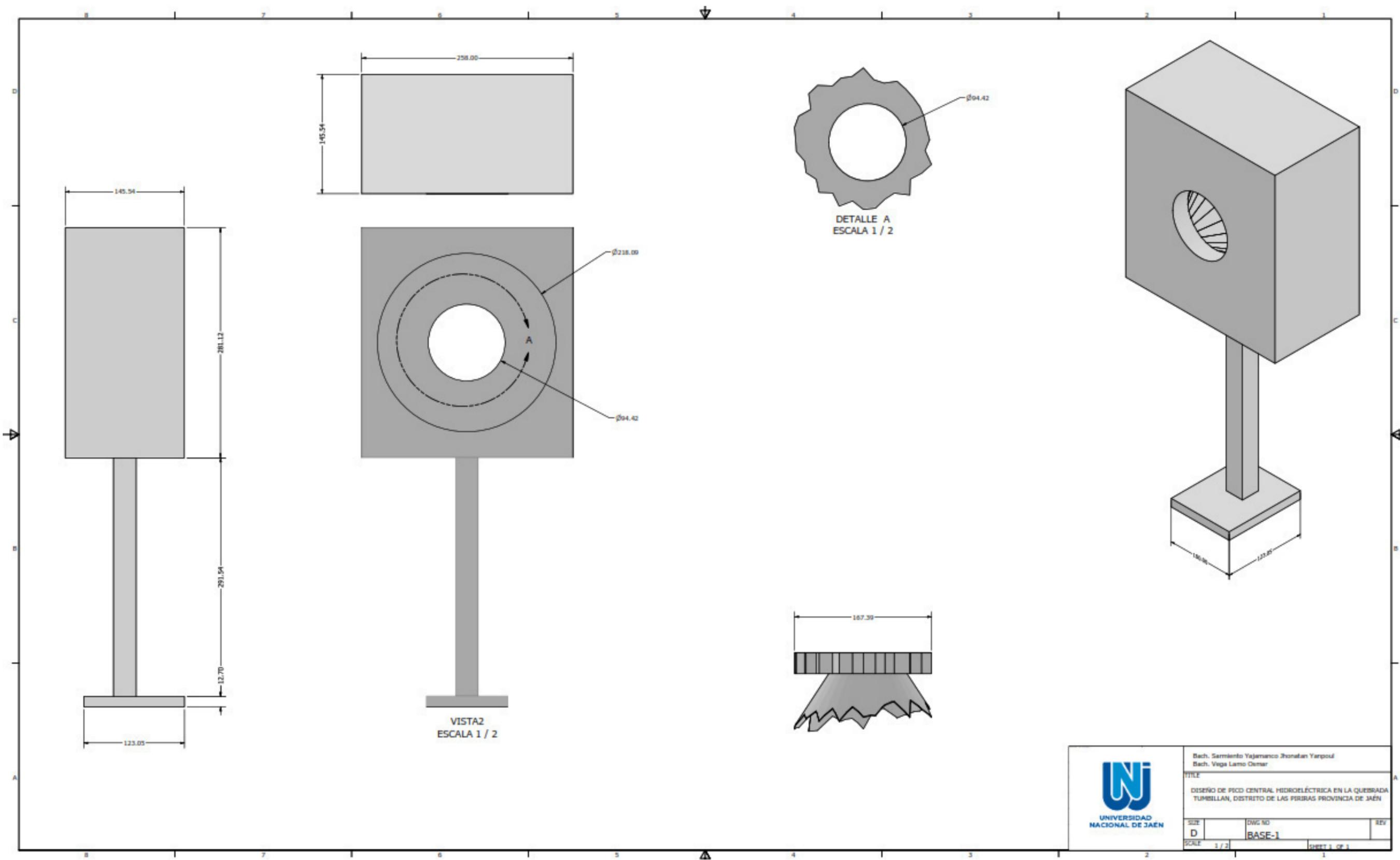


Bach. Sarmiento Yajamanco Jhonatan Yanpoul
Bach. Vega Lamo Osmar

TITLE
DISEÑO DE PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA QUEBRADA TUMBILLAN, DISTRITO DE LAS PIRIAS PROVINCIA DE JAÉN

