

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**IMPLEMENTACIÓN DE UNA TURBINA HIDROCINÉTICA  
DE EJE HORIZONTAL, PARA GENERACIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA EN CANALES FLUVIALES DE  
ZONAS RURALES**

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

**Autores : Bach. Osmer Tantaleán Barboza  
Bach. Cristian Enrique Polo Vallejos**

**Asesores : Mg. Henry Oswaldo Pinedo Nava  
M. Sc. Lenin Franchescoeth Núñez Pintado**

**JAÉN - PERÚ, ENERO, 2020**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

## ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 29 de Enero del año 2020, siendo las 18:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Mg. Mario Felix Olivera Aldana

Secretario : Mg. Jannier Alberto Montenegro Juárez

Vocal : Dr. Deibi Eric García Campos, para evaluar la Sustentación de:

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

Titulado: "Implementación de una turbina hidrocínética de eje horizontal, para generación de energía eléctrica en canales fluviales de zonas rurales" presentado por los Bachilleres Osmer Tantaleán Barboza y Cristian Enrique Polo Vallejos, de la Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(  ) Aprobar ( ) Desaprobar (  ) Unanimidad ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

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

Siendo las 19:04 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

  
\_\_\_\_\_  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
Vocal

## **DEDICATORIA**

A mi madre y hermanos ya que fueron un punto clave para salir adelante, estuvieron conmigo en mi proceso académico todo el tiempo, por sus consejos y valores que me inculcaron.

A Dios por darme salud y regalarme esta buena experiencia.

**Osmer Tantaleán Barboza.**

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme salud y bienestar.

A mi ángel guardián, mi abuelita Orfelinda que desde el cielo me ilumina hoy y siempre.

A mis padres, hermanos y toda mi familia, por su apoyo incondicional, porque gracias a ellos he aprendido y corregido hábitos para lograr ser un mejor ser humano y ser beneficioso para la sociedad.

**Cristian Enrique Polo Vallejos.**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a la Universidad Nacional de Jaén, a la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, y a cada uno de los docentes por todos los conocimientos entregados en toda esta etapa de vida universitaria.

A nuestros asesores de tesis Mg. Ing. Henry Oswaldo Pinedo Nava y el Msc. Lenin Franchescoleth Núñez Pintado, por su colaboración y sabios aportes para concretizar con éxito este proyecto.

A la comisión de usuarios del canal Chililique y al Sr. Julio Vargas, vigilante de la bocatoma del canal, por su constante colaboración e interés demostrado durante el montaje y pruebas realizadas.

También al director del Instituto SENATI Jaén por facilitarnos del laboratorio de dicha institución y al profesor Juan Luis Barrantes por su activa participación y colaboración a través de sus experiencias, conocimientos, sugerencias y soporte técnico para hacer posible la elaboración de este proyecto.

# ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
2.1. GENERAL .....	2
2.2. ESPECIFICOS .....	2
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
3.1. MATERIALES .....	3
3.1.1. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	3
3.1.2. SOFTWARE DE INGENIERIA Y DE OFICINA.....	3
3.1.3. MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS DE CONSTRUCCIÓN.....	3
3.2. VARIABLES DE ESTUDIO .....	4
3.2.1. Variables independientes.....	4
3.2.2. Variables dependientes.....	4
3.3. MÉTODOS, TÉCNICAS, PROCEDIMIENTOS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	4
3.3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	4
3.3.2. METODOLOGÍA .....	4
3.3.2.1. CARACTERISTICAS GEOMÉTRICAS E HIDRÁULICAS DEL CANAL .....	6
A. UBICACIÓN.....	6
B. GEOMETRÍA DEL CANAL.....	6
C. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL ( $Q_c$ ).....	7
3.3.2.2. ENERGÍA DE UN FLUIDO EN MOVIMIENTO .....	7
3.3.2.3. POTENCIA SUMINISTRADA.....	8
3.3.2.4. FACTORES QUE AFECTAN LA POTENCIA SUMINISTRADA.....	9
3.3.2.5. ESQUEMA DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA.....	10
3.3.2.6. SELECCIÓN DE LA TURBINA HIDROKINETICA DE EJE HORIZONTAL	11
3.3.2.7. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO DE TURBINA .....	11
3.3.2.8. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS, CINEMÁTICOS Y DINÁMICOS DE LA RUEDA HIDROKINÉTICA.....	13
A. DIMENSIONAMIENTO DE LOS ÁLABES.....	13
B. DIÁMETRO DE LA RUEDA HIDROKINÉTICA .....	14
C. NÚMERO DE ÁLABES.....	14
D. CÁLCULO DE LA POTENCIA HIDRÁULICA DISPONIBLE EN EL ALABE ( $P_h$ )	15
E. VELOCIDAD TANGENCIAL ( $V_t$ ).....	15
F. VELOCIDAD ANGULAR ( $\omega$ ).....	16
G. CÁLCULO DE LA POTENCIA MECANICA TEÓRICA DE LA RUEDA ( $P_R$ ) ..	17
H. MOMENTO DE GIRO O TORQUE TEÓRICO DE LA RUEDA HIDRÁULICA ( $M_t$ )	17
I. CALCULO DE LA PRESIÓN DINÁMICA DE FLUIDO EN EL CANAL ( $P_d$ ) ...	18
J. FUERZA DEL AGUA SOBRE LA SUPERFICIE DEL ÁLABE ( $F_a$ ).....	18
K. POTENCIA MECÁNICA REAL EN LA RUEDA HIDRÁULICA ( $P_{real}$ ).....	19
L. ENERGIA GENERADA (E) .....	19
M. SELECCIÓN DE TRASMISIÓN MECÁNICA Y MULTIPLICADOR DE RPM.	20
N. DISEÑO DE LA RUEDA HIDRÁULICA .....	26

O.	DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA RUEDA HIDRÁULICA.....	27
P.	ESTRUCTURA PARA SOPORTE DE RUEDA HIDRÁULICA .....	33
Q.	SELECCIÓN DE GENERADOR ELÉCTRICO .....	33
R.	CONSTRUCCIÓN DE LA RUEDA HIDRAULICA.....	35
3.3.2.9.	PRESUPUESTO REFERENCIAL .....	46
A.	ETAPA DE DISEÑO .....	46
B.	ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.....	47
C.	ETAPA DE FABRICACIÓN, ENSAMBLAJE Y MONTAJE .....	48
D.	COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.....	48
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>50</b>
4.1.	PRUEBAS EXPERIMENTALES EN EL CANAL .....	51
4.1.1.	CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA RUEDA .....	51
4.1.2.	PRUEBAS Y ANALISIS DE DATOS .....	53
4.1.3.	PRUEBAS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN PARA VERIFICAR SU FUNCIONAMIENTO EN SU IMPLEMENTACIÓN .....	53
4.1.3.1.	CORRIENTE GENERADA PARA CARGA DE BATERIA .....	53
<b>V.</b>	<b>DISCUSIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>58</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>63</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA RUEDA HIDRÁULICA .....	36
TABLA 2. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LA RUEDA HIDRÁULICA ...	38
TABLA 3. PRESUPUESTO REFERENCIAL DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA ETAPA DE DISEÑO .....	47
TABLA 4. PRESUPUESTO REFERENCIAL DE MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROYECTO .....	47
TABLA 5. PRESUPUESTO REFERENCIAL DE MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROYECTO .....	48
TABLA 6. DATOS DE OPERACIÓN DE LA RUEDA HIDRÁULICA.....	52
TABLA 7. DATOS OBTENIDOS DE LAS MEDICIONES DEL GENERADOR ELÉCTRICO EN DIVERSAS INSTANCIAS DE TIEMPO PARA LAS MISMAS CONDICIONES DE POSICIÓN DE COMPUERTA PRINCIPAL DEL CANAL .....	53
TABLA 8. RESULTADOS DE LABORATORIO SENATI, PARA DETERMINAR LOS RPM NECESARIOS PARA EMPEZAR A GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL ALTERNADOR SELECCIONADO.....	63



# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> DIAGRAMA DE PROCESOS DONDE MUESTRA EL PROCEDIMIENTO PARA ELABORACIÓN DEL PRESENTE PROYECTO. CABE MENCIONAR QUE CADA PROCEDIMIENTO FUE EVALUADO ANTES DE PROSEGUIR A LA SIGUIENTE. ....	5
<b>FIGURA 2.</b> VISTA SATELITAL DEL CANAL DE REGADÍO CHILLIQUE, DONDE ESTÁ UBICADO EL PROYECTO (LATITUD: -5.71228 Y LONGITUD: -78.82887). ....	6
<b>FIGURA 3.</b> CORTE TRANSVERSAL DEL CANAL DE REGADÍO CHILLIQUE.....	6
<b>FIGURA 4.</b> ÁREA DE BARRIDO.....	7
<b>FIGURA 5.</b> PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA .....	11
<b>FIGURA 6.</b> TURBINA HIDROKINÉTICA.....	12
<b>FIGURA 7.</b> DETALLE DE ÁLABE.....	13
<b>FIGURA 8.</b> DIÁMETRO DE LA RUEDA HIDROKINÉTICA .....	14
<b>FIGURA 9.</b> CONTACTO DE ÁLABES CON EL FLUIDO.....	15
<b>FIGURA 10.</b> DETALLE DE LAS POLEAS Y FAJAS DE LA TURBINA HIDRÁULICA: (A) DISEÑO GEOMÉTRICO EN AUTOCAD, (B) MANUFACTURA DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	23
<b>FIGURA 11.</b> GEOMETRÍA DE BANDA REDONDA.....	26
<b>FIGURA 12.</b> DIMENSIONES DEL SOPORTE LATERAL DEL ÁLABE.....	28
<b>FIGURA 13.</b> DIMENSIONES DEL SOPORTE CENTRAL DEL ÁLABE. ....	28
<b>FIGURA 14.</b> DETALLE EN CM DE LOS DISCOS LATERALES. (A) VISTA LATERAL, (B) VISTA DE PLANTA.....	29
<b>FIGURA 15.</b> DETALLE DE LOS DISCOS CENTRALES. DIMENSIONES EN CM. A) VISTA DE PLANTA, (B) VISTA LATERAL.....	30
<b>FIGURA 16.</b> DETALLE DE LOS ÁLABES. DIMENSIONES EN METROS.....	31
<b>FIGURA 17.</b> DETALLE DEL EJE DE TRANSMISIÓN. DIMENSIONES EN METROS. ....	32
<b>FIGURA 18.</b> DETALLES DE LOS SOPORTES PERIFÉRICOS. DIMENSIONES EN METROS.....	33
<b>FIGURA 19.</b> PARTES DE UN ALTERNADOR .....	34
<b>FIGURA 20.</b> SIMULACIÓN Y PRUEBAS EN LABORATORIO SENATI, CON EL ALTERNADOR SELECCIONADO EN EL PROYECTO PARA DETERMINAR RPM ÓPTIMAS.....	35
<b>FIGURA 21.</b> MARCACIÓN DE LOS PUNTOS A PERFORAR EN ÁLABES Y SOPORTES. ....	40
<b>FIGURA 22.</b> UNIÓN DE ÁLABES EN SUS RESPECTIVOS SOPORTES. (A) AJUSTE DE PERNOS, (B)ÁLABES ENSAMBLADOS EN SUS RESPECTIVOS SOPORTES PRINCIPALES DE ÁLABES. ....	41
<b>FIGURA 23.</b> UNIÓN MEDIANTE SOLDADURA DE LOS SOPORTES EN LOS DISCOS DE TRANSMISIÓN. (A)SOLDADURA DE LOS SOPORTES PRINCIPALES EN LOS DISCOS DE TRANSMISIÓN, (B)PRESIÓN CON UNA PRENSA MANUAL ENTRE LOS SOPORTES DE ÁLABES A LOS DISCOS DE TRANSMISIÓN. ....	42
<b>FIGURA 24.</b> TOMAS FOTOGRÁFICAS DE LA MANUFACTURA DE LA UNIÓN MEDIANTE CHAVETAS Y PRISIONERO ALLEN DE LOS DISCOS DE TRANSMISIÓN EN EL EJE DEL ROTOR. (A) Y (B) AJUSTE DE PRISIONEROS ALLEN. ....	43

<b>FIGURA 25.</b> UNIÓN MEDIANTE SOLDADURA DE LOS PERFILES PERIFÉRICOS EN LOS SOPORTES LATERALES.....	43
<b>FIGURA 26.</b> UNIÓN MEDIANTE SOLDADURA DE TODAS LAS PARTES QUE EQUIPAN LA ESTRUCTURA. (A) VISTA DE LOS SOPORTES AUN POR SOLDAR, (B) VISTA DE LOS SOPORTES SOLDÁNDOSE A LA ESTRUCTURA. ....	44
<b>FIGURA 27.</b> ENSAMBLE DE LA POLEA DE 2 ½” Y EL ARO DE LLANTA PARA BICICLETA DE 24” EN EL EJE DE TRANSMISIÓN. ....	45
<b>FIGURA 28.</b> INSTALACIÓN DEL ALTERNADOR ELÉCTRICO. ....	45
<b>FIGURA 29.</b> RELACIÓN DE TRANSMISIÓN. ....	46
<b>FIGURA 30.</b> CANAL CHILILIQUE DONDE SE UBICA Y REALIZARON LAS PRUEBAS .....	50
<b>FIGURA 31.</b> ESQUEMA DE LOS PARÁMETROS DE ALTURA Y VELOCIDAD DE CORRIENTE DE AGUA EN EL ÁREA TRANSVERSAL DEL ÁLABE. ....	52
<b>FIGURA 32.</b> TOMA FOTOGRÁFICA DE MEDICIÓN DE CORRIENTE DE CARGA A LA BATERÍA DE ALMACENAMIENTO CON 4,19 A.....	54

## **INDICE DE ANEXOS**

<b>ANEXO 1</b> .....	63
<b>ANEXO 2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LA MANUFACTURA DEL PROTOTIPO</b> .....	64
<b>ANEXO 3. PLANOS</b> .....	68

## RESUMEN

La presente tesis es parte de un trabajo de investigación y desarrollo tecnológico realizado para diseñar, manufacturar, instalar y probar in situ un prototipo de turbina hidrocínética con eje horizontal con el fin de generar energía eléctrica en zonas rurales utilizando la energía hidráulica disponible de los canales artificiales pluviales para riego. Es por tanto un esfuerzo para fomentar el uso de energías renovables (energías limpias).

En el Perú existen gran número de infraestructura para canales de regadío ya que somos un país con gran tradición en el campo agrícola como lo ha demostrado nuestra cultura Inka al mundo. Estos canales artificiales para regadío ofrecen ventajas como un flujo limpio, continuo y con posibilidad de regular su caudal, que conjuntamente a su gran número en el país constituyen la motivación principal de la aplicación que se busca con los resultados de esta tesis para poder aprovechar la energía renovable hidráulica ya disponible a fin de superar algunas de las necesidades de las poblaciones rurales por energía eléctrica donde estos canales se encuentran instalados.

Investigando diferentes fuentes sobre turbinas, se seleccionó la turbina llamada rueda hidráulica de eje horizontal de alimentación inferior. Este tipo de turbina se adecua a características geométricas e hidráulicas de los canales de regadío, así mismo por su fácil construcción y transporte. La metodología de trabajo usada se encamina inicialmente a describir características geométricas e hidráulicas de los canales de regadío, los principios de ingeniería que gobiernan el funcionamiento de las turbinas hidráulicas, así como las características fundamentales de conversión de energía hasta la generación de energía eléctrica. En el proceso de diseño del prototipo se identifican las principales variables, el dimensionamiento hidráulico, la selección de parámetros geométricos y principios mecánicos. El prototipo tiene el propósito principal como equipo de pruebas para efectos de medición y evaluación de parámetros de diseño y operación. Se resaltan los procedimientos más importantes de la manufactura, teniendo en cuenta materiales e instalaciones de fabricación disponibles localmente. De igual manera se muestran los resultados de pruebas realizadas en campo con discusiones, conclusiones y recomendaciones para futuras mejoras.

**Palabras claves:** Canales fluviales, Rueda Hidráulica, Álabe, Potencia

## ABSTRACT

Present thesis is part of a research and technological development work accomplished to design, manufacture, install and test in-situ a prototype of hydrokinetic turbine with horizontal axis with the purpose of generate electric energy at rural locations using available hydraulic energy from pluvial irrigation artificial channels. This is therefore an effort to encourage the use of renewable energy (clean energy).

In Peru exists large number of infrastructure for artificial irrigation channels because we are an country with great tradition in the agricultural field as our Inka culture has shown to the world. Those artificial irrigation channels have diverse advantages such as a clean and continuous flow, and the possibility to control its volumetric flow rate. All these together with the large number of those cited channels in our country are the main motivation as wished application from the results of present thesis to take advantage of the already available renewable hydraulic energy in order to overcome the needs of rural population for electric energy where these channels are usually located.

Researching among diverse hydraulic turbines, it was selected the wheel called as horizontal axis of bottom feed. This type of turbine are well adapted to the geometric and hydraulic characteristic of the artificial irrigation channel, in addition to its feasible fabrication and transport. The followed methodology are first oriented to describe the geometric and hydraulic characteristics of the irrigation channel, the engineering principles of hydraulic turbines and the fundamentals energy conversion until the electric generation. In the design process are identified the main variables, the hydraulic sizing, the geometric parameters and mechanical principles. The prototype has the main purpose as test device for collecting measurements to allow respective evaluations of design and operation. The procedures of manufacture are enlighth taking into account the local available materials and factory facilities. The test results are presented with discussions, conclusions and recommendations for future improvements.

**Keywords:** River Channel, Hydraulic Wheel, Blade, Power

## I. INTRODUCCIÓN

Entre los principales temas de discusión que se plantea actualmente la sociedad, están las zonas rurales caracterizadas por presentar geografía accidentada generalmente sin acceso vial y con pequeñas poblaciones, debido a estas circunstancias usualmente no cuentan con servicio eléctrico, de la red interconectada nacional existe un plan nacional de electrificación rural 2016-2025 (RM N° 579-2015-MEM/DM), sin embargo, por sus requerimientos y por razones de presupuesto racionales no es posible que se electrifique al 100% el territorio nacional. Es por ello, existen fuentes de energías alternativas de electrificación por medio de minicentrales hidroeléctricas.

En el presente trabajo de tesis proponemos hacer uso de la energía hidráulica del flujo de agua limpia y uniforme de los canales artificiales fluviales, que por las necesidades indicadas y simplificación logística se propone utilizar. Cabe mencionar que nuestro asesor H. Pinedo propuso aplicar la utilidad de este proyecto en los canales de regadío por las razones expuestas.

La autogeneración de energía eléctrica permite suplir la falta de suministro de parte del sistema eléctrico interconectado. Por ello se construirá el prototipo de una turbina hidrocínética (rueda hidráulica), que beneficiará a usuarios que no cuenten con acceso a una red eléctrica aledañas en la ubicación del canal.

Este es un tipo de energía renovable que aprovecha la velocidad del agua, por ende la energía cinética y de presión que a través del impacto del agua en los álabes de la turbina convierte en energía mecánica a la energía hidráulica. Esta tecnología tiene una ventaja adicional a la presente propuesta que es respecto al menor impacto ambiental debido a que no altera el flujo de las fuentes naturales de agua como si ocurre en los sistemas artificiales a gran escala sobre el planeta como es el caso de las represas y embalses artificiales.

El desarrollo de este prototipo promoverá la investigación del potencial de generación hidroeléctrico en los numerosos canales artificiales existentes en nuestro país.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. GENERAL**

Implementar una turbina hidrocínética de eje horizontal, para generación de energía eléctrica utilizando canales fluviales artificiales de zonas rurales.

### **2.2. ESPECIFICOS**

- Determinar las características geométricas e hidráulicas del canal.
- Seleccionar el tipo de turbina hidrocínética de eje horizontal a emplear acorde a características y flujo del canal.
- Realizar el diseño geométrico de los componentes mecánicos del rotor, basados en datos del objetivo anterior.
- Seleccionar el generador preliminar adecuado para rotor diseñado para demostrar su funcionamiento
- Estimar costos de implementación de prototipo.
- Construir el prototipo de la turbina hidrocínética de eje horizontal.
- Realizar pruebas para validar la propuesta.