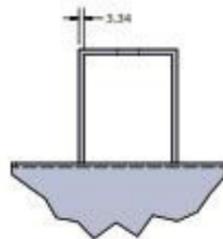
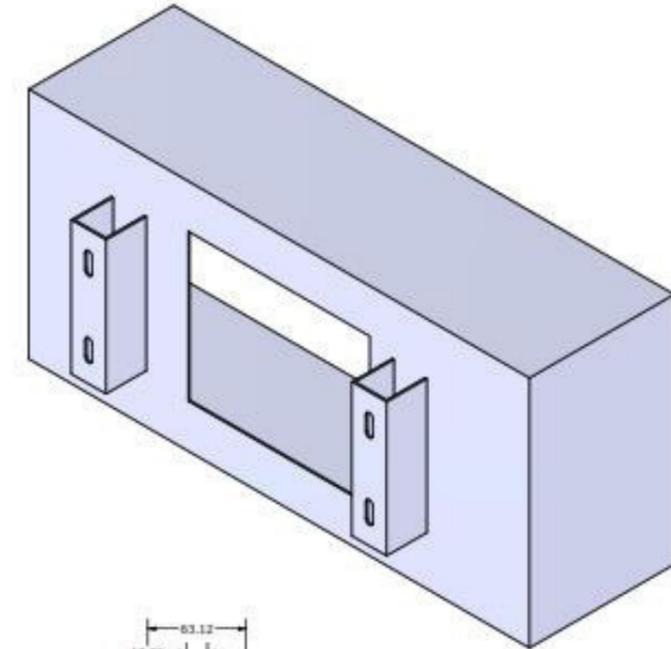
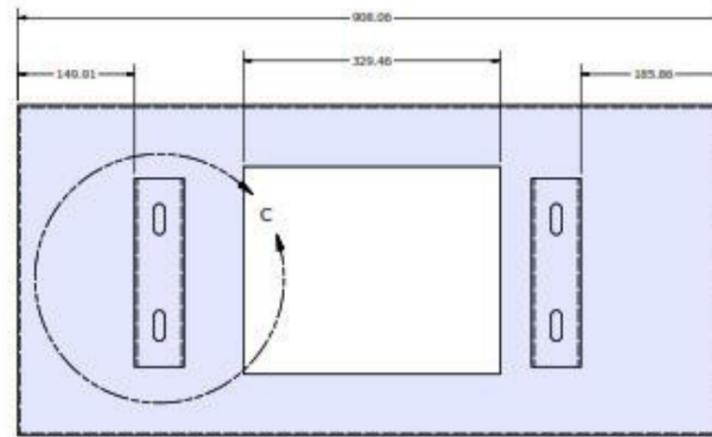
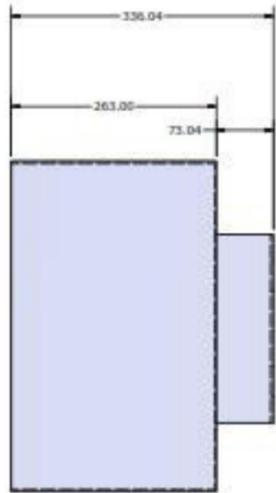
SIZE		DWG NO	REV
A		EJE DISTRIBUIDOR	

SCALE	1 : 1	SHEET 1 OF 1
-------	-------	--------------

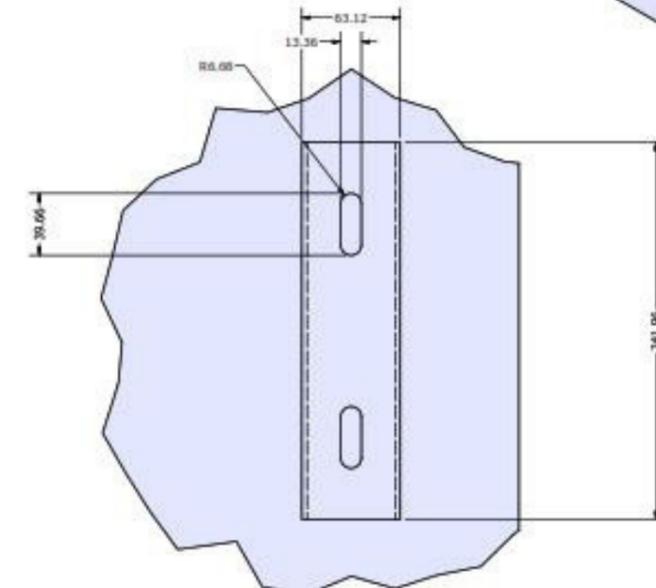
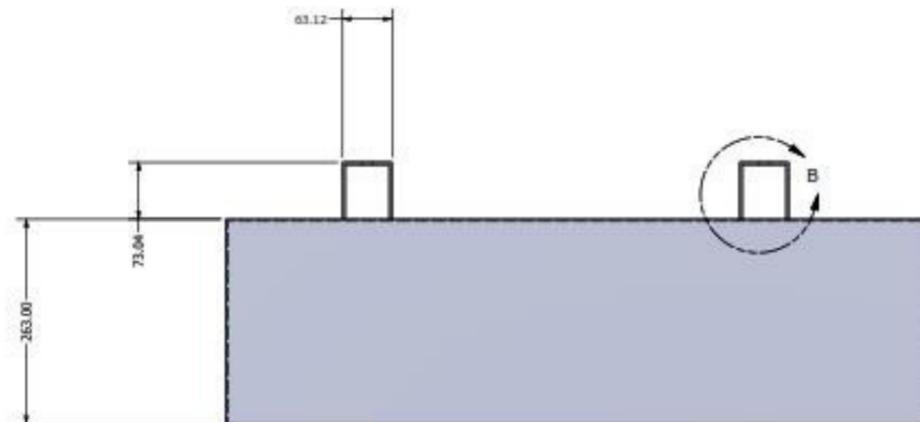