## **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. MATERIALES**

#### **3.1.1. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN**

Para la elaboración y ejecución del proyecto se utilizó los siguientes instrumentos de medición:

- Correntómetro (Marca: Global Water, modelo: FP111)
- Pinza amperimétrica (Marca: Prasek, modelo: PR-54)
- Variador de frecuencia (Marca: Power Flex, modelo: 525)
- Tacómetro (Marca: Lot Fancy, modelo: DT2234A)

#### **3.1.2. SOFTWARE DE INGENIERIA Y DE OFICINA**

Los paquetes de software de ingeniería y oficina que se han utilizado son de versión estudiantil y de prueba. Son los siguientes:

- AutoCAD (Versión 2017)
- SolidWorks (Versión 2018)
- Paquete de Office (Versión 2017)

Como en todo proyecto, se emplearon también diversos insumos de oficina.

#### **3.1.3. MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS DE CONSTRUCCIÓN**

Las máquinas y herramientas utilizadas para la construcción del prototipo son las herramientas estándares de manufactura metal-mecánica, como las siguientes:

- Amoladora (Marca: Dewalt, modelo: DWE4324N)
- Sierra de arco (Marca: SABI, modelo: SM-18)
- Taladro Percutor/Atornillador (Marca: Bosh, modelo: GSB16RE)
- Soldadora eléctrica (Marca: ESAB, modelo: LHN240IPLUS)
- Tronzadora (Marca: Dewalt, modelo: D28730)
- Herramientas de taller.



## **3.2. VARIABLES DE ESTUDIO**

### **3.2.1. Variables independientes**

Velocidad de flujo de agua y geometría de un canal hidráulico determinado.

### **3.2.2. Variables dependientes**

Características geométricas de la turbina hidrocínética (diámetro de rodete, álabes, estructura, etc.) como parte de su diseño.

Cabe resaltar que se procuró aprovechar al máximo estas variables para lograr la máxima generación de energía mecánica que podría ser empleada para generar energía eléctrica. Asimismo, el diseño del dispositivo ya sea en versión prototipo o final depende también de los recursos económicos disponibles para su implementación, instalación y puesta en marcha real.

## **3.3. MÉTODOS, TÉCNICAS, PROCEDIMIENTOS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

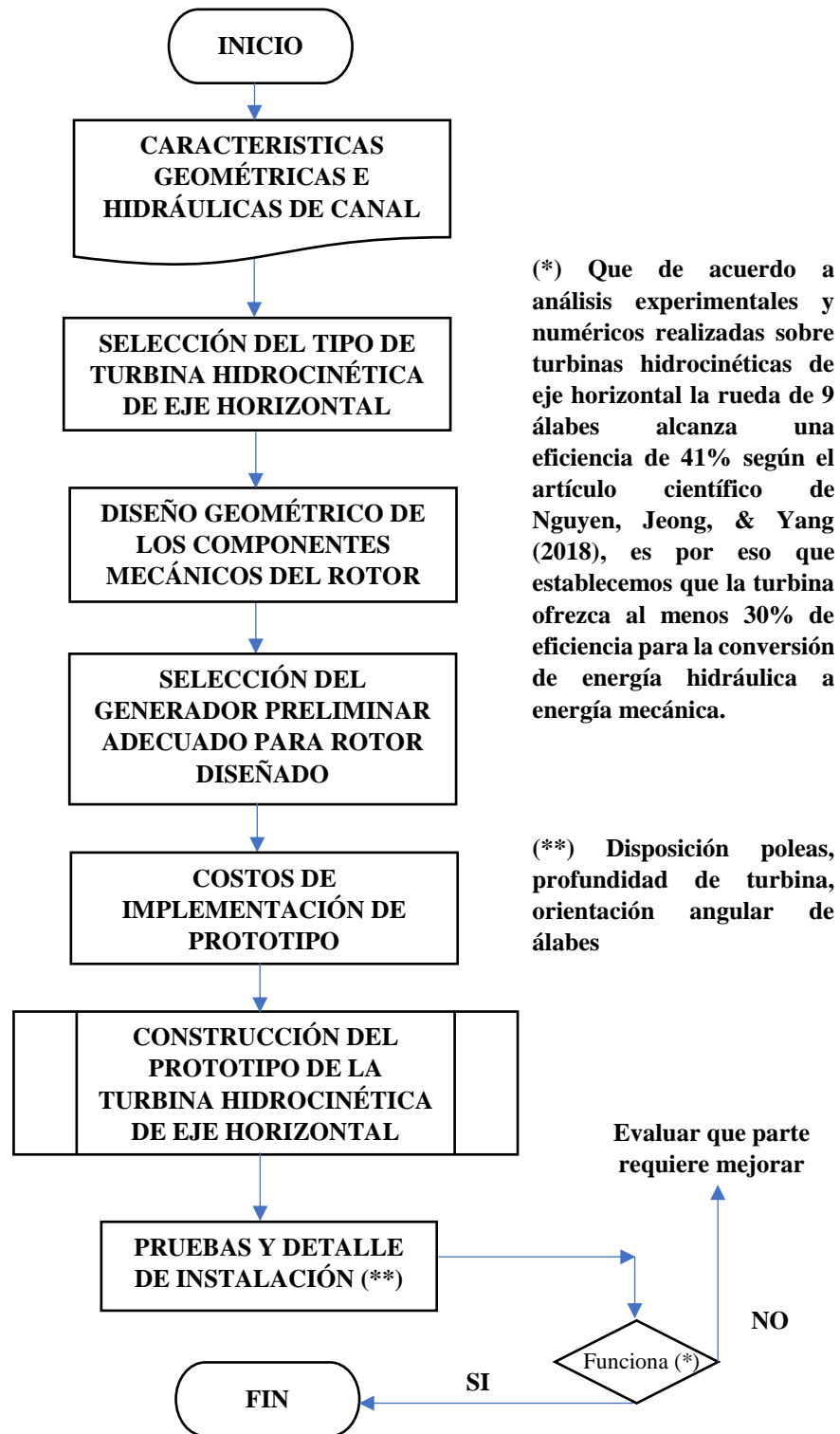
### **3.3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

La generación de conocimientos en forma teórica y el uso de una metodología experimental implica que la presente investigación es de tipo aplicada. El diseño de los componentes mecánicos del prototipo se tendrá como herramienta de ayuda un software de modelamiento y simulación asistido por computadora (CAD) y su manufactura será realizada en tamaño real para su instalación en el respectivo canal de regadío.

### **3.3.2. METODOLOGÍA**

Los procesos y procedimientos en la realización del proyecto para generación de energía eléctrica utilizando una turbina hidrocínética de eje horizontal se plasmó en el siguiente diagrama esquematizado en la Figura 1.

Cabe mencionar que el procedimiento descrito en la Figura 1 tiene condicional establecer un valor de eficiencia mínimo por debajo del cual el diseño requerirá revisión para mejora. En el presente proyecto hemos establecido que el límite de eficiencia sea del 30% como valor preliminar.



**Figura 1.** Diagrama de procesos donde muestra el procedimiento para elaboración del presente proyecto. Cabe mencionar que cada procedimiento fue evaluado antes de proseguir a la siguiente.

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.2.1. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E HIDRÁULICAS DEL CANAL

#### A. UBICACIÓN

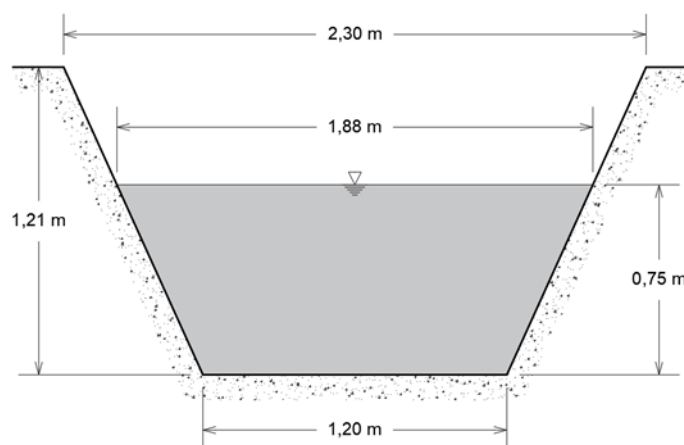
Este proyecto se encuentra ubicado en el distrito y provincia de Jaén, departamento Cajamarca, en el canal de regadío llamado Chililique, que tiene una longitud de 4,5 Km. lineales, desde la bocatoma ubicada en la quebrada denominada Amojú hasta la pequeña catarata ubicada cerca al sector Guayacán.



**Figura 2.** Vista satelital del canal de regadío Chililique, donde está ubicado el proyecto (latitud: -5.71228 y longitud: -78.82887).

Fuente: Modificado en base a Google maps

#### B. GEOMETRÍA DEL CANAL



**Figura 3.** Corte transversal del canal de regadío Chililique

Fuente: Elaboración Propia

### C. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL ( $Q_c$ )

Utilizando el instrumento correntómetro se midió la velocidad media del agua en  $V_L = 4$  m/s.

a. Cálculo geométrico sección trapezoidal  $A$  ( $m^2$ ) según Figura 3.

$$A = \frac{1,88 + 1,20}{2} \times 0,75 = 1,155 m^2$$

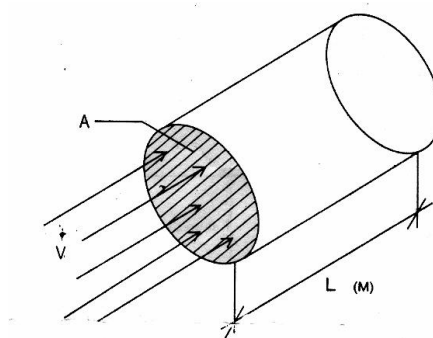
b. Cálculo del caudal ( $m^3/s$ )

$$Q_c = AV_L = (1,155 m^2) \times (4 m/s) = 4,62 m^3/s$$

Por lo tanto, el caudal es aproximadamente 4 620 l/s durante el periodo de medición. Según el vigilante de la bocatoma de este canal de riego, dicho caudal se mantiene regulando adecuadamente la compuerta principal del canal.

#### 3.3.2.2. ENERGÍA DE UN FLUIDO EN MOVIMIENTO

Uno de los parámetros más importantes en el tratamiento de cualquier fuente energética es la potencia. En este caso, cuando se instala una turbina, lo que se hace es interceptar una cierta cantidad de agua en un área de tamaño “A” que viene a ser el área del álabe de la turbina, también se le llama área de barrido por la máquina.



**Figura 4.** Área de barrido

Fuente: (Silva Guevara, 2017)

A continuación, haciendo uso de este diagrama se presentarán las principales ecuaciones usadas para el dimensionamiento de la turbina.

### 3.3.2.3. POTENCIA SUMINISTRADA

La potencia suministrada por una turbina hidrocínética, depende de la superficie barrida por el álabe y, por tanto, la longitud y número de álabes.

La energía cinética del agua, debida a la masa de agua en movimiento es:

$$E_C = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (1)$$

Donde:

m : masa del agua, Kg

v : velocidad instantánea del agua, m/s.

La masa de esta cantidad de agua es:

$$m = \rho \times V \quad (2)$$

Donde:

$\rho$  : Densidad del fluido, Kg/m<sup>3</sup>

V : Volumen del área de barrido, m<sup>3</sup>.

Pero el volumen del área de barrido es (Ver Figura 4):

$$V = A \times L \quad (3)$$

Donde:

A : Superficie o área de barrido, m<sup>2</sup>.

L : Longitud del área de barrido, m.

Además, siendo L un espacio representado por (Ver Figura 4):

$$L = v \times t \quad (4)$$

Donde:

v : Velocidad del agua, m/s.

t : Tiempo, s.

Al reemplazar las ecuaciones 2, 3 y 4 en la ecuación 1, la energía cinética del agua es:

$$E_C = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times t \times v^3 \quad [\text{Joule}] \quad (5)$$

Por tanto, la potencia hidráulica teórica del agua (P) será:

$$P = E_c/t$$
$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \quad [\text{Joule/s}] \text{ o } [\text{W}] \quad (6)$$

En la práctica no es posible extraer toda la potencia disponible de una corriente de flujo libre por dos razones:

- Primero, para que el agua ceda toda su energía cinética tendría que detenerse, lo que claramente no se puede hacer o lograr en un flujo libre continuo.
- Segundo, en todo proceso de transformación de energía, como el que ocurre al convertir la energía cinética del agua en energía mecánica en el eje del rotor está limitado por la disipación de energía o pérdidas como las fuerzas de arrastre, la fricción, un incorrecto balance de inercia, etc.

Añadiendo una constante para representar la eficiencia de conversión del flujo del río en potencia en el eje de la turbina, la ecuación anterior se puede escribir:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \times C_p \quad (7)$$

Donde:

$C_p$  : Coeficiente de potencia.

Cabe mencionar que haremos uso de un valor de  $C_p$  empleado en otros trabajos de investigación y será indicada su respectiva referencia.

#### **3.3.2.4. FACTORES QUE AFECTAN LA POTENCIA SUMINISTRADA**

A partir de la ecuación anterior se puede observar que hay tres factores que afectan la potencia de salida en el eje de la turbina:

##### **a. Velocidad de la corriente del agua ( $v$ )**

La potencia hidráulica disponible es proporcional al cubo de la velocidad de la corriente aguas arriba, según se aprecia en la expresión (6).

#### **b. Área de barrido del rotor (A)**

La potencia del eje de la turbina es directamente proporcional al área de barrido del rotor.

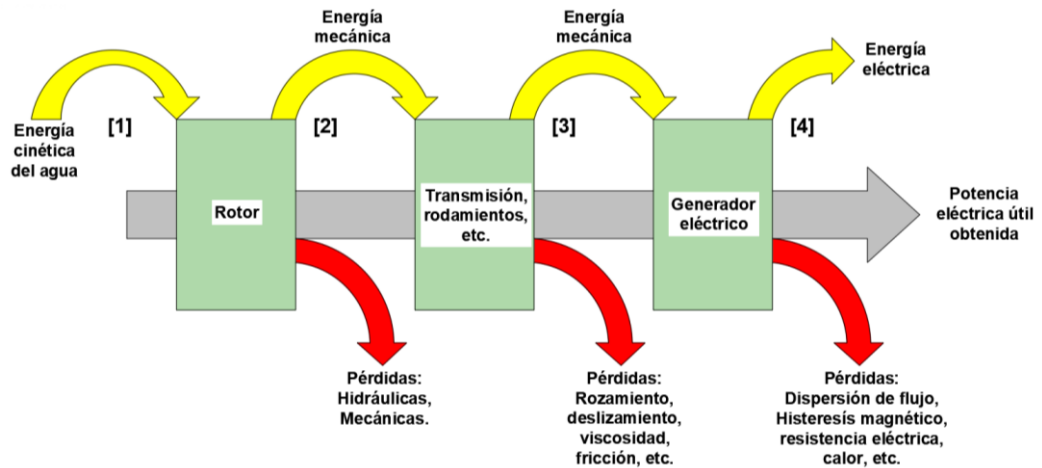
#### **c. Coeficiente de Potencia ( $C_P$ )**

La potencia de salida es además directamente proporcional al coeficiente de potencia (Según expresión 7). Es imposible extraer toda la energía del agua fluente porque el agua que ha pasado por el rotor debe continuar fluyendo para que el ciclo pueda repetirse girando la turbina y por lo tanto el agua debe aún tener alguna energía cinética al alejarse del álabe.

“Se puede mostrar teóricamente que el máximo coeficiente de potencia ( $C_p$ . máx.) es 0.59 para una máquina que opera sobre fuerzas de sustentación tales como un propulsor (o hélice) o un rotor Darrieus y el valor de 0.33 para una máquina que opera sobre fuerzas de arrastre tales como una rueda hidráulica que flota en una corriente libre. De lo anterior se puede observar que para obtener la máxima potencia de salida en el eje deberíamos usar el tipo de rotor disponible más eficiente, logrando que este barra un área de sección transversal de corriente de agua tan grande como sea posible y más pretenciosamente, colocarlo en una velocidad de corriente más rápida que se pueda encontrar” según se indica en (Silva Guevara, 2017).

### **3.3.2.5. ESQUEMA DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA**

En la Figura 5 se muestra los procesos de transformación que sufre la energía que es capturada en su forma primitiva como energía cinética del agua, punto 1 de la figura hasta llegar a mostrarse por un determinado valor de tensión y corriente eléctrica, punto 4, pasando por transformaciones mecánicas.



**Figura 5.** Proceso de transformación de la energía

Fuente: Elaboración propia basado en Figura 5.2 de (Maldonado Quispe, 2005)

### 3.3.2.6. SELECCIÓN DE LA TURBINA HIDROCINÉTICA DE EJE HORIZONTAL

Existen múltiples tipos de turbinas hidrocíntricas de eje horizontal y su selección se basa de manera general en características técnicas del recurso hídrico (caudal, energía potencial, energía cinética).

Se presenta la rueda hidráulica de Poncelet de corriente libre, de admisión inferior y sumersión parcial, como un mecanismo generador de potencia mecánica, cuyas características principales son de tener álabes de perfil curvo y suele trabajar con saltos hidráulicos muy reducidos, o incluso nulos como en el caso de los flujos horizontales fluviales.

Para este proyecto se seleccionó esta turbina hidrocíntrica llamada rueda hidráulica de Poncelet, porque se adapta a características geométricas e hidráulicas del canal de regadío Chililique, sin alterar la corriente fluida libre que necesita el canal para conducir el agua en todo su trayecto.

### 3.3.2.7. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO DE TURBINA

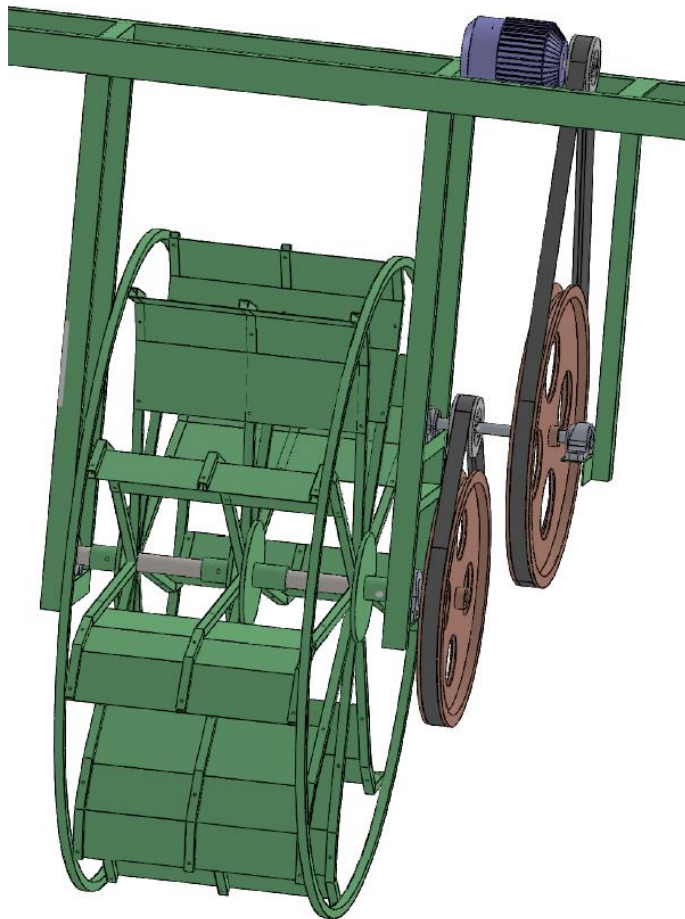
Debido a que el prototipo de turbina hidrocíntrica planteado es de tipo experimental se propuso seleccionar como modelo de prototipo el



presentado por (Vaca Ludeña, 2014), tesis que tiene como uno de sus objetivos diseñar y construir una rueda hidráulica que aproveche la energía cinética del agua de una canal, el cual se diseñó y dimensionó de acuerdo a parámetros geométricos e hidráulicos del canal Chililique donde se va a instalar.

Se adicionó un sistema de transmisión y de una estructura para la fijación de la turbina.

Las características de diseño geométrico del prototipo que se planteó, se pueden apreciar en la Figura 6, donde en el anexo 3 se detallan las partes que la conforman.



**Figura 6.** Turbina hidrocínética

Fuente: Elaboración propia con SolidWorks

### 3.3.2.8. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS, CINEMÁTICOS Y DINÁMICOS DE LA RUEDA HIDROKINÉTICA

#### A. DIMENSIONAMIENTO DE LOS ÁLABES

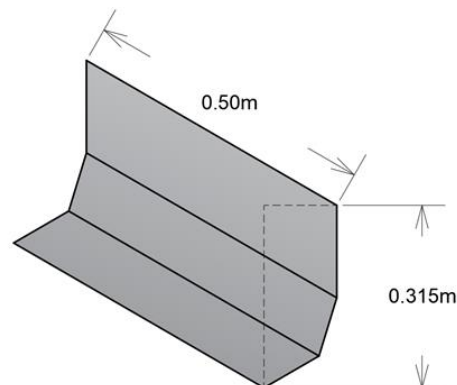
La potencia de salida que se obtendrá en la rueda es función de las dimensiones de este (álabe) y a la velocidad de corriente en la que estará parcialmente sumergida. Por ello se debe considerar que los álabes no deben tener contacto con las paredes del canal y evitar el rebose del agua.

“La forma de los álabes de la rueda influye directamente en el rendimiento de la misma, ya que disminuye las pérdidas por choque, suavizando la admisión del agua hacia los álabes, además su configuración física permite acumular agua sobre ellos, aprovechando su peso para aumentar el torque de la rueda” (Vaca Ludeña, 2014).

Debido a limitaciones en los procesos de manufactura local, no sería posible fabricar perfiles de álabes con curvaturas geométricas con precisión matemática, por tanto seguiremos el diseño y procedimiento de Vaca Ludeña (2014) usando líneas rectas.

Por eso se estableció una sección transversal del álabe siguiente:

$$A = 0,50 \text{ m} \times 0,315 \text{ m} = 0,1575 \text{ m}^2$$

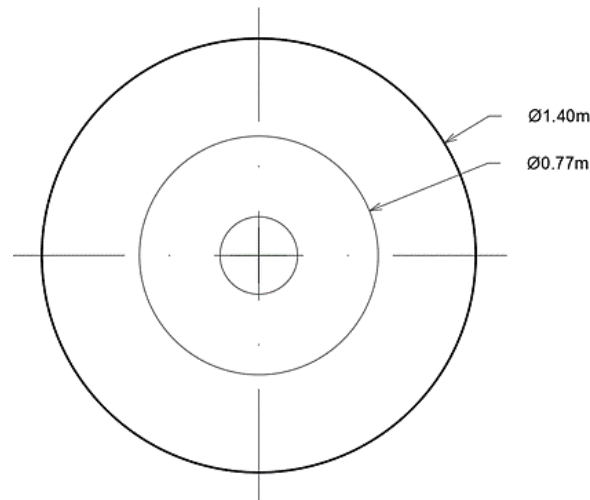


**Figura 7.** Detalle de álabe

Fuente: Elaboración propia con AutoCAD

## B. DIÁMETRO DE LA RUEDA HIDRODINÁMICA

El diámetro de la rueda hidrodinámica se determinó por la altura de sus álabes y para facilitar el montaje de toda su estructura y componentes. Se planteó un diámetro de 1,40 m.



**Figura 8.** Diámetro de la rueda hidrodinámica

Fuente: Elaboración propia con AutoCAD

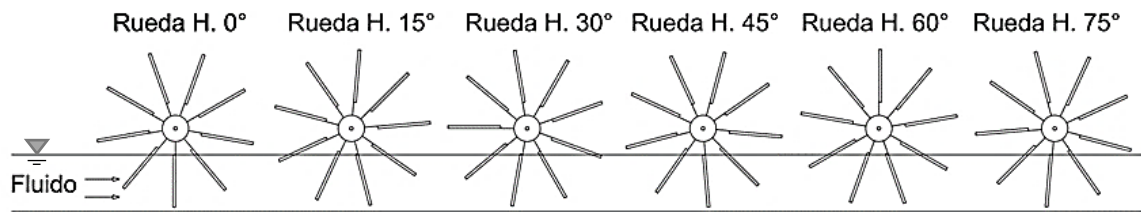
## C. NÚMERO DE ÁLABES

El número de álabes será aquel que cumpla con la siguiente premisa:

- Que al menos tres álabes se mantengan en contacto con la corriente del fluido.

Con la premisa anterior se define el número de álabes igual a **nueve**, con ello se logra una buena sección de contacto, y que el fluido no tenga interferencia entre álabes dando así facilidad para el paso de agua por el canal.

La gráfica siguiente muestra de manera general el contacto de los álabes frente al fluido, en el cual se puede evidenciar que al menos tres álabes se encuentran en zona de trabajo (Vaca Ludeña, 2014).



**Figura 9.** Contacto de álabes con el fluido

Fuente:(Vaca Ludeña, 2014)

#### **D. CÁLCULO DE LA POTENCIA HIDRÁULICA DISPONIBLE EN EL ALABE ( $P_h$ )**

Aplicando la siguiente ecuación obtendremos:

$$P_h = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \quad (\text{Ver ecuación 6})$$

Donde:

$\rho$  ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ) : Densidad del fluido

$A$  ( $\text{m}^2$ ) : Área vertical del álabe (normal a la corriente de agua).

$v$  ( $\text{m}/\text{s}$ ) : Velocidad de corriente de agua

$$P_h = \frac{1}{2} \times 1\,000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0,1575 \text{ m}^2 \times \left(4 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3$$

$$P_h = 5\,040 \text{ watts}$$

Tomar en cuenta que esta es la potencia total que podría generarse con el flujo de agua que circula a través de la turbina.

#### **E. VELOCIDAD TANGENCIAL ( $V_t$ )**

La velocidad periférica de la rueda está en función de la velocidad del agua disponible en el canal, para determinarlo se utiliza un coeficiente de velocidad que ayuda a pasar de modelo a prototipo. El cual resulta de ensayos experimentales, pero en este caso para ruedas hidráulicas se va utilizar un coeficiente teórico que más adelante se realizará un cuadro comparativo donde muestre si existe similitud entre los datos empíricos y experimentales obtenidos (Vaca Ludeña, 2014).

Entonces la velocidad tangencial  $V_t$  será:

$$V_t = v \times \varphi \quad (8)$$

Donde:

$\varphi$  = Coeficiente de velocidad de la rueda hidrocínica

$v$  (m/s) = Velocidad de corriente de agua

El coeficiente de rendimiento es igual a  $\varphi = 0,48$  considerando que será válida para canales con flujos superiores a 75 lt/s y velocidades de corriente superior a 1 m/s (Heredia Sánchez, 2009).

Por tanto:

$$V_t = 4 \text{ m/s} \times 0,48$$

$$V_t = 1,92 \text{ m/s}$$

## F. VELOCIDAD ANGULAR ( $\omega$ )

Las revoluciones que podrá desarrollar la rueda están en función de la relación entre su radio y la velocidad tangencial de la misma, se calcula a través de la ecuación 9:

$$\omega = \frac{V_t \times 60 \text{ s/min}}{R_{\text{rueda}} \times 2\pi} \quad (9)$$

Donde:

$V_t$  = Velocidad tangencial

$R_{\text{rueda}}$  = Radio de la rueda, igual a 0,70 m.

$$\omega = \frac{1,92 \text{ m/s} \times 60 \text{ s/min}}{0,70 \text{ m} \times 2\pi}$$

$$\omega = 26 \text{ rpm}$$

$$\omega = 2,74 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

## **G. CÁLCULO DE LA POTENCIA MECANICA TEÓRICA DE LA RUEDA (P<sub>R</sub>)**

“Para hallar la potencia que puede aprovechar la rueda hidráulica del canal tomamos en cuenta el rendimiento de la misma; utilizamos una rueda de álabes que simulan una curvatura la cual tiene un rendimiento del 65%”(Vaca Ludeña, 2014).

Entonces aplicando la siguiente ecuación obtendremos:

$$P_R = P_h \times \eta_R \quad (10)$$

Donde:

P<sub>h</sub> = Potencia hidráulica disponible en el álabe

η<sub>R</sub> = rendimiento de la rueda

$$P_R = 5\,040 \text{ watts} \times 0,65$$

$$P_R = 3\,276 \text{ watts}$$

Dicho valor calculado convertido obtendremos 3,276 kW.

## **H. MOMENTO DE GIRO O TORQUE TEÓRICO DE LA RUEDA HIDRÁULICA (M<sub>t</sub>)**

Es la capacidad de un eje para desarrollar una fuerza tangencial (F) a una distancia (r) que es el radio de la rueda:

$$T(Kg.m) = F \times r \quad (11)$$

O torque según la velocidad angular:

$$M_t = \frac{P_R}{\omega} \quad (12)$$

Donde:

P<sub>R</sub> = Potencia teórica de la rueda

ω = Velocidad angular de la rueda

$$M_t = \frac{3\,276 \text{ watts}}{26 \text{ rpm}}$$

$$M_t = \frac{3\,276 \text{ watts}}{2,74 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$M_t = 1\,195,62 \text{ Nm}$$

Para calcular el torque real de la capacidad del eje para desarrollar una fuerza tangencial se utilizará la ecuación (11).

### I. CALCULO DE LA PRESIÓN DINÁMICA DE FLUIDO EN EL CANAL (Pa)

A continuación, se presenta la siguiente ecuación:

$$P_d = \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \quad (13)$$

Donde:

$\rho$  (Kg/m<sup>3</sup>) = Densidad del fluido

$v$  (m/s) = Velocidad de corriente de agua

$$P_d = \frac{1}{2} \times 1\,000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \left(4 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$P_d = 8\,000 \text{ Pa}$$

Este valor de 8 000 Pa ejercerá una fuerza en toda el área del álabe.

### J. FUERZA DEL AGUA SOBRE LA SUPERFICIE DEL ÁLABE (F<sub>a</sub>)

Para hallar la fuerza del agua que resulta al contacto con una superficie plana, se considera la sección vertical de la superficie en contacto con el fluido.

$$F_a = P_d \times A \quad (14)$$

Donde:

$P_d$  : Presión dinámica del agua

A : Área vertical del álabe (normal a la corriente de agua)

$$F_a = 8\,000\text{ Pa} \times 0,1575\text{ m}^2$$

$$F_a = 1\,260\text{ N}$$

La fuerza del agua que ejerce en la superficie del alabe es de 1,26 kN.

### **K. POTENCIA MECÁNICA REAL EN LA RUEDA HIDRÁULICA ( $P_{real}$ )**

$$P_{real} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \times C_p \quad \text{Según (7)}$$

Donde:

$C_p$  : Coeficiente de potencia

$\rho$  ( $\text{Kg/m}^3$ ) : Densidad del fluido

A ( $\text{m}^2$ ) : Área vertical del álabe (normal a la corriente de agua)

$v$  ( $\text{m/s}$ ) : Velocidad de corriente

$$P_{real} = \frac{1}{2} \times 1\,000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0,1575\text{ m}^2 \times \left(4 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \times 0,48$$

$$P_{real} = 2\,419,2\text{ watts}$$

La potencia mecánica real de la rueda hidráulica será de 2,4 kW.

### **L. ENERGIA GENERADA (E)**

La energía en un día (24 horas):

$$E = P_{real} \times \text{Tiempo} \quad (15)$$

Donde:

$P_{real}$  (Watts) : Potencia mecánica real en la rueda hidráulica

Tiempo : 24 horas/día



$$E = 2\,419,2 \text{ watts} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}}$$

$$E = 58\,060,8 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} \approx 58,06 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

La energía generada en 24 horas será 58,06 kWh/día.

## **M. SELECCIÓN DE TRANSMISIÓN MECÁNICA Y MULTIPLICADOR DE RPM**

Nuestro proyecto por ser de generación de energía mediante el aprovechamiento del caudal de canales fluviales, en los cuales la energía del agua no es suficiente para producir la velocidad angular o de giro necesaria en la turbina para la generación de energía eléctrica. Por ello se utilizó una transmisión multiplicadora de velocidad usando un juego de poleas con el fin de alcanzar el número de revoluciones necesarias para generar energía eléctrica según requieren los generadores eléctricos estándares y acorde con los resultados de laboratorio realizados (Ver Anexo 1) para determinar los RPM necesarios. Hemos utilizado como poleas a aros de llanta para bicicleta por limitaciones de niveles de inversión económica y practicidad.

Al elegir una rueda con un gran diámetro estamos hablando que nuestra rueda tendrá un peso considerable y podremos aprovechar este peso (i.e. inercia) para tener un buen sistema de transmisión ya que se cuenta con un buen torque.

### **M.1. FACTORES DE POTENCIA A TRASMITIR**

A continuación, se muestra los principales factores considerados:

$$\omega_1 = 26 \text{ rpm} = 2,74 \text{ rad/s (Sección 9)}$$

$$\omega_{total} = 1\,800 \text{ rpm}$$

Existen diferentes tipos de transmisiones que se puede utilizar como transmisión por cadena, por correa o bandas y por engranajes; pero para este proyecto utilizamos la transmisión por correa o bandas por las siguientes razones:

- Se usan para grandes distancias entre centros de poleas.
- La relación de la velocidad angular entre los ejes impulsor e impulsado no es constante exactamente igual a la relación entre diámetros de las poleas.
- El diámetro de la polea es función de la tensión de la banda y puede modificarse cambiando la distancia entre centros.
- Generalmente es necesario de una polea guía o tensora para evitar ajustes de la distancia entre centros cuando se utilizan las bandas.
- El empleo de poleas escalonadas es un medio económico para cambiar la relación de velocidad.

## M.2. RELACIÓN DE TRANSMISIÓN (RT)

Las revoluciones de la rueda hidráulica de la turbina (aquella en contacto con el agua) son 26 rpm. y la velocidad normal recomendada para velocidad angular o de giro del eje del generador eléctrico es de 1 800 rpm.

$$RT = \frac{\text{rpm eje de generador}}{\text{rpm eje de rueda}} = \frac{1\ 800}{26} = 69,2$$

Se necesito un juego de poleas que tengan la relación de multiplicación de 69.

Para determinar la relación de transmisión se hizo los cálculos siguientes:

$$N_1 D_a = N_2 D_b \quad (16)$$

Donde:

$N_1$  y  $N_3$ :Rpm a la entrada

$N_2$  y  $N_4$ : Rpm a la salida

$D_a$  :Diámetro de la polea mayor

$D_b$  :Diámetro de la polea menor

$$N_2 = N_1 \left( \frac{D_a}{D_b} \right)$$

$$N_2 = 26 \text{ rpm} \times \left( \frac{0,508 \text{ m}}{0,0635 \text{ m}} \right)$$

$$N_2 = 208 \text{ rpm}$$

Los rpm de  $N_2 = N_3$  entonces:

$$N_3 D_a = N_4 D_b$$

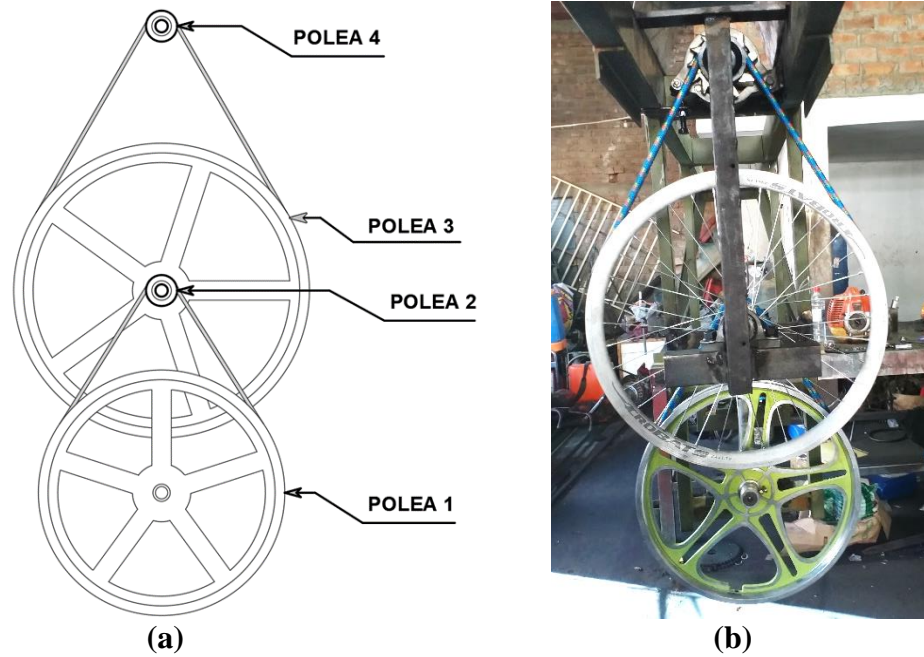
$$D_a = D_b \left( \frac{N_4}{N_3} \right)$$

$$D_a = 0,0635 \text{ m} \times \left( \frac{1800 \text{ rpm}}{208 \text{ rpm}} \right)$$

$$D_a = 0,55 \text{ m.}$$

Con los resultados obtenidos se seleccionó los diámetros de las 4 poleas a utilizarse para producir las 1800 rpm necesarias, las cuales son las siguientes:

- La polea 1 que está ubicada en el eje del rotor es de (0,508 m) 20 pulgadas.
- La polea 2 que va conectada con la polea 1 es de (0,0635 m) 2 ½ pulgadas.
- La polea 3 que está anclada en el mismo eje que la polea 2 es de (0,6096 m) 24 pulgadas.
- La polea 4 que está anclada al eje del alternador es de (0,0635 m) 2 ½ pulgadas.



**Figura 10.** Detalle de las poleas y fajas de la turbina hidráulica: (a) Diseño geométrico en AutoCAD, (b) Manufactura del sistema de transmisión.

Fuente: Elaboración propia

### M.3. LONGITUD DE LAS CORREAS

Se hizo el cálculo respectivo para hallar la longitud que deben tener las correas para su correcto funcionamiento. El cálculo de la longitud de las correas se realizó considerando correas redondas fabricadas de nylon.

Para el cálculo de la distancia entre centros mínima en transmisiones por correas planas o redondas, se obtuvo mediante modelos de cálculo para correas en V, sumando el diámetro de la polea mayor con el de la polea menor y multiplicando el resultado por 0,7 como factor de corrección, como lo indica la norma DIN 7753 (Ortiz Cadena & Marroquin Cifuentes, 2016).

Distancia entre centros recomendado:

$$C = 0,7(D_a + D_b) \quad (17)$$

Donde:

$D_a$ =Diámetro de la polea mayor

$D_b$ =Diámetro de la polea menor

$C$  =Distancia entre centros

Reemplazando datos de la relación de transmisión tenemos:

- Distancia entre centros de polea 1 y polea 2 es:

Diámetro de la Polea 1= 0,508 m.

Diámetro de la Polea 2= 0,0635 m.

$$C_1 = 0,7 \times (0,508 \text{ m} + 0,0635 \text{ m})$$

$$C_1 = 0,40 \text{ m.}$$

- Distancia entre centros de polea 3 y polea 4 es:

Diámetro de la Polea 3= 0,6096 m.