 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN	Bach. Sermiento Yajamanco Jhonatan Yarpoúl Bach. Vega Lamo Cesar		
	TÍTULO DISEÑO DE PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA QUEBRADA TUMBELLAN, DISTRITO DE LAS PIRIRAS PROVINCIA DE JAÉN		
	SIZE D	DWG NO BASE-1	REV
	SCALE 1 / 2	SHEET 1 OF 1	

ESTRUCTURA BASE



DETALLE B
ESCALA 1 / 2



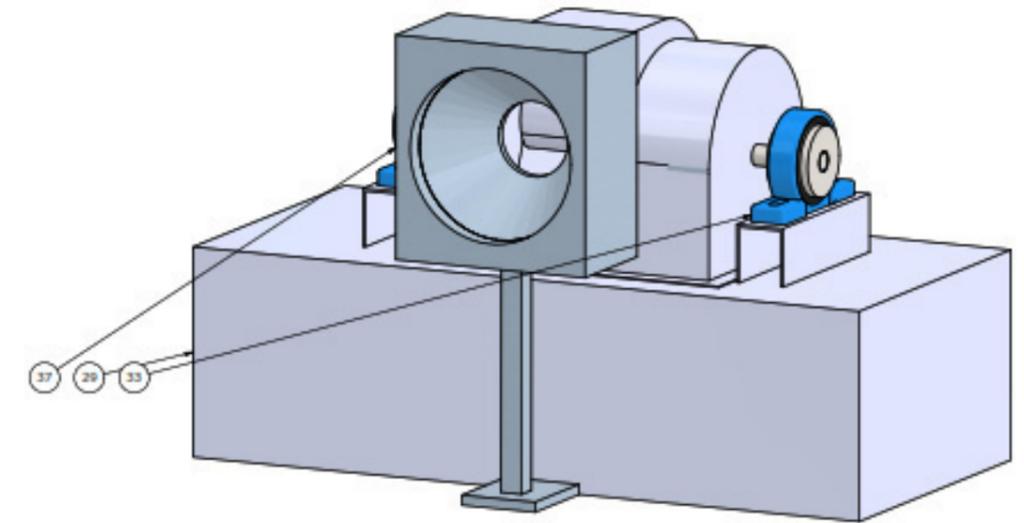
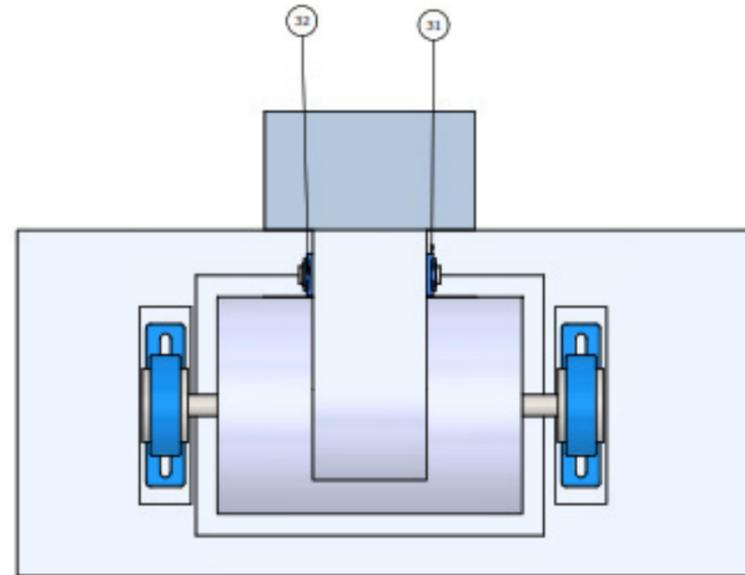
DETALLE C
ESCALA 1 / 2