Diámetro de la Polea 4= 0,0635 m.

$$C_2 = 0,7 \times (0,6096 \text{ m} + 0,0635 \text{ m})$$

$$C_2 = 0,47 \text{ m.}$$

Se calcula los ángulos de contacto mediante:

$$\theta_{D_b} = \pi - 2 \sin^{-1} \left[ \frac{(D_a - D_b)}{2C} \right] \quad (18)$$

$$\theta_{D_a} = \pi + 2 \sin^{-1} \left[ \frac{(D_a - D_b)}{2C} \right] \quad (19)$$

donde:

$\theta$  = Ángulo de contacto

$D_a$ = Diámetro de la polea mayor

$D_b$ = Diámetro de la polea menor

$C$  = Distancia entre centros

Reemplazando datos se calculó el ángulo de contacto para las poleas 1 y 2 tenemos:

$$\theta_{D_2} = \pi + 2 \sin^{-1} \left[ \frac{(0,508 - 0,0635)}{2(0,40)} \right]$$

$$\theta_{D_2} = 4 \text{ rad}$$

$$\theta_{D_1} = \pi - 2 \sin^{-1} \left[ \frac{(0,508 - 0,0635)}{2(0,40)} \right]$$

$$\theta_{D_1} = 1,96 \text{ rad}$$

Reemplazando datos se calculó el ángulo de contacto para las poleas 3 y 4 tenemos:

$$\theta_{D_4} = \pi + 2 \sin^{-1} \left[ \frac{(0,6096 - 0,0635)}{2(0,47)} \right]$$

$$\theta_{D_4} = 4,38 \text{ rad}$$

$$\theta_{D_3} = \pi - 2 \sin^{-1} \left[ \frac{(0,6096 - 0,0635)}{2(0,47)} \right]$$

$$\theta_{D_3} = 1,90 \text{ rad}$$

La longitud de la correa se determinó con la ecuación Z:

$$L = [4C^2 - (D_a - D_b)^2]^{1/2} + \frac{1}{2}(D_a\theta_{D_a} + D_b\theta_{D_b}) \quad (20)$$

Reemplazando datos se calculó la longitud de la correa redonda para las poleas 1 y 2 tenemos:

$$L_1 = [4(0,40)^2 - (0,508 - 0,0635)^2]^{1/2} + \frac{1}{2}[0,508(4) + 0,0635(1,96)]$$

$$L_1 = 1,74 \text{ m}$$

Luego se calculó la longitud de la correa para las poleas 3 y 4:

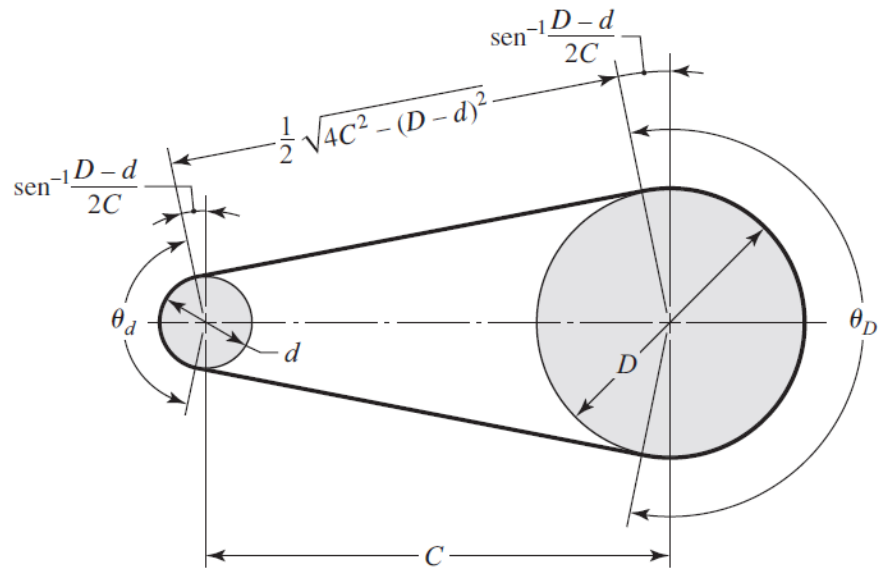
$$L_2 = [4(0,47)^2 - (0,6096 - 0,0635)^2]^{1/2} + \frac{1}{2}[0,6096(4,38) + 0,0635(1,90)]$$

$$L_2 = 2,16 \text{ m.}$$

Como resultado aproximado las correas redondas con longitud mínima a utilizar son:

$$L_1 = 1,74 \text{ m.}$$

$$L_2 = 2,16 \text{ m.}$$



**Figura 11.** Geometría de banda redonda.

Fuente: (Budynas & Keith Nisbett, 2011)

Los cálculos realizados son referenciales, ya que al momento de la manufactura podrían existir cambios.

## N. DISEÑO DE LA RUEDA HIDRÁULICA

### N.1. FACTORES DE DISEÑO

Existen varios factores para diseñar la rueda:

- **Rigidez:** La rueda debe asegurar el funcionamiento en condiciones normales y extremas; es decir todos los elementos que la componen deben permanecer fijos en la posición instalados.
- **Peso:** La rueda debe tener un peso relativamente bajo, ya que este parámetro incide directamente en el funcionamiento y rendimiento de la misma.
- **Modular:** La rueda debe facilitar el montaje y desmontaje de la mayoría de los elementos que la componen, permitiendo el reemplazo de los mismos en caso de avería.
- **Anticorrosión:** Este es un factor determinante en la vida útil de la rueda; por lo que se debe emplear materiales que neutralicen dicho factor como pintura anticorrosiva base ZINCROMATO.

- **Resistencia:** Los elementos que componen la rueda deben soportar condiciones críticas que se puedan presentar en determinados momentos

## **O.DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA RUEDA HIDRÁULICA**

### **O.1. SOPORTES DE ÁLABES PRINCIPALES**

Estos elementos estructurales sirven como sostén de los álabes; es decir se encargan de receptor la energía cinética del agua para luego transmitirla al eje de la rueda en forma de energía mecánica.

#### **O.1.1. DESCRIPCION DE SOPORTES DE ÁLABES**

**Conjunto de soportes laterales de álabes:** Están compuestos por 2 juegos y cada uno está formado por 9 soportes soldados a los discos de transmisión y tienen las siguientes características en base a (Vaca Ludeña, 2014):

- Son tres segmentos consecutivos con distintos grados de inclinación, para formar la curva.

El primer segmento va soldado al disco de transmisión y tiene un ángulo de 0 grados con respecto a la vertical.

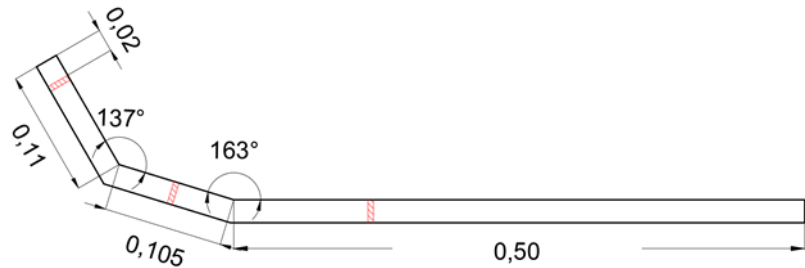
El segundo segmento forma un ángulo de 163 grados con respecto al primero.

El tercer segmento va a continuación del segundo formando un ángulo de 137 grados.

- Tres perforaciones están en dirección normal a la cara lateral del soporte, las cuales cada segmento tiene una perforación.



La Figura 12 muestra lo descrito, con sus dimensiones en metros.

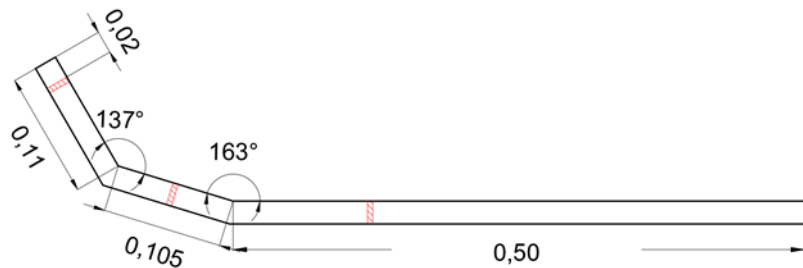


**Figura 12.** Dimensiones del soporte lateral del álabe.

Fuente: Elaboración propia

**Conjunto de soportes centrales de álabes:** tiene las mismas características geométricas que los soportes laterales.

La Figura 13 muestra lo descrito para los soportes laterales con sus dimensiones en metros.



**Figura 13.** Dimensiones del soporte central del álabe.

Fuente: Elaboración propia

Los soportes son de tubo estructural cuadrado ASTM A-500 porque cuenta con mayor rigidez a la inercia según el fabricante, lo que significa buena robustez y firmeza para la rueda.

## **O.2. DISCOS DE TRANSMISIÓN**

Estos elementos estructurales son los encargados de recibir la potencia captada por los soportes principales, a través de los álabes y transmitirla al eje principal, la potencia es recibida de

los 9 álabes equidistantes, distribuidas en la periferia de los discos.

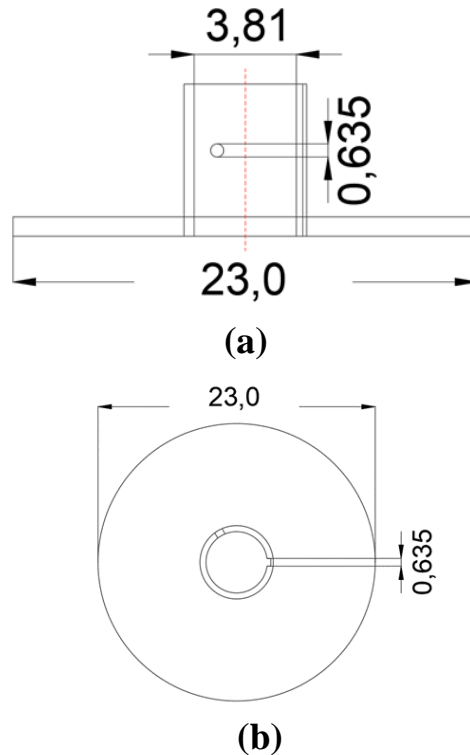
Los discos están unidas a un tubo estructural mediante soldadura, y esta a su vez se sujeta al eje principal mediante una chaveta y un prisionero Allen.

La rueda está compuesta por dos discos ubicados al centro y dos ubicados cada uno a los costados.

### O.2.1. DESCRIPCIÓN DE LOS DISCOS DE TRANSMISIÓN

**Discos laterales:** Están compuestos por 2 discos similares, y cada uno están soldados a un tubo estructural redondo.

El diámetro exterior de los discos es de 23 cm, y el interior corresponde al diámetro del eje principal.

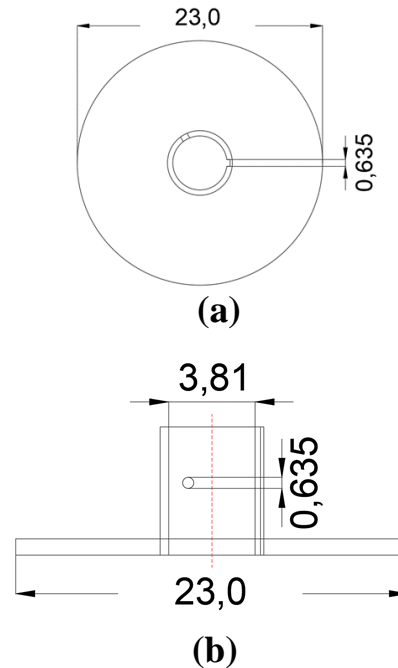


**Figura 14.** Detalle en cm de los discos laterales. (a) vista lateral, (b) vista de planta.

Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

**Discos centrales:** Están compuestos por 2 discos idénticos, y cada uno están soldados a un tubo estructural redondo.

El diámetro exterior de los discos es 23 cm, y el interior corresponde al diámetro exterior del eje principal; 3,81 cm.



**Figura 15.** Detalle de los discos centrales. Dimensiones en cm. a) vista de planta, (b) vista lateral.

Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

### **O.3. ÁLABES**

Los álabes son elementos estructurales que captan y convierten la energía cinética del agua en energía mecánica; es por eso que su diseño es determinante para obtener un buen rendimiento.

Para el diseño de los álabes se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Su forma geométrica es utilizar líneas rectas, que simulen una curva.
- El factor principal es el económico, por ello se propone un diseño de menor gasto, pero sin descuidar el factor técnico.
- El peso tiene que ser lo más liviano (Estructura liviana).

### O.3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS ÁLABES

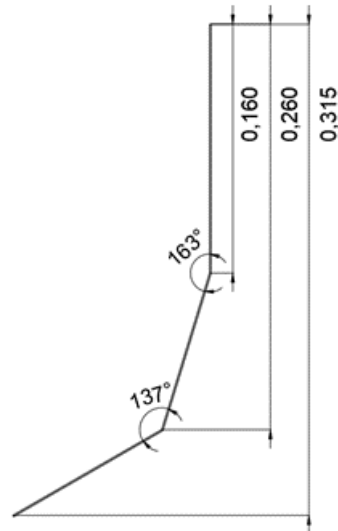
La curvatura de los álabes se obtiene mediante inclinaciones graduales, ya que permite tener una mejor rigidez en la estructura, si se utiliza álabes estrictamente curvos dificulta su montaje.

La rueda hidráulica está compuesta por 9 álabes equidistantes distribuidos perpendicularmente en torno al eje principal.

Cada álabe está apoyado a tres soportes ubicados simétricamente mediante pernos con sus respectivas arandelas y tuercas.

Los álabes tienen las siguientes características físicas:

- Tres segmentos planos rectos con diferentes medidas unidos con un cierto ángulo de inclinación, así como se puede apreciar en la Figura 16; las dimensiones están en metros.



**Figura 16.** Detalle de los álabes. Dimensiones en metros.

Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

- Los álabes son de plancha galvanizada laminada ASTM A-653 que es más resistente a la corrosión.

## O.4. EJE DE TRANSMISIÓN

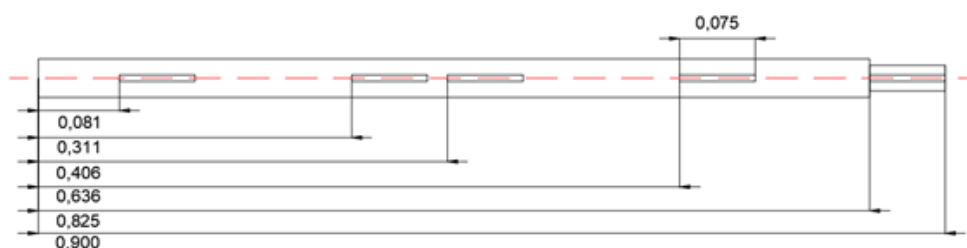
El eje es una pieza destinada a transmitir la potencia mecánica extraída por la rueda hidráulica del canal de regadío hacia el sistema de transmisión por poleas, para luego ser transmitida al eje del generador eléctrico.

### O.4.1. DESCRIPCIÓN DEL EJE

El eje de transmisión es de acero SAE 1020, cuyas dimensiones son:

- Diámetro exterior: 3,81 cm.
- Longitud: 90 cm.

El eje tiene 5 chaveteros ubicados como se indica en la Figura 17 y sus dimensiones están en m.



**Figura 17.** Detalle del eje de transmisión. Dimensiones en metros.

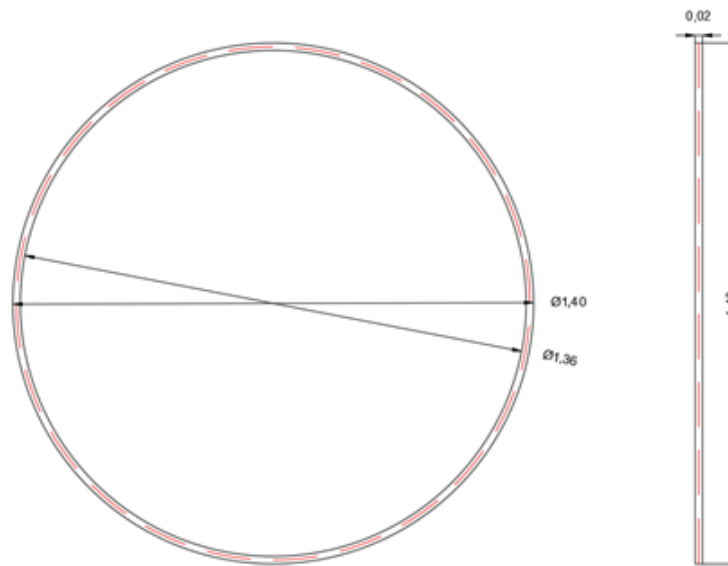
Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

## O.5. SOPORTES PERIFÉRICOS

La función de los soportes periféricos es sujetar los terminales de los soportes laterales. Se utilizó tubo estructural cuadrado para darle mayor rigidez a la estructura.

La rueda está compuesta por dos soportes periféricos idénticos y cada uno está unida mediante soldadura.

En la figura 18 se muestra las dimensiones cuyas medidas están en metros



**Figura 18.** Detalles de los soportes periféricos. Dimensiones en metros.

Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

## **P. ESTRUCTURA PARA SOPORTE DE RUEDA HIDRÁULICA**

La rueda hidráulica va estar empotrada a la estructura de concreto del canal mediante una estructura metálica diseñada para garantizar una buena sujeción y que el sistema no sea arrastrado por el agua. Ver detalles en los planos (Anexo 3).

La estructura está fabricada en sus extremos por ángulos de acero laminado en caliente, además de tubos de acero estructural rectangular en la parte superior e inferior que soportara todo el peso de la turbina hidrocínética.

Toda la estructura está pintada con base Zincromato para protegerla de la corrosión.

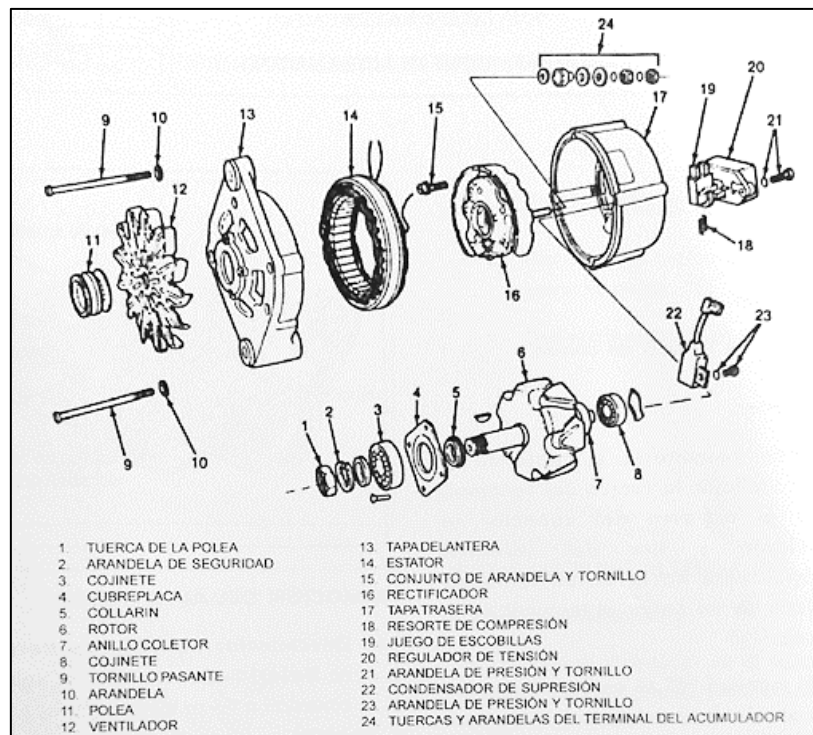
Ficha técnica de ángulos estructurales y tubo de acero en Anexo 2.

## **Q. SELECCIÓN DE GENERADOR ELÉCTRICO**

Un alternador automotriz, es una maquina eléctrica, capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética y el movimiento giratorio relativo entre el rotor y el estator; ya que posee

un equipo rectificador en su interior, la corriente a la salida es continua, y se utiliza especialmente para carga baterías.

Los alternadores están fundados en el principio de que en un conductor sometido a un campo magnético variable crea una tensión eléctrica inducida cuya polaridad depende del sentido del campo y el valor del flujo que lo atraviesa (Muños Sanchez, Correa Londoño, & Bedoya Monsalve, 2016).



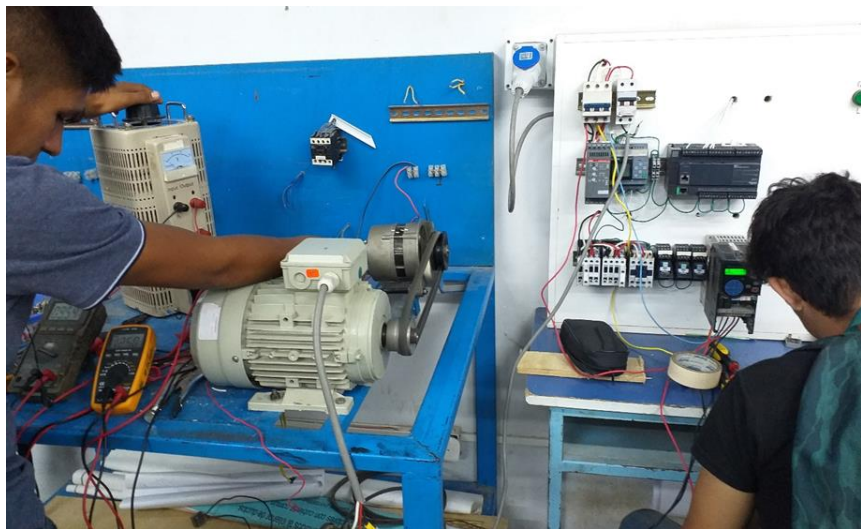
**Figura 19.** Partes de un alternador

Fuente: Manual SENATI

Realizando los cálculos, simulaciones y pruebas en el laboratorio de Electricidad Industrial del Instituto SENATI. Dentro de los ensayos realizados, se utiliza principalmente un variador de frecuencia que regula las RPM del motor que se usa para evaluar el desempeño del generador o alternador bajo estudio. Se encontró que para una generación eléctrica óptima, la velocidad de rotación del alternador debe oscilar entre 1 500 a 1 800 rpm para obtener un nivel de tensión ideal para cargar una batería.

Cabe resaltar que el rango de carga para una batería debe permanecer entre 12,5 y 13,5 voltios DC (Muños Sanchez et al., 2016).

Se seleccionó un generador eléctrico de tipo síncrono por su bajo costo de adquisición y mantenimiento, debido a que se trata de un alternador automotriz ampliamente usado en todo el territorio nacional. Este generador tiene las siguientes especificaciones técnicas: una potencia aparente de 700 Watts, velocidad síncrona de 1200 rpm, 6 polos y con una frecuencia de 60Hz.



**Figura 20.** Simulación y pruebas en laboratorio SENATI, con el alternador seleccionado en el proyecto para determinar RPM óptimas.

Fuente: Elaboración propia

## **R. CONSTRUCCIÓN DE LA RUEDA HIDRAULICA**

El proceso de construcción de la rueda hidráulica se detalla en la siguiente hoja de procesos mecanizado.



## R.1. HOJA DE PROCESOS: RUEDA HIDRÁULICA

**Tabla 1.**

Descripción del proceso de construcción de la rueda hidráulica

<b>EJE DE TRANSMISIÓN (1)</b>			
N°	CANT.	DESCRIPCIÓN	HERRAMIENTAS
1	1	Selección y corte del eje con las dimensiones requeridas	Wincha métrica, cierra mecánica
2	1	Refrentar un extremo del eje	Torno, cuchilla
3	5	Señalar los puntos donde se ubicarán los chaveteros	Wincha métrica, marcador permanente
4	5	Maquinar los chaveteros	Fresadora, fresa.
5	1	Montaje del eje en las chumaceras	Martillo, llave Allen
<b>DISCOS DE TRANSMISIÓN (4)</b>			
1	4	Corte de los discos con el diámetro requerido	Plasma máquina de corte
2	4	Perforar un agujero en el centro del disco	Plasma máquina de corte
3	4	Biselar la periferia de los agujeros realizados	Taladro, fresa, pie de rey
<b>MANZANAS (4)</b>			
1	4	Selección y corte de tubo con las dimensiones requeridas	Wincha métrica, cierra mecánica
2	8	Perforar agujeros perpendiculares al eje	Wincha métrica, taladro, brocas
3	8	Roscar los agujeros perforados	Conjunto machuelo
4	4	Soldar manzanas a los discos alineados y orientados correctamente	Soldadora, electrodo, martillo
5	4	Ensamble de los discos de transmisión	Martillo, Prisioneros, llaves Allen
<b>SOPORTES PRINCIPALES (27)</b>			
1	27	Corte de material (tubo cuadrado)	Wincha métrica, amoladora, discos de corte
2	54	Eliminar viruta de los extremos del tubo	Lima plana
3	54	Marcar los puntos a lo largo del tubo donde se realizarán las inclinaciones respectivas	Wincha métrica, marcador permanente
4	54	Corte graduado del tubo, para formar la curva del soporte	Escuadra falsa, amoladora, discos de corte
5	54	Soldar los puntos previamente preparados	Soldadora, electrodo

6	81	Marcar y perforar los puntos requeridos con la medida y dirección correcta	Wincha métrica, marcador permanente, Taladro de mano, brocas
7	27	Ensamble de los soportes principales	Pernos, arandelas, llaves

---

**PERFILES PERIFÉRICOS (2)**

---

1	2	Corte del material (tubo cuadrado)	Wincha métrica, amoladora, discos de corte
2	2	Rolar los perfiles cortados	Roladora de tubo
3	2	Soldar los terminales de cada perfil rolado	Prensa manual, soldadora, electrodo
4	3	Soldar los terminales de los soportes principales de los costados en los puntos requeridos con la medida y dirección correcta	Prensa manual, marcador permanente, soldadora, electrodo

---

**ÁLABES (9)**

---

1	9	Corte del material (latón galvanizado)	Wincha métrica, amoladora, discos de corte, cizalla
2	18	Señalar los puntos donde se requiere doblar la pieza	Wincha métrica, marcador permanente
3	18	Doblar la pieza con las inclinaciones respectivas	Dobladora Hidráulica, escuadra falsa
4	9	Sujetar los álabes sobre los soportes principales	Alicates de presión, prensa manual
5	9	Marcar y taladrar los puntos donde sea necesario	Wincha métrica, marcador permanente, Taladro manual, brocas
6	9	Fijar los álabes contra los soportes principales	Pernos, arandelas, llaves

---

**ESTRUCTURA PARA SOPORTE DE RUEDA HIDRÁULICA**

---

1	2	Corte del material (tubo rectangular)	Wincha métrica, amoladora, disco de corte
2	2	Corte del material (ángulo)	Wincha métrica, amoladora, disco de corte
3	2	Soldar los puntos previamente preparados de ángulos	Wincha métrica, marcador permanente, Soldadora, electrodo

4	4	Soldar los puntos previamente preparados de los tubos y ángulos	Wincha métrica, marcador permanente, Soldadora, electrodo
5	8	Marcar y taladrar los puntos donde sea necesario	Wincha métrica, marcador permanente, Taladro manual, brocas
6	4	Montaje de las chumaceras a la estructura de soporte	Pernos, arandelas, llaves

Fuente: Elaboración propia

## R.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS COMPONENTES

**Tabla 2.**

Descripción de los elementos estructurales de la rueda hidráulica

CANT.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	DIMENSIONES
<b>EJE DE TRANSMISIÓN (1)</b>			
1	Eje macizo	Acero SAE 1020	1 ½" x 90 cm
1	Eje macizo	Acero SAE 1020	1" x 40 cm
<b>DISCOS DE TRANSMISIÓN (4)</b>			
4	Plancha metálica	Acero BMH 500	2300 x 9,525 mm x 1200
<b>MANZANAS (4)</b>			
4	Tubo de acero redondo	Acero ASTM A36	75 x 1 ½" x 48,3
<b>SOPORTES PRINCIPALES (27)</b>			
27	Tubo estructural cuadrado	Acero ASTM A500	20 x 1,5
<b>PERFILES PERIFÉRICOS (2)</b>			
2	Tubo estructural cuadrado	Acero ASTM A36	20 x 1,5
<b>ÁLABES (9)</b>			
9	Plancha galvanizada	Acero ASTM A653	500 x 375 x 1
<b>PERNOS (91)</b>			
81	Elementos de unión	Acero ASTM A325	3/16" x 1 1/4"
4	Elementos de unión	Acero ASTM A325	7/16" x 2 ½"
4	Elementos de unión	Acero ASTM A325	1/2" x 2 ½"
2	Elementos de sujeción	Acero ASTM A325	5/8" x 6"
<b>ARANDELAS (91)</b>			
81	Elementos de protección	Acero ASTM F-436	3/16"
4	Elementos de protección	Acero ASTM F-436	7/16"
4	Elementos de protección	Acero ASTM F-436	1/2"
2	Elementos de protección	Acero ASTM F-436	5/8"

<b>TUERCA HEXAGONAL (91)</b>			
81	Elemento de apriete	Acero ASTM A-194	3/16"
4	Elemento de apriete	Acero ASTM A-194	7/16"
4	Elemento de apriete	Acero ASTM A-194	1/2"
2	Elemento de apriete	Acero ASTM A-194	5/8"
<b>PRISIONERO ALLEN (8)</b>			
8	Elementos de apriete	Acero ASME B183	1/4" x 3/4"
<b>ESTRUCTURA PARA SOPORTE DE RUEDA HIDRÁULICA</b>			
2	Tubo estructural rectangular	Acero ASTM A500	3 088 x 1 ½" x 3" x 1,5
2	Ángulo estructural	Acero ASTM A36	3 303,45 x 2" x 2" x 4,77
4	Tubo estructural rectangular	Acero ASTM A500	4000 x 2" x 1" x 1,5
1	Tubo estructural cuadrado	Acero ASTM A500	507 x 1 ½" x 1 ½" x 1,5

Fuente: Elaboración propia

### **R.3. PROCESO DE ENSAMBLE**

Para el montaje de la rueda es necesario tener mecanizado totalmente el eje, los discos de transmisión, y los soportes principales; además se debe disponer de elementos de unión y fijación como pernos, arandelas, tuercas y chavetas. El proceso de ensamble se describe a continuación:

#### **- Álabes**

Los álabes sirven como punto de inicio para el ensamblado general de la rueda hidráulica. Se ubica y se sujeta mediante alicates de presión y prensa manual los álabes sobre los soportes principales, luego se mide, se marca y se realiza perforaciones coincidentes con dichos soportes.



**Figura 21.** Marcación de los puntos a perforar en álabes y soportes.  
Fuente: Elaboración propia

- **Soportes principales**

Ubicar y sujetar mediante pernos, arandelas y tuercas los soportes principales en cada álabe.



**(a)**



(b)

**Figura 22.** Unión de álabes en sus respectivos soportes. (a) Ajuste de pernos, (b)Álabes ensamblados en sus respectivos soportes principales de álabes.

Fuente: Elaboración propia

- **Discos de transmisión**

Ubicar en el lugar correspondiente, sujetar y soldar los soportes principales en los cuatro discos de transmisión.



(a)



(b)

**Figura 23.** Unión mediante soldadura de los soportes en los discos de transmisión. (a)Soldadura de los soportes principales en los discos de transmisión, (b)Presión con una prensa manual entre los soportes de álabes a los discos de transmisión.

Fuente: Elaboración propia

#### - Eje de trasmisión

Ubicar y sujetar mediante chavetas y su prisionero Allen los 4 discos de transmisión.



(a)



(b)

**Figura 24.** Tomas fotográficas de la manufactura de la unión mediante chavetas y prisionero Allen de los discos de transmisión en el eje del rotor. (a) y (b) Ajuste de prisioneros Allen.

Fuente: Elaboración propia

#### - **Perfiles externos**

Ubicar, sujetar y soldar los perfiles externos con los terminales de los soportes principales situados al costado de la rueda hidráulica.



**Figura 25.** Unión mediante soldadura de los perfiles periféricos en los soportes laterales.

Fuente: Elaboración propia



- **Estructura de soporte para rueda hidráulica**

La estructura está fabricada en sus extremos por ángulos de acero laminado en caliente, además de tubos de acero estructural rectangular en la parte superior e inferior que soportara todo el peso de la turbina hidrocínética.



(a)



(b)

**Figura 26.** Unión mediante soldadura de todas las partes que equipan la estructura. (a) Vista de los soportes aun por soldar, (b) vista de los soportes soldándose a la estructura.

Fuente: Elaboración propia

- **Eje de doble polea**

Ubicar y sujetar mediante chavetas y su prisionero Allen la polea 2 y polea 3.



**Figura 27.** Ensamble de la polea de 2 ½” y el aro de llanta para bicicleta de 24” en el eje de transmisión.

Fuente: Elaboración propia

- **Generador eléctrico**

Ubicar y soldar el soporte como base para sostener el alternador eléctrico.



**Figura 28.** Instalación del alternador eléctrico.

Fuente: Elaboración propia

- **Poleas, aros de llanta para bicicleta y correas**

Colocar y sujetar las poleas y aros, mediante un chavetero y prisionero Allen, sobre sus ejes de transmisión respectivos; para luego colocarles las correas redondas en su lugar correspondiente.



*Figura 29.* Relación de transmisión.

Fuente: Elaboración propia

### **3.3.2.9. PRESUPUESTO REFERENCIAL**

Se realizó un presupuesto referencial de todas las etapas para llevar a cabo la implementación del proyecto; estas son: diseño, construcción, montaje e instalación.

#### **A. ETAPA DE DISEÑO**

Debido a que se ha utilizado software con licencia de estudiante y de que los recursos han sido propios, los costos del diseño son menores dado que cubren solamente materiales de escritorio, transporte y viáticos. Por lo tanto, los costos generales del proyecto de tesis se basan principalmente en los costos de manufactura de la turbina.

**Tabla 3.***Presupuesto referencial de materiales utilizados en la etapa de diseño*

<b>MATERIAL</b>	<b>VALOR (S/.)</b>
Bienes	15.00
Servicios	250.00
Otros	15.00
<b>TOTAL</b>	<b>280.00</b>

Fuente: Elaboración propia

**B. ETAPA DE CONSTRUCCIÓN**

Son los costos invertidos en la construcción de la turbina hidrocínética.

**Tabla 4.**

Presupuesto referencial de materiales utilizados en el proyecto

<b>RUEDA HIDRÁULICA Y ESTRUCTURA PARA SOPORTE</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor unitario (S/.)</b>	<b>Valor total (S/.)</b>
2	Chumacera de 1 1/2"	35.00	70.00
2	Chumaceras de 1"	17.00	34.00
1	Eje de acero 1 1/2"	49.00	49.00
1	Eje de acero 1"	15.00	15.00
1	Tubo redondo de acero Ø1 1/2"	14.50	14.50
4	Plancha BMH-500	37.00	148.00
1	Plancha de acero galvanizado (1/25")	115.00	115.00
1	Ángulo estructural (2" x 2" x 3/16")	63.00	63.00
7	Tubo cuadrado de acero (3/4" x 3/4" x 1.5 mm)	12.50	87.50
1	Tubo rectangular de acero (3" x 1 1/2" x 1.5 mm)	60.90	60.90
1	Tubo rectangular de acero (2" x 1" x 1.5 mm)	25.00	25.00
1	Tubo cuadrado de acero (1 1/2" x 1 1/2" x 1.5 mm)	12.00	12.00
1	Polea de aluminio D = 20" (aro de llanta para bicicleta)	80.00	80.00
1	Polea de aluminio D = 24" (aro de llanta para bicicleta)	28.00	28.00
2	Polea de aluminio D = 2 1/2" un canal P/correa tipo A	18.00	36.00
1	Correa redonda de Nylon	11.00	11.00
1	Brea en estado sólido	5.00	5.00
7	Chavetas 1/2"	5.00	35.00
81	Pernos (3/16" x 1 1/4")	0.40	32.40
4	Pernos (7/16" x 2 1/2")	2.20	8.80

4	Pernos (1/2" x 2 1/2")	3.00	12.00
2	Pernos (5/8" x 6")	5.00	10.00
8	Prisionero Allen (1/4" x 3/4")	0.50	4.00
81	Arandela 3/16"	0.30	24.30
4	Arandela 7/16"	0.30	1.20
4	Arandela 1/2"	0.30	1.20
2	Arandela 5/8"	0.30	0.60
1	Electrodo (Kg.)	18.00	18.00
1	Thinner (Galón)	20.00	20.00
1	Base Zincromato (galón)	19.00	19.00
5	Discos de corte 4"	5.00	25.00
<b>Subtotal</b>			1065.40
<b>SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA</b>			
1	Alternador C.C. 12V	250.00	250.00
1	Alambre de cobre N°14	2.00	2.00
1	Tubo corrugado de PVC 3/4"	5.00	5.00
<b>Subtotal</b>			257.00
<b>TOTAL SIN I.G.V.</b>			<b>1322.40</b>

Fuente: Elaboración propia

### C. ETAPA DE FABRICACIÓN, ENSAMBLAJE Y MONTAJE

**Tabla 5.**

Presupuesto referencial de materiales utilizados en el proyecto

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Horas / Hombre</b>	<b>Valor (S/.)</b>
1	Servicio de taller	80	500.00
1	Montaje de la rueda	3	50.00
1	Transporte	-	20.00
<b>Total</b>			<b>570.00</b>

Fuente: Elaboración propia

### D. COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

El costo de todas las etapas para llevar a cabo la implementación del sistema se calculó de la siguiente manera:

Se halla el total de los subtotales diseño, fabricación, ensamblaje y montaje.

<b>SUBTOTAL</b>	2 172,40
-----------------	----------

Para imprevistos se tomó el 5% del subtotal del diseño, fabricación, ensamblaje y montaje.

<b>VALOR (S/.)</b>	108,62
--------------------	--------

El costo de implementación del proyecto es:

<b>TOTAL GENERAL</b>	2 281,02
----------------------	----------

Cabe mencionar que ambos testistas supervisaron y además participaron de la construcción de este prototipo invirtiendo 80 horas/hombre, acumulando por tanto un total de 160 horas de trabajo.

## IV. RESULTADOS

Como principal resultado se logró la fabricación de la turbina hidráulica a partir de un proceso de diseño de ingeniería, el respectivo proceso de manufactura metal-mecánica, respectiva instalación, ensayos y mediciones de evaluación. Se presentan los datos numéricos de mediciones realizadas para cuantificar la energía hidráulica, mecánica y eléctrica que intervienen en el proceso de generación eléctrica por la turbina en el lugar donde se montó y se puso en funcionamiento.

Para determinar el rendimiento de la rueda hidráulica de la turbina realizó ensayos con diferentes niveles de caudal del agua, regulando la compuerta mecánica principal de la bocatoma de este canal de regadío, a fin de realizar las respectivas mediciones.

Nuestro proyecto se halla instalado a 2,00 metros de distancia de la compuerta principal (Ver Figura 19).



**Figura 30.** Canal Chililique donde se ubica y realizaron las pruebas

Fuente: Elaboración propia

## **4.1. PRUEBAS EXPERIMENTALES EN EL CANAL**

### **4.1.1. CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA RUEDA**

Para el cálculo de la eficiencia de la rueda se tuvo en cuenta lo siguiente:

- El número de pruebas que se realizó fueron 5, en cada prueba se utilizó un nivel de caudal diferente (regulado por sus respectivas aperturas de la compuerta principal) para poder conocer el comportamiento de la rueda. La evaluación de dicho comportamiento se basó principalmente en mediciones de RPM, torque mecánico que produce el agua en la rueda, y la velocidad del agua, según se reporta en la Tabla 6.
- El potencial hidráulico, el potencial mecánico real de la rueda y la eficiencia de la rueda, se calculó en base a los datos medidos (según se indicó en anterior inciso) en el lugar instalado.

Los parámetros técnicos considerados para determinar la eficiencia de la rueda se describen a continuación:

- Área de choque del agua en la sección de los álabes.
- Velocidad del agua que fue medido por el instrumento llamado correntómetro.
- Se calculó el potencial hidráulico con el área de la sección del álabe y la velocidad del agua.
- Se calculó el torque real de la rueda mediante un dinamómetro (balanza romana de resorte), ubicada tangencialmente en la periferia de la rueda.
- Con las mediciones de torque se calculó la potencia mecánica real de la rueda.
- La eficiencia de la rueda hidráulica se calculó mediante la relación del valor de potencia mecánica generada debido a su rotación, y la potencia mecánica que lo produce dicha rotación.