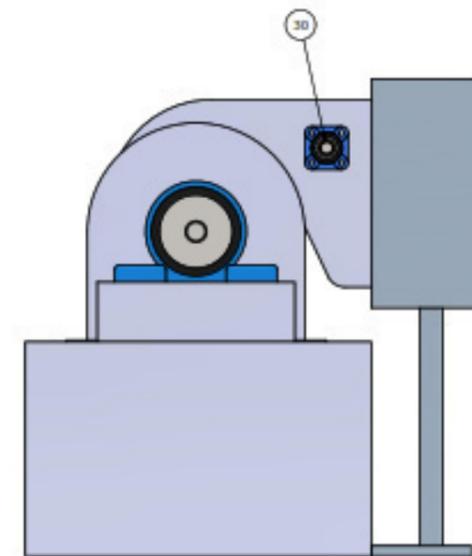
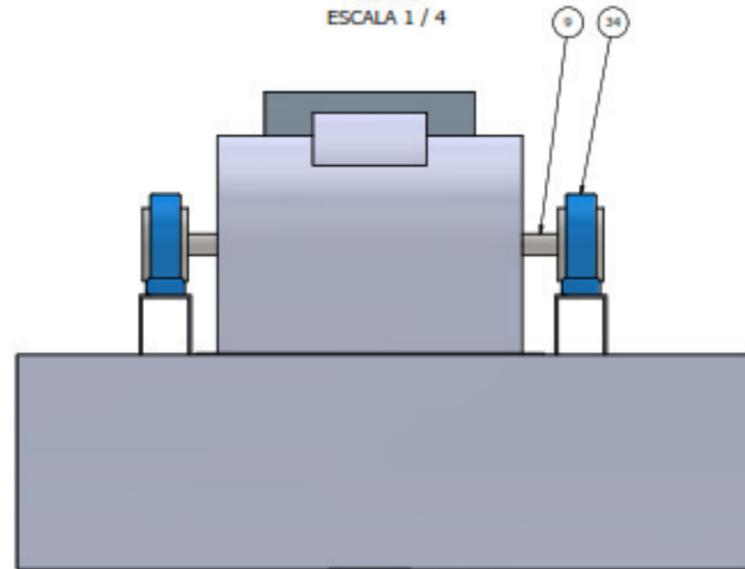
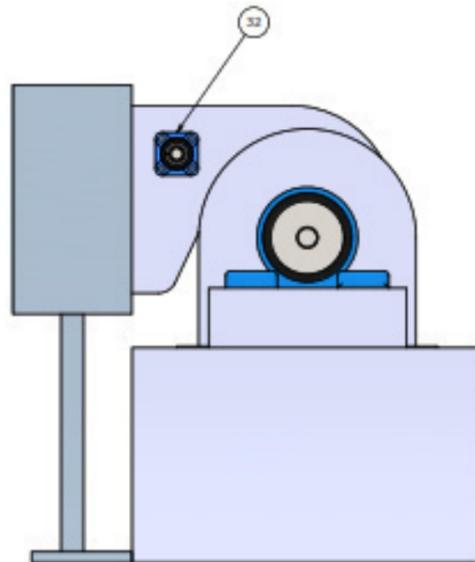
Bach. Sarmiento Yagameco Jhonatan Yanpoul		
Bach. Vega Lario Osmar		
TÍTULO		
DISEÑO DE PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA QUEBRADA TURBELLAN, DISTRITO DE LAS PIRAS PROVINCIA DE JAÉN		
SIZE	DWG NO	REV
D	ESTRUCTURA BASE	
SCALE	1 / 4	HOY 1 OF 1

TURBINA MICHELL - BANKI

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Alabe	
2	1	ALABE	
3	1	ALABE	
4	1	ALABE	
5	1	ALABE	
6	1	Tapa rodete	
7	1	ALABE	
8	1	TAPA RODETE	
9	1	EJE RODETE	
10	1	ALABE	
11	1	ALABE	
12	1	DISTRIBUIDOR	
13	1	ALABE	
14	1	ALABE	
15	1	ALABE	
16	1	ALABE	
17	1	ALABE	
18	1	ALABE	
19	1	ALABE	
20	1	ALABE	
21	1	ALABE	
22	1	ALABE	
23	1	ALABE	
24	1	ALABE	
25	1	ALABE	
26	1	ALABE	
27	1	ALABE	
28	1	ALABE	
29	1	ALABE	
30	1	EJE DISTRIBUIDOR	
31	1	CHUMBERA DE PARED	
32	1	CHUMBERA DE PARED	
33	1	CHUMBERA DE PESO	
34	1	CHUMBERA DE PESO	
35	1	ALABE	
36	1	ALABE	
37	1	CARCASA CON RECIPIENTE	



VISTA1
ESCALA 1 / 4



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN	Bach. Semirito Yajamanco Jhonatan Yarpoul Bach. Vega Lamo Omar		
	TÍTULO DISEÑO DE PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA QUEBRADA TUMBILLAN, DISTRITO DE LAS PIÑAS PROVINCIA DE JAÉN		
SIZE D	DWG NO COMPLETO	REV	
SCALE 1 / 4	SHEET 1 OF 1		