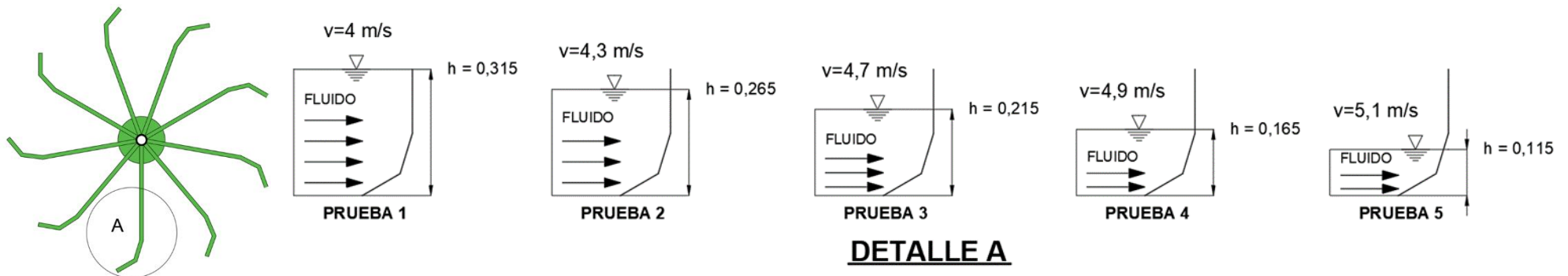
**Tabla 6.**

Datos de operación de la Rueda hidráulica

PRUEBA	ÁREA DE CHOQUE		VELOCIDAD DEL AGUA	POTENCIAL HIDRÁULICO APROVECHABLE	VELOCIDAD ANGULAR DE LA RUEDA	TORQUE REAL DE LA RUEDA (M <sub>t</sub> )						POTENCIA REAL DE LA RUEDA	EFICIENCIA MECÁNICA RUEDA		
	V. M	V. C	V. MEDIDO	V. CALCULADO	V. MEDIDO	V.M	DEFORMACIÓN DEL RESORTE	CONSTANTE ELASTICA	V.C	V.M	V.C	V. CALCULADO	V. CALCULADO		
	Álabe	A= a x h	Correntómetro	$P_h=1/2 \times \rho \times A \times v^3$	$\omega$	Peso	Distancia $\Delta x$	$Peso/\Delta x = k$	Fuerza (F)	Radio (r)	$F \times r = M_t$	$P_R=M_t \times \omega$	$\eta=P_R / P_h$		
N°	a (m)	h (m)	A (m <sup>2</sup> )	v (m/s)	W	RPM	Rad/s	N	m	N/m	N	m	N.m	W	%
1	0.50	0.315	0.1575	4.0	5040	28	2.93	833.85	0.09	8970.30	833.85	0.70	584	1711	34.0
2	0.50	0.265	0.1325	4.3	5267	32	3.35	647.46	0.07	8970.30	647.46	0.70	453	1519	28.8
3	0.50	0.215	0.1075	4.7	5580	35	3.67	343.35	0.04	8970.30	343.35	0.70	240	881	15.8
4	0.50	0.165	0.0825	4.9	4853	39	4.08	215.82	0.02	8970.30	215.82	0.70	151	617	12.7
5	0.50	0.115	0.0575	5.1	3814	21	2.20	127.53	0.01	8970.30	127.53	0.70	89	196	5.1
6	0.50	0.065	0.0325	5.2	2285	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0	0	0.0

Fuente: Elaboración propia

**Legenda:**  $\rho$  = Densidad del agua.



**Figura 31.** Esquema de los parámetros de altura y velocidad de corriente de agua en el área transversal del álabe.

Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

#### 4.1.2. PRUEBAS Y ANALISIS DE DATOS

Para el análisis de los resultados experimentales, se realizó 10 procesos de medición considerando una posición fija de la compuerta principal de canal. No obstante, existe variación natural del caudal que se pone de manifiesto con diversos valores de velocidad de giro de la rueda (rpm) en cada medición realizada. Las mediciones se basan en determinar la generación de energía eléctrica.

La información recolectada se visualiza en la siguiente tabla.

**Tabla 7.**

Datos obtenidos de las mediciones del generador eléctrico en diversas instancias de tiempo para las mismas condiciones de posición de compuerta principal del canal

Medición	VELOCIDAD (RPM)	TENSIÓN (v)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (W)
1	1556	12.8	4.02	51.62
2	1567	13.1	4.19	54.89
3	1609	13.8	4.62	63.71
4	1645	13.9	4.82	66.85
5	1570	13.3	4.57	60.60
6	1656	13.7	4.91	67.12
7	1597	13.4	4.23	56.56
8	1601	13.6	4.60	62.56
9	1591	13.5	4.41	59.54
10	1512	12.6	3.96	49.90

Fuente: Elaboración propia

Las velocidades en rpm de la tabla anterior fueron calculadas con la ayuda de un instrumento llamado tacómetro digital, las cuales se midieron en el eje del alternador eléctrico.

#### 4.1.3. PRUEBAS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN PARA VERIFICAR SU FUNCIONAMIENTO EN SU IMPLEMENTACIÓN

##### 4.1.3.1. CORRIENTE GENERADA PARA CARGA DE BATERIA

La corriente generada por el alternador es suficiente para realizar la carga de una batería de almacenamiento, se realizó la prueba de la

corriente eléctrica que consume una batería totalmente descargada cuando se está cargando.



**Figura 32.** Toma fotográfica de medición de corriente de carga a la batería de almacenamiento con 4,19 A.

Fuente: Elaboración propia

Se utilizó una batería de 12V con una autonomía de 3Ah para realizar las pruebas correspondientes, y por ende se suministró una corriente de carga de 4,43 A aproximadamente, entonces el tiempo de carga es:

$$T_c = \frac{I_n}{I_g} \quad (20)$$

Donde:

$T_c$  = Tiempo de carga

$I_n$  = Corriente nominal

$I_g$  = Corriente generada

$$T_c = \frac{3 \text{ Ah}}{4,43 \text{ A}}$$

$$T_c = 0,677 \text{ h}$$

De la ecuación 20, se puede deducir que el tiempo de carga será en aproximadamente 40 minutos y 37 segundos.

## V. DISCUSIONES

- Debido a limitaciones en el proceso de manufactura para la fabricación de los álabes en la ciudad donde se desarrolla la tesis, se han diseñado los álabes utilizando una geometría basada en líneas rectas, que emulan una curvatura. Si la geometría de los alabes fueran fabricados siguiendo una curvatura determinística a través de una ecuación matemática, cabe esperar que la eficiencia de la turbina que tenga dichos alabes curvos sea mayor al tipo de turbina con álabes de perfiles rectos. A las limitaciones citadas de manufactura se suman también aquellas limitaciones de niveles de inversión económica que existe para la elaboración de proyectos como el presente. Perfeccionar el diseño de los álabes para lograr mayor eficiencia es sin duda un tema interesante de investigación que va más allá del alcance del presente trabajo.
- Haber usado la correa de Nylon no es tan efectivo que utilizar una correa industrial dentada o de otro tipo que ofrezca mejor sujeción, más fricción a la polea. Para este tipo de sistema de transmisión se embadurnó las correas redondas de Nylon con brea líquida para obtener una mejor fricción en las poleas. Este sistema de transmisión mecánica también podría mejorarse al menos en los aspectos citados.
- Un estudio óptimo sobre la variación de caudal permitiría una mejor proyección de la energía que podría generarse de modo continuo, que a su vez podría usarse para una mejor evaluación de factibilidad económica del proyecto. Nuevamente, realizar estas mediciones en detalle requiere de disponibilidad del equipamiento de mediciones y soporte económico para conseguir las mediciones continuas durante un periodo de tiempo extenso que permita brindar resultados estadísticos más robustos.
- Del mismo modo que el punto anterior, el presente trabajo podría mejorarse con una evaluación continua más prolongada del funcionamiento de la turbina hidráulica a fin de brindar resultados estadísticos más robustos sobre su producción de energía y respectiva eficiencia energética. Como ya se ha indicado anteriormente, el objetivo principal del presente trabajo de investigación es demostrar el concepto de operatividad de la turbina y que esté habilitada para la generación de energía eléctrica. Estos estudios con mayor

detalle que se han citado también son muy interesantes y podrían motivar futuras investigaciones al menos como tesis universitarias, en la que se busque optimizar al máximo el diseño geométrico, eficiencia mecánica y eléctrica, etc.

- Considerando la alta disponibilidad en el mercado y su bajo costo, se consideró el uso de alternador de motor automotriz. Esto en primera instancia facilitaría la adquisición y el mantenimiento para futuros usuarios en el sector rural, sin embargo, no es la opción que brinde mayor eficiencia energética. Por ello, es también un reto que surge del presente trabajo para futuras investigaciones que consideren optimizar la eficiencia en general, especialmente si se planifica industrializar pudiendo llegar a requerir un diseño exclusivo para un sistema como este.
- Para suministrar energía eléctrica alterna con el presente trabajo, se necesita convertirla, y para este proceso involucra un diseño eléctrico y electrónico específico que demanda un gran número de sistemas electrónicos que van conectados al sistema eléctrico de salida del alternador de motor automotriz, como un inversor de tensión que transforman una señal de corriente continua (DC) en corriente alterna (AC). Por lo tanto, este constituye un desarrollo futuro al menos como tesis universitarias.
- No se tomó en cuenta en el diseño geométrico el óptimo montaje y desmontaje de cada pieza de la rueda hidráulica a fin de que se simplifique su mantenimiento o reparación. Esto también debería motivar trabajos futuros que mejoren lo dicho anteriormente a fin de que el sistema pueda realmente aplicarse a sistemas rurales en los que la disponibilidad de un especialista es limitada.
- Es muy probable que los materiales para la fabricación de la turbina puedan ser mejorados en sus características físicas y mecánicas, a través de un diseño más exhaustivo tanto analíticamente como por modelamiento computarizado. Siempre restringidos a la disponibilidad comercial de los mismos.
- Por las limitaciones en el proceso de manufactura, la fabricación de la turbina, en especial de sus elementos rodantes, puede presentar imperfecciones geométricas que conlleven a que el centro de inercia, por ejemplo del rodete principal, no esté alineado con el eje de rotación. Esta situación de no alineamiento del centro de inercia contribuye a aumentar la ineficiencia del sistema ya que podría causar desbalances que conlleven a mayor fricción, desgaste y consecuentes pérdidas de energía. Por lo tanto, se remarca que en este aspecto también es posible realizar mejoras significativas en futuros proyectos de investigación.

- Los elementos rodantes como rodajes deben tener suficiente aislamiento del agua para evitar problemas de mezcla con sus aceites lubricantes que restrinjan su rodamiento y consecuente reducción de su desempeño.
- Cabe resaltar que los alternadores automotrices y como de la mayoría de vehículos su rectificador AC/DC incluye un regulador del voltaje de salida que estaría restringiendo la potencia que se puede generar. Es por ello que el diseño específico de un alternador para la turbina sería también un interesante tema a mejorar a través de investigaciones futuras.
- En el presente trabajo de investigación se optó por la implementación de una turbina de eje horizontal que tiene las siguientes ventajas con respecto a la investigación que sostiene Tantalean y Santos (2019) sobre turbina de eje vertical:
  - Crea menor turbulencia que perjudica el flujo del agua.
  - No requiere de instalación de soporte en el fondo del canal.
  - Tiene mejoras prestaciones para un mantenimiento.
- Se selecciono un perfil circular para el álabe de la rueda hidráulica para tratar de disminuir el problema multifásico turbulento que afecta el rendimiento de la rueda. Esta selección se reafirma mediante la investigación de Quaranta (2018), quien sostiene que utilizar un perfil circular, el rendimiento de la rueda se mejora en un promedio del 4% con respecto a otros perfiles de alabes utilizados.
- De acuerdo a la tesis de Vaca Ludeña (2014) en su diseño y construcción de una rueda hidráulica de álabes curvos, con un área transversal de  $0,50\text{m}^2$ , alcanzo un rendimiento de hasta 68,6% debido a que tiene mayor área de choque del flujo de agua que el alabe que hemos diseñado.
- La investigación de Nguyen, Jeong, & Yang (2018) presenta un estudio paramétrico sobre el rendimiento de las turbinas de rueda de agua utilizando análisis experimentales y numéricos para evaluar el rendimiento de la turbina e indica que la rueda de 9 álabes alcanza una eficiencia de 41%.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### A. CONCLUSIONES

- La turbina hidrocínética de eje horizontal se encuentra ubicado en el distrito y provincia de Jaén, departamento Cajamarca, en el canal de regadío llamado Chililique; está instalada a 2 metros de la compuerta principal de la bocatoma del canal de regadío, tiene un área trapezoidal de  $1,155 \text{ m}^2$ , con una velocidad de fluido de  $4 \text{ m/s}$  y aproximadamente con un caudal de  $4,62 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Para este proyecto se seleccionó la turbina hidrocínética llamada rueda hidráulica de Poncelet, cuyas características principales son de tener álabes de perfil curvo y suele trabajar con saltos hidráulicos muy reducidos o incluso nulos, además de adaptarse a características geométricas e hidráulicas del canal de regadío Chililique, sin alterar la corriente fluida libre que necesita el canal para conducir el agua en todo su trayecto.
- El diseño geométrico de los componentes mecánicos utilizados para construir el rotor está basado a características geométricas e hidráulicas del canal, las características de diseño geométrico del prototipo que se planteó, se pueden apreciar en el anexo 3 donde se detallan las partes que la conforman.
- Se concluye que en los ensayos de laboratorio se determinó que es necesario una velocidad de giro del eje del generador eléctrico mínimo de 1535 RPM, así como una frecuencia de 53 Hz para generar electricidad con un voltaje mínimo de 12V, es por ello que se seleccionó un generador eléctrico de tipo síncrono por su bajo costo de adquisición y mantenimiento, debido a que se trata de un alternador automotriz ampliamente usado en todo el territorio nacional. Este generador tiene las siguientes especificaciones técnicas: una potencia aparente de 700 Watts, velocidad síncrona de 1200 rpm, 6 polos y con una frecuencia de 60Hz.
- El costo estimado total para la implementación del prototipo es de 2 281,02 soles.
- Se ha demostrado la factibilidad de fabricar el prototipo a nivel local con equipamiento y profesionales en soldadura, mecanizado, rolado, deformación plástica (doblado) disponibles en talleres de la ciudad.

- Con la fabricación de esta turbina a partir de un proceso de diseño de ingeniería y el respectivo proceso de manufactura metal-mecánica, ha permitido aprovechar el potencial hidráulico del canal de Chililique, en un 13,64 % (1711W) de acuerdo con la sección transversal de la turbina frente al flujo del agua. Este valor ha sido suficiente para el accionamiento del alternador automotriz implementado.
- Considerando la tabla 6 en la sección de resultados se observa que el prototipo desempeña una mayor eficiencia a una velocidad de fluido de 4m/s. Al aumentar la velocidad del fluido ésta pierde eficiencia debido que el prototipo tiene una altura determinada 0,75 m de la base del canal hasta la superficie del agua, esto se determinó debido a que el canal permanece constantemente a esa velocidad, siendo así se recomienda para otra investigación utilizar un mecanismo para regular la altura del rotor de la turbina y así aprovechar mayor caudal del fluido y por lo tanto tener más eficiencia.
- La eficiencia mecánica de la rueda hidráulica depende también del caudal disponible en el canal, el cual es regulado por la compuerta mecánica principal ubicada en la bocatoma del canal de regadío. Al realizar diferentes mediciones se concluyó que la turbina ofrece un 34% de eficiencia para conservación de energía hidráulica a energía mecánica correspondiente a una velocidad de corriente del agua de 4 m/s y 0,1575 m<sup>2</sup> de sección transversal del agua en el canal que corresponde a un caudal de 0,63 m<sup>3</sup>/s.
- Se ha logrado el diseño y fabricación de una turbina hidrocínética de eje horizontal con aplicación en canal de regadío con una eficiencia energética de al menos 34%.

## **B. RECOMENDACIONES**

- Para la elaboración de este tipo de proyectos que todo el tiempo de su funcionamiento tienen contacto con el agua y a las inclemencias de la naturaleza, se debe utilizar para su manufactura materiales y accesorios que ofrezcan mayor protección contra el ingreso de agua en los rodajes y en general el contacto con la estructura a fin de evitar la corrosión.
- El diseño podría realizarse con mayor detalle con la disposición de más tiempo y de recursos humanos y económicos, con equipos asignados exclusivamente para la transmisión mecánica y generación eléctrica.
- Con respecto a la turbina se recomienda aplicar un proceso de manufactura que permita darle curvatura a los alabes de la turbina para tener menores pérdidas por arrastre.



- Con respecto a la transmisión se recomienda la utilización de fajas industriales, así como la fabricación personalizada de poleas. Con respecto al generador eléctrico se recomienda la instalación de un controlador de carga para contrarrestar las variaciones en el fluido eléctrico debido a las variaciones de la velocidad del agua del canal.
- Sería recomendable que se contemple el diseño de la turbina de modo que su instalación y montaje no requiera estrictamente la intervención de un especialista en ingeniería o técnico mecánico. Por lo tanto, este aspecto también sería recomendable mejorar en un trabajo de investigación a futuro.
- Se recomienda el uso de un generador eléctrico de corriente continua porque en la actualidad el desarrollo de la electrónica de potencia está permitiendo que se transmita la potencia eléctrica en DC.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Budynas, R. G., & Keith Nisbett, J. (2011). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Novena edi; McGraw-Hill, Ed.). México.
- D'Agostino, A. J. F. (2014). *Diseño de Producto: Generación de Energía Eléctrica a Partir de Bicicletas Fijas de Indoor* (Universidad Nacional de Córdoba). Recuperado de <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1340>
- Heredia Sánchez, L. F. (2009). Construcción y ensayo de una rueda hidráulica de corriente libre de 2m de diámetro (Pontificia Universidad Católica del Perú). Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6620/621312132M971.pdf?seque>
- Maldonado Quispe, 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). Recuperado de [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/maldonado\\_qf/maldonado\\_qf.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/maldonado_qf/maldonado_qf.pdf)
- Muñoz Sanchez, J. M., Correa Londoño, J., & Bedoya Monsalve, D. A. (2016). *Diseño e instalación de sistema de generación eléctrica por movimiento circular uniforme* (Universidad Tecnológica de Pereira). Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6620/621312132M971.pdf?seque>
- Nguyen, M. H., Jeong, H., & Yang, C. (2018). A study on flow fields and performance of water wheel turbine using experimental and numerical analyses. *Science China Technological Sciences*, 61(3), 464-474. <https://doi.org/10.1007/s11431-017-9146-9>
- Ortiz Cadena, J. S., & Marroquin Cifuentes, G. N. (2016). *Desarrollo de software para cálculo y selección de poleas trapezoidales para correas de alta capacidad y métricas* (Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Recuperado de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5314/1/OrtizCadenaJuanSebastian2017.pdf>

- Pérez Guadalupe, José L. (2016). Aprueban el Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER) correspondiente al período 2016-2025. *El Peruano*, pp. 574047-574048. Recuperado de <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/aprueban-el-plan-nacional-de-electrificacion-rural-pner-co-resolucion-ministerial-no-579-2015-memdm-1329504-1>
- Plan Energético Nacional 2014-2025. (2019). En *Plan energético nacional 2014-2025*. <https://doi.org/10.31819/9783964563132-toc>
- Quaranta, E., & Revelli, R. (2017). CFD simulations to optimize the blade design of water wheels. *Drinking Water Engineering and Science*, 10(1), 27-32. <https://doi.org/10.5194/dwes-10-27-2017>
- Silva Guevara, W. (2017). *Cálculo y selección de parámetros de una turbina hidráulica para la generación de electricidad en la comunidad de Puesta de Sol-Lonya Grande-río Napo* (Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo; Vol. 1). Recuperado de <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/2210>
- Vaca Ludeña, R. E. (2014). *Diseño y construcción de un sistema de bombeo mediante rueda hidráulica de alimentación inferior, para la granja de pollo Avícola Serrano* (Universidad Nacional de Loja). Recuperado de [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11925/1/Vaca Ludeña%2C Rolando Efraín.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11925/1/Vaca_Ludeña%2C_Rolando_Efraín.pdf)

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1

#### Tabla 8.

Resultados de laboratorio SENATI, para determinar los RPM necesarios para empezar a generar energía eléctrica del alternador seleccionado.

MEDICIÓN	VARIADOR DE VELOCIDAD (Hz)	VELOCIDAD (RPM)	TENSIÓN (v)
1	51	1477	11.56
2	52	1506	11.79
3	53	1535	12.01
4	54	1564	12.24
5	55	1593	12.47
6	56	1622	12.69
7	57	1651	12.92
8	58	1680	13.15
9	59	1709	13.37
10	60	1738	13.60

Fuente: Elaboración propia

\* Como se muestra en la tabla 8 a partir de la medición 3 hacia delante, el alternador eléctrico empieza a generar energía eléctrica a partir de 1535 RPM con un voltaje de 12,01 V.

**Anexo 2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MATERIALES  
UTILIZADOS PARA LA MANUFACTURA DEL PROTOTIPO**

# Barras Redondas Lisas y Pulidas

## CALIDADES: ASTM A36 Y SAE1045

### DENOMINACIONES:

REDO LISO A36; REDO LISO SAE1045  
REDO PULI A36; REDO PULI SAE1045

### DESCRIPCIÓN:

Producto laminado en caliente de sección circular, de superficie lisa y pulida (según requerimiento).

### USOS:

CALIDAD	USOS
ASTM A36	Estructuras metálicas, puertas, ventanas, rejas, cercos, barras de transferencia para pavimento rígido, etc.
SAE 1045	Pernos y tuercas por recalcado en caliente o mecanizado, ejes, pines, pasadores, etc.

### NORMAS TÉCNICAS:

- ASTM A36 / A36M
- SAE J403
- ISO 1035 / 4

### TOLERANCIAS DIMENSIONALES:

- Barras de diámetros  $\leq 1"$ : ISO 1035/4
- Barras de diámetros  $> 1"$ : ASTM A6

### PRESENTACIÓN:

- Se produce en longitudes de 6 metros.<sup>(\*)</sup>
- Las barras de diámetros mayores a 1", son suministradas en estado laminado en caliente y posteriormente pulidas.
- Se suministra en paquetones de 2 TM.
- La calidad 1045 se identifica con los colores blanco o blanco y negro.
- La calidad A36 se identifica con los colores verde o verde y negro.

### DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES:

DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	PESO MÉTRICO Kg/m	PESO DE LA BARRA Kg/6m
3/8	0.559	3.356
1/2	0.994	5.966
5/8	1.554	9.323
3/4	2.237	13.425
7/8	3.045	18.272
1	3.978	23.866
1 1/8	5.034	30.205
1 1/4	6.215	37.291
1 3/8	7.520	45.122
1 1/2	8.950	53.698
1 3/4	12.182	73.090
2	15.911	95.464
2 1/4	20.137	120.822
2 1/2	24.860	149.162

(\*) También se produce en otras longitudes a pedido del cliente

### COMPOSICIÓN QUÍMICA EN LA CUCHARA (%):

NORMA	%C	%Mn	%Si	%P	%S
ASTM A36	0.26 máx.	0.60 - 0.90 <sup>(1)</sup>	0.40 máx.	0.04 máx.	0.05 máx.
SAE 1045	0.43 - 0.50	0.60 - 0.90	0.15 - 0.25 <sup>(2)</sup>	0.030 máx.	0.050 máx.

(1) Para diámetros mayores que 3/4".

(2) Las barras con norma SAE 1045 contienen silicio a partir de 1 1/8".

### PROPIEDADES MECÁNICAS:

NORMA	LÍMITE DE FLUENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	ALARGAMIENTO EN 200 mm, mín (%)
ASTM A36	2,530	4,080 - 5,620	20.0
SAE 1045 <sup>(*)</sup>	4,000 - 5,500	6,700 - 8,200	12.0

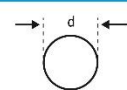
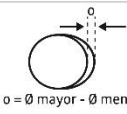
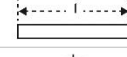
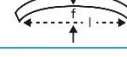
(\*) Valores Típicos

### TOLERANCIAS DIMENSIONALES:

#### Barras de diámetro $> 1"$

NORMA TÉCNICA	DIÁMETRO NOMINAL (d)	DIÁMETRO (d - mm)	OVALIZACIÓN (o - mm) máx.	DESVIACIÓN DE MÁXIMA DE RECTITUD (f - mm/m)	LONGITUD (L - mm) (*)
ASTM A6	1" < D $\leq$ 1 1/8"	$\pm 0.25$	0.38	4.16	+50 -0
	1 1/8" < D $\leq$ 1 1/4"	$\pm 0.28$	0.41		
	1 1/4" < D $\leq$ 1 3/8"	$\pm 0.30$	0.46		
	1 3/8" < D $\leq$ 1 1/2"	$\pm 0.36$	0.53		
	1 1/2" < D $\leq$ 2"	$\pm 0.40$	0.58		
	2" < D $\leq$ 2 1/2"	+0.79/-0.0	0.58		

#### Barras de diámetro $\leq 1"$

CARACTERÍSTICA DE CALIDAD	NORMA TÉCNICA ISO 1035/4	GRÁFICOS
Dimensión Nominal (d) d $\leq$ 1/2 1/2 < d $\leq$ 7/8 7/8 < d $\leq$ 1	$\pm 0.4$ mm $\pm 0.5$ mm $\pm 0.6$ mm	
Ovalización (o) d $\leq$ 1/2 1/2 < d $\leq$ 7/8 7/8 < d $\leq$ 1	0.60 mm máx. 0.75 mm máx. 0.90 mm máx.	
Longitud De Barra (l) 3 < l $\leq$ 12 m	0 / +50 mm	
Desviación Máxima de Rectitud (f)	4.0 mm/m máx.	

QCQA01-F106 / 01 / NOV 15 - QCQA01-F134 / 01 / NOV 15



Lima: Av. Antonio Miró Quesada N° 425 Piso 17, Magdalena del Mar. Tel. (51-01) 517 1800.

Pisco: Panamericana Sur Km. 240, Ica. Tel. (51-056) 58 0830.

Arequipa: Variante de Uchumayo KM. 5.5, Cerro Colorado, Arequipa, Arequipa. Tel. (51-01) 517 1800.

LA PAZ: Av. Hilbo N° 100, Zona El Kenko. Tel. (591) 77641658.

Santa Cruz: Urb. Parque Industrial Latinoamericano, Unidad Industrial UI 06, Mz. 1, Lote 4 - Warnes. Tel. (591) 76303499. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

Encuétranos en:    [www.acerosarequipa.com](http://www.acerosarequipa.com)



# Tubo LAC ASTM A500

## PARA ESTRUCTURAS

### DENOMINACIÓN:

TNM RED ND A500, TNM RED OD A500, TGM RED ND A500.  
TGM RED OD A500, TNM CUA A500, TNM REC A500, TGM CUA A500,  
TGM REC A500.

### DESCRIPCIÓN:

Tubo fabricado con acero al carbono laminado en caliente (LAC), utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW). Las secciones de fabricación son redondas, cuadradas y rectangulares.

### USOS:

Diversas estructuras livianas y pesadas, carrocerías, tijerales, postes, etc.

### NORMAS TÉCNICAS DE FABRICACIÓN:

Las dimensiones, pesos y espesores se fabrican según la norma ASTM A500 – A y B.

### PRESENTACIÓN:

- 1.- Longitud :-- Redondos: 6.40 m y 6 m.  
-- Cuadrados y rectangulares: 6 m.  
-- Otras longitudes a pedido.
- 2.- Acabado de extremos: Refrentado (plano), limpios de rebordes.
- 3.- Recubrimiento :-- Negro.  
-- Galvanizado.  
(mínimo de 120 gr/m<sup>2</sup>).

### DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m:

DESIGNACIÓN NOMINAL	DIMENSIÓN EXTERIOR (mm)	ESPESORES (mm)								
		1.5	1.8	2	2.5	3	4	4.5	6	
REDONDO NOMINAL	1/2"	21,3	0,866	0,952	1,159					
	3/4"	26,7	1,105	1,218	1,492					
	1"	33,4	1,403	1,549	1,905	2,249				
	1 1/4"	42,2	1,793	1,983	2,448	2,900				
	1 1/2"	48,3	2,064	2,284	2,824	3,351				
	2"	60,3	2,597	2,876	3,564	4,239				
	2 1/2"	73,0		3,502	4,347	5,179				
	3"	88,9		4,285	5,327	6,355				
	4"	114,3		5,539	6,892	8,234				
	CUAD L.E.	- 25x25	1,061		1,460					
- 30x30		1,300		1,700						
- 40x40		1,770		2,244		3,320				
- 50x50		2,250		3,122	3,872	4,316				
- 50,8				3,122	3,872	4,316				
- 75x75				4,500	5,560	6,810				
- 100x100				6,165	7,675	9,174	12,133	13,594	16,980	

■ Negro y Galvanizado

DESIGNACIÓN NOMINAL	DIMENSIÓN EXTERIOR (mm)	ESPESORES (mm)								
		1.5	1.8	2	2.5	3	4	4.5	6	
RECT L.E.	- 20x40	1,354		1,700						
	- 25x50	1,650		2,261						
	- 40x60	2,260		3,033	3,600	4,250				
	- 40x80	2,710		3,660	4,390	5,190				
	- 50x75					5,423				
	- 50x100			4,500	5,560	6,600	8,590			
- 50x150			6,165	7,676	9,174	11,730				

■ Negro y Galvanizado

### PROPIEDADES MECÁNICAS (ASTM A500/A500M GRADOS A y B)

SECCIÓN	GRADO	LÍMITE DE FLUENCIA (MPa)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)
REDONDO	A	230	310
CUADRADO Y RECTANGULAR	A	270	310
	B	315	400

### MATERIA PRIMA:

Acero laminado en caliente calidad estructural.

### TOLERANCIAS DIMENSIONALES

(Referidas a los valores nominales):

Espesor : + / - 10%  
Longitud : +12.7 / -6.4 mm

### Sección:

#### 1.- Redondo:

DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	TOLERANCIA DIMENSIONAL + / - (pulg)
Menores 1 1/2" incl.	0.5 %
Mayores 2"	0.75 %

#### 2.- Cuadrados y Rectangulares:

LADO EXTERIOR DEL TUBO (pulg)	VARIACIÓN MÁXIMA + / - (pulg)
Menores 1 1/2" incl.	0.020
2 1/2" a 3 1/2" incl.	0.025
3 1/2" a 4 incl.	0.030

#### 3.- Cuadrados y Rectangulares:

LADO EXTERIOR DEL TUBO (pulg)	VARIACIÓN MÁXIMA + / - (pulg)
Menores a 63.5 incl.	0.51
63.5 a 88.9 incl.	0.64
88.9 a 139.7 incl.	0.76
Mayores a 139.7	0.01 veces el largo de la dimensión plana

QCQA01-F219 / 02 / MAY 16



ISO 9001:2015  
CERTIFICATE N° 57219



ISO 14001:2015  
CERTIFICATE N° 57220



OHSAS 18001:2007  
CERTIFICATE N° 57221

**Lima:** Av. Antonio Miró Quesada N° 425 Piso 17, Magdalena del Mar. Tel. (51-01) 517 1800.

**Pisco:** Panamericana Sur Km. 240, Ica. Tel. (51-056) 58 0830.

**Arequipa:** Variante de Uchumayo KM. 5.5, Cerro Colorado, Arequipa, Arequipa. Tel. (51-01) 517 1800.

**LA PAZ:** Av. Hilbo N° 100, Zona El Kenko. Tel. (591) 77641658.

**Santa Cruz:** Urb. Parque Industrial Latinoamericano, Unidad Industrial UI 06, Mz. 1, Lote 4 - Warnes. Tel. (591) 76303499. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

Encuétranos en: [www.acerosarequipa.com](http://www.acerosarequipa.com)

**ACEROS  
AREQUIPA**

# Ángulos Estructurales

## CALIDAD: ASTM A36

**DENOMINACIÓN:**  
L A36.

**DESCRIPCIÓN:**

Producto de acero laminado en caliente cuya sección transversal está formada por dos alas de igual longitud, en ángulo recto.

**USOS:**

En la fabricación de estructuras de acero para plantas industriales, almacenes, techados de grandes luces, industrial naval, carrocerías, torres de transmisión. También se utiliza para la fabricación de puertas, ventanas, rejas, etc.

**NORMAS TÉCNICAS:**

- Sistema Inglés:- Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36M
- Tolerancias Dimensionales: ASTM A6 / A6M
- Sistema Métrico:- Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36M
- Tolerancias Dimensionales: ISO 657 / V

**PRESENTACIÓN:**

Se produce en longitudes de 6 metros. Se suministra en paquetones de 2 TM, los cuales están formados por paquetones de 1 TM c/u.

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

- Límite de Fluencia mínimo = 2,530 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Resistencia a la Tracción = 4,080 - 5,620 Kg/cm<sup>2</sup> (\*).
- Alargamiento en 200 mm = 17,0% mínimo.
- Límite de Fluencia mínimo = 17,0% mínimo.
- Resistencia a la Tracción = 17,5% mínimo.
- Alargamiento en 200 mm = 20,0% mínimo.
- Límite de Fluencia mínimo = 15,0% mínimo.
- Resistencia a la Tracción = 15,0% mínimo.
- Alargamiento en 200 mm = 15,0% mínimo.
- Límite de Fluencia mínimo = 17,5% mínimo.
- Resistencia a la Tracción = 20,0% mínimo.
- Alargamiento en 200 mm = 20,0% mínimo.
- Soldabilidad = Buena.

**DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES:**  
SISTEMA INGLÉS

DIMENSIONES (pulg)	PESO NOMINAL		
	Lb/plie	Kg/m	Kg/6m
1 1/2 x 1 1/2 x 3/32	0.929	1.382	8.292
1 1/2 x 1 1/2 x 1/8	1.230	1.830	10.983
1 1/2 x 1 1/2 x 3/16	1.800	2.679	16.072
1 1/2 x 1 1/2 x 1/4	2.340	3.482	20.894
2 x 2 x 1/8	1.650	2.455	14.733
2 x 2 x 3/16	2.440	3.631	21.787
2 x 2 x 1/4	3.190	4.747	28.483
2 x 2 x 5/16	3.920	5.834	35.002
2 x 2 x 3/8	4.700	6.994	41.966
2 1/2 x 2 1/2 x 3/16	3.070	4.569	27.412
2 1/2 x 2 1/2 x 1/4	4.100	6.101	36.609
2 1/2 x 2 1/2 x 5/16	5.000	7.441	44.645
2 1/2 x 2 1/2 x 3/8	5.900	8.780	52.681
3 x 3 x 1/4	4.900	7.292	43.752
3 x 3 x 5/16	6.100	9.078	54.467
3 x 3 x 3/8	7.200	10.715	64.289
3 x 3 x 1/2	9.400	13.989	83.932
4 x 4 x 1/4	6.600	9.822	58.932
4 x 4 x 5/16	8.200	12.203	73.218
4 x 4 x 3/8	9.800	14.584	87.504
4 x 4 x 1/2	12.800	19.048	114.288

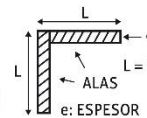
**SISTEMA MÉTRICO**

DIMENSIONES (mm)	PESO ESTIMADO	
	Kg/m	Kg/6m
20 x 20 x 2.0	0.597	3.582
20 x 20 x 2.5	0.736	4.416
20 x 20 x 3.0	0.871	5.226
25 x 25 x 2.0	0.754	4.524
25 x 25 x 2.5	0.932	5.592
25 x 25 x 3.0	1.107	6.642
25 x 25 x 4.5	1.607	9.642
25 x 25 x 5.0	1.766	10.596
25 x 25 x 6.0	2.072	12.432
30 x 30 x 2.0	0.911	5.466
30 x 30 x 2.5	1.128	6.768
30 x 30 x 3.0	1.342	8.052
30 x 30 x 4.5	1.961	11.766
30 x 30 x 5.5	2.353	14.118
30 x 30 x 6.0	2.543	15.258
38 x 38 x 2.0	1.162	6.972

Los productos a partir de 1 1/2" se fabrican bajo la Norma Técnica ASTM A36/A572- G50

**COMPOSICIÓN QUÍMICA EN CUCHARA (%):**

NORMA	%C máx	%Si máx	%P máx	%S máx
ASTM A36/A36M	0.26	0.40	0.04	0.05



**TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y DE FORMA:**

**Sistema Inglés**

NORMA TÉCNICA	DIMENS. NOMINAL	LONG. DE ALA (L-mm)	DIFER. ENTRE ALAS (ΔL-mm) (*)	ESPESOR (e - mm)			DESVI. MÁX. DE RECTITUD (f-mm/m)	LONG. (L-mm)
				e≤3/16"	3/16"<e≤3/8"	e>3/8"		
ASTM A6/A6M	1 1/4, 1 1/2, 1 3/4 y 2"	± 1.19	1.78	± 0.25	± 0.25	± 0.30	4.16	+50 -0
	2 1/2"	± 1.58	1.90	± 0.30	± 0.38	± 0.38		
	3"	+3.17		( <sup>†</sup> )	( <sup>†</sup> )	( <sup>†</sup> )	2.08	
	3 1/2"	-2.38						

(1) La máxima diferencia entre alas 75%, 60% y 50% de la tolerancia total de longitud de alas, respectivamente según la dimensión del ángulo. Fuera de Escuadra entre Alas: máximo permitido +/- 1.5".  
(2) El peso métrico no deberá variar más de +3.0%/-2.5% del peso nominal.

**SISTEMA MÉTRICO**

CARACTERÍSTICA DE CALIDAD	LONGITUD DE ALA (L) hasta 50 mm inclusive	ESPESOR DE ALA (e) L hasta 50 mm inclusive	DIFERENCIA ENTRE ALAS (ΔL) hasta 50 mm inclusive	LONGITUD DE BARRA (L) hasta 12 m inclusive	DESVIACIÓN MÁX. DE RECTITUD (f) (*)	FUERA DE ESCUADRA (e) L hasta 50 mm inclusive
NORMA TÉCNICA ISO 657/V	+/- 1.00 mm	+/- 0.50 mm	1.5 mm	0/+50 mm	4.0 mm/m máx.	1 mm máx.

(\*) No incluye puntas dobladas.

QCQA01-F103 / 01 / NOV 15



**Lima:** Av. Antonio Miró Quesada N° 425 Piso 17, Magdalena del Mar. Tel. (51-01) 517 1800.

**Pisco:** Panamericana Sur Km. 240, Ica. Tel. (51-056) 58 0830.

**Arequipa:** Variante de Uchumayo KM. 5.5, Cerro Colorado, Arequipa, Arequipa. Tel. (51-01) 517 1800.

**LA PAZ:** Av. Hilbo N° 100, Zona El Kenko. Tel. (591) 77641658.

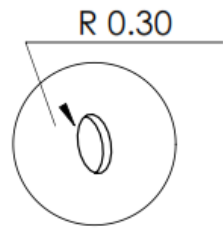
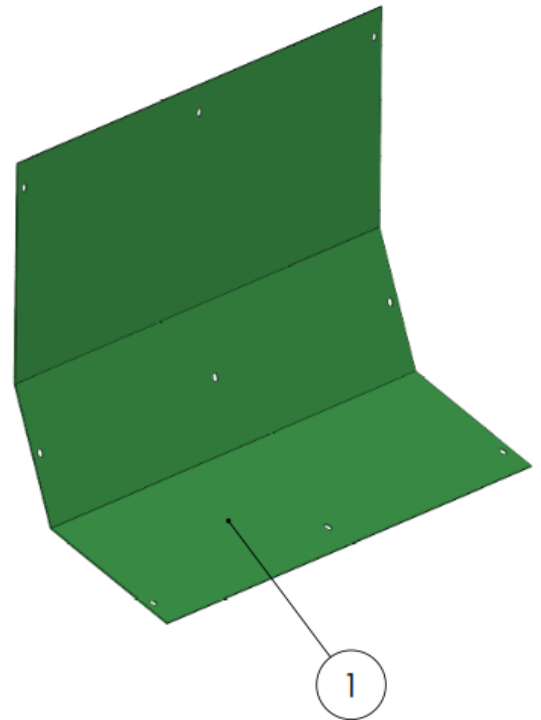
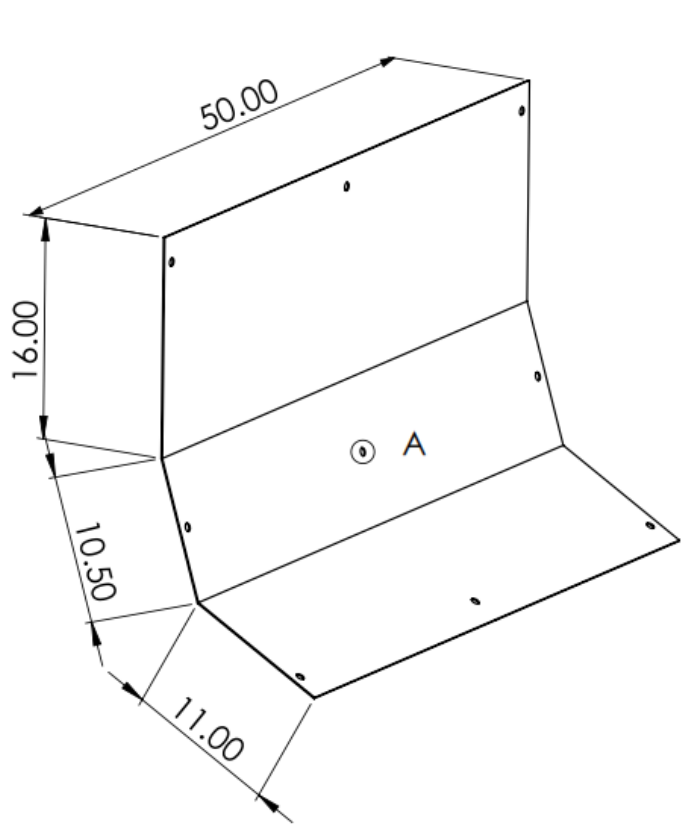
**Santa Cruz:** Urb. Parque Industrial Latinoamericano, Unidad Industrial UI 06, Mz. 1, Lote 4 - Warnes. Tel. (591) 76303499. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

Encuétranos en: [www.acerosarequipa.com](http://www.acerosarequipa.com)

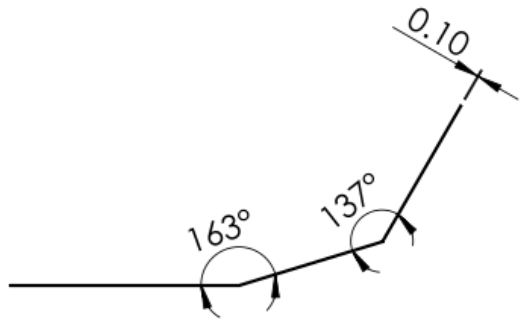




### **Anexo 3. PLANOS**



DETALLE A  
ESCALA 7 : 5



N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Plancha galvanizada 50 * 37.5 * 0.1cm	9

**EJECUTORES:**  
Bach. OSMER TANTALEÁN  
Bach. CRISTIAN E. POLO



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**ÁLABE**

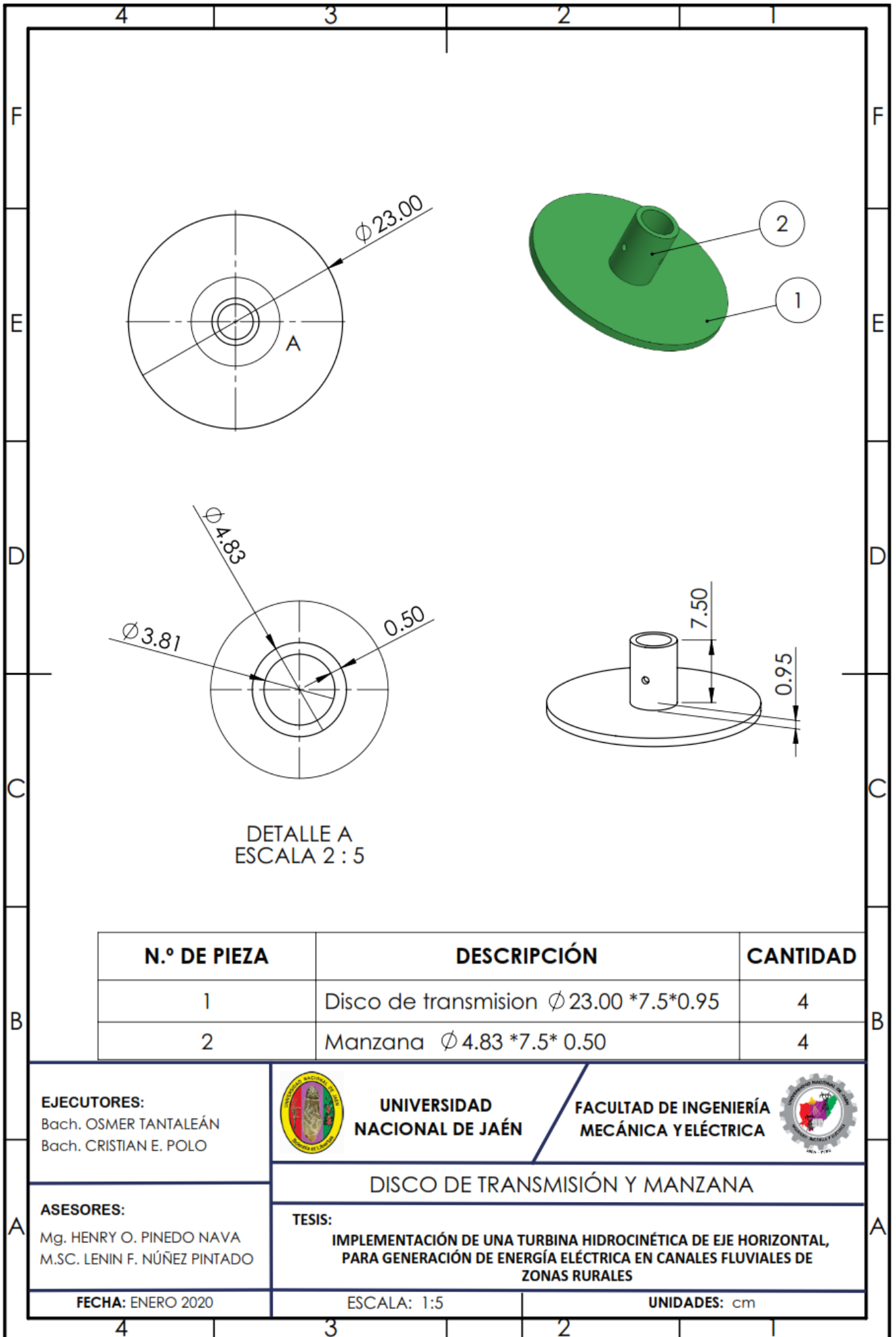
**ASESORES:**  
Mg. HENRY O. PINEDO NAVA  
M.SC. LENIN F. NÚÑEZ PINTADO

**TESIS:**  
**IMPLEMENTACIÓN DE UNA TURBINA HIDROKINÉTICA DE EJE HORIZONTAL, PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CANALES FLUVIALES DE ZONAS RURALES**

**FECHA:** ENERO 2020

**ESCALA:** 1:5

**UNIDADES:** cm



DETALLE A  
ESCALA 2 : 5

N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Disco de transmision $\phi$ 23.00 *7.5*0.95	4
2	Manzana $\phi$ 4.83 *7.5* 0.50	4

**EJECUTORES:**  
Bach. OSMER TANTALEÁN  
Bach. CRISTIAN E. POLO



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE JAÉN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**DISCO DE TRANSMISIÓN Y MANZANA**

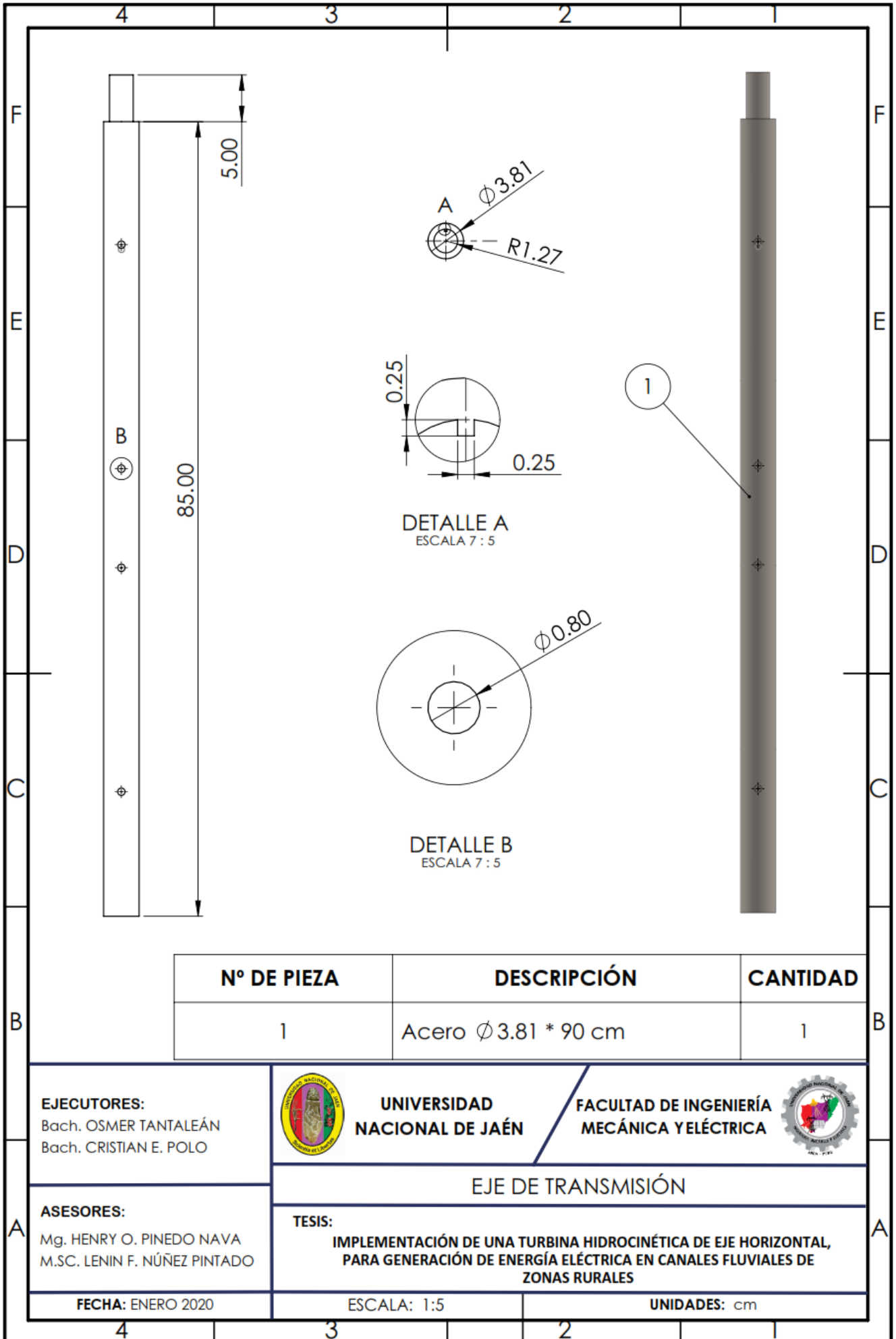
**ASESORES:**  
Mg. HENRY O. PINEDO NAVA  
M.SC. LENIN F. NÚÑEZ PINTADO

**TESIS:**  
**IMPLEMENTACIÓN DE UNA TURBINA HIDROKINÉTICA DE EJE HORIZONTAL,  
PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CANALES FLUVIALES DE  
ZONAS RURALES**

**FECHA:** ENERO 2020

**ESCALA:** 1:5

**UNIDADES:** cm



Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Acero $\phi$ 3.81 * 90 cm	1

**EJECUTORES:**  
 Bach. OSMER TANTALEÁN  
 Bach. CRISTIAN E. POLO



**UNIVERSIDAD  
 NACIONAL DE JAÉN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
 MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**EJE DE TRANSMISIÓN**

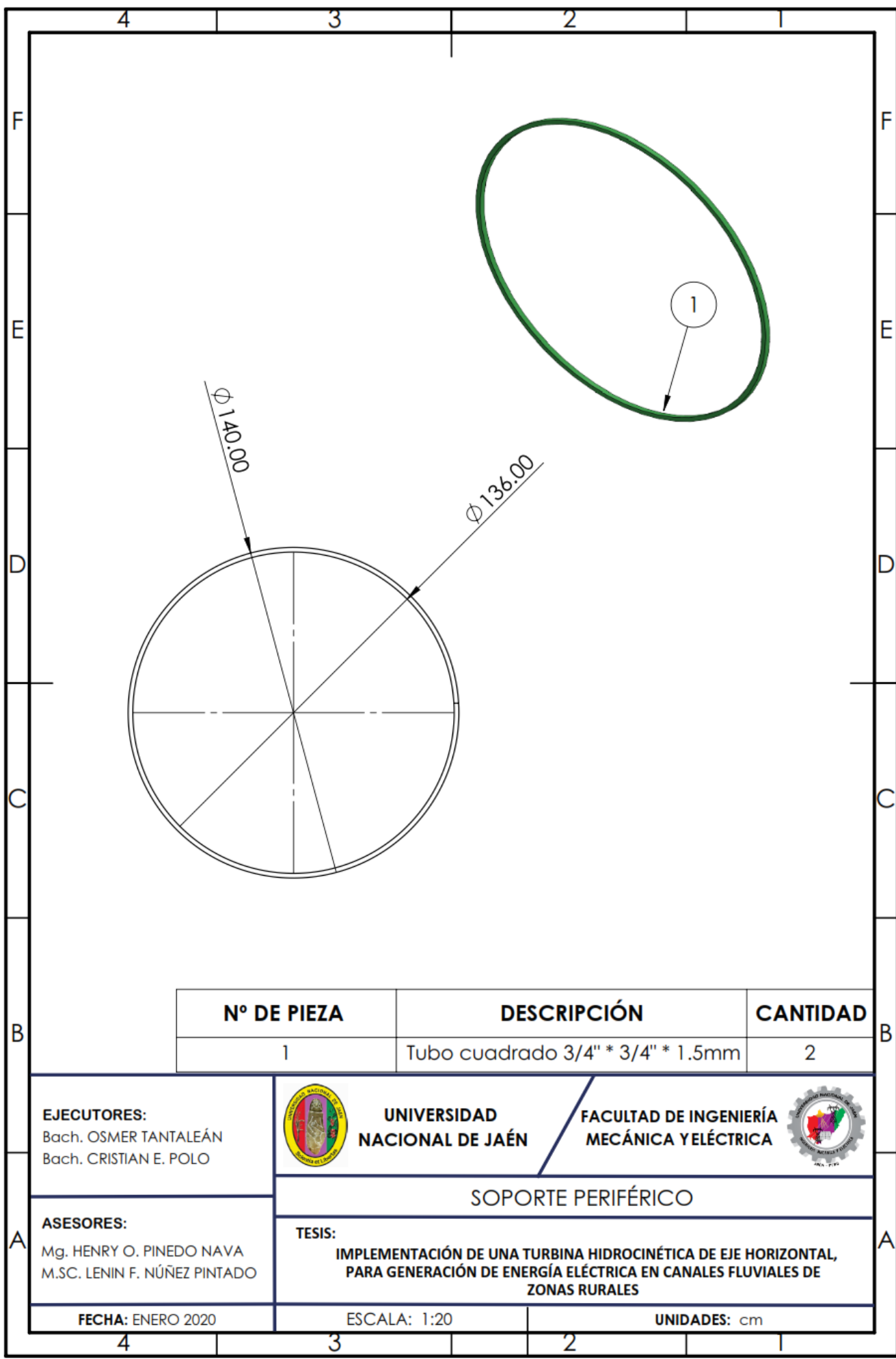
**ASESORES:**  
 Mg. HENRY O. PINEDO NAVA  
 M.SC. LENIN F. NÚÑEZ PINTADO

**TESIS:**  
**IMPLEMENTACIÓN DE UNA TURBINA HIDROKINETICA DE EJE HORIZONTAL,  
 PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CANALES FLUVIALES DE  
 ZONAS RURALES**

**FECHA:** ENERO 2020

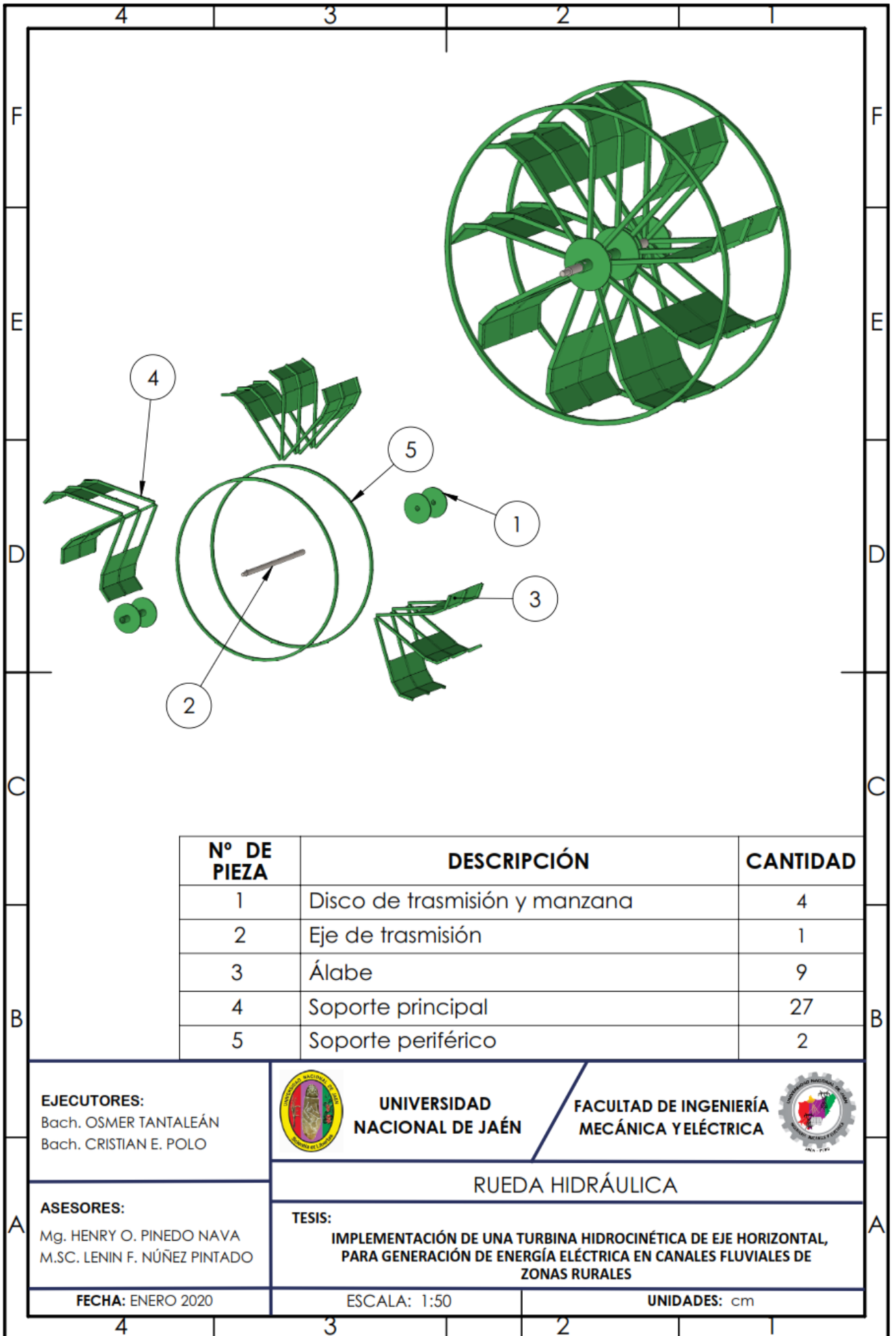
**ESCALA:** 1:5

**UNIDADES:** cm



Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Tubo cuadrado 3/4" * 3/4" * 1.5mm	2

<b>EJECUTORES:</b> Bach. OSMER TANTALEÁN Bach. CRISTIAN E. POLO	 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA</b> 
<b>ASESORES:</b> Mg. HENRY O. PINEDO NAVA M.SC. LENIN F. NÚÑEZ PINTADO	<b>TESIS:</b> <b>IMPLEMENTACIÓN DE UNA TURBINA HIDROKINÉTICA DE EJE HORIZONTAL, PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CANALES FLUVIALES DE ZONAS RURALES</b>	
	<b>FECHA:</b> ENERO 2020	<b>ESCALA:</b> 1:20



Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Disco de transmisión y manzana	4
2	Eje de transmisión	1
3	Álabe	9
4	Soporte principal	27
5	Soporte periférico	2

**EJECUTORES:**  
 Bach. OSMER TANTALEÁN  
 Bach. CRISTIAN E. POLO



**UNIVERSIDAD  
 NACIONAL DE JAÉN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
 MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**RUEDA HIDRÁULICA**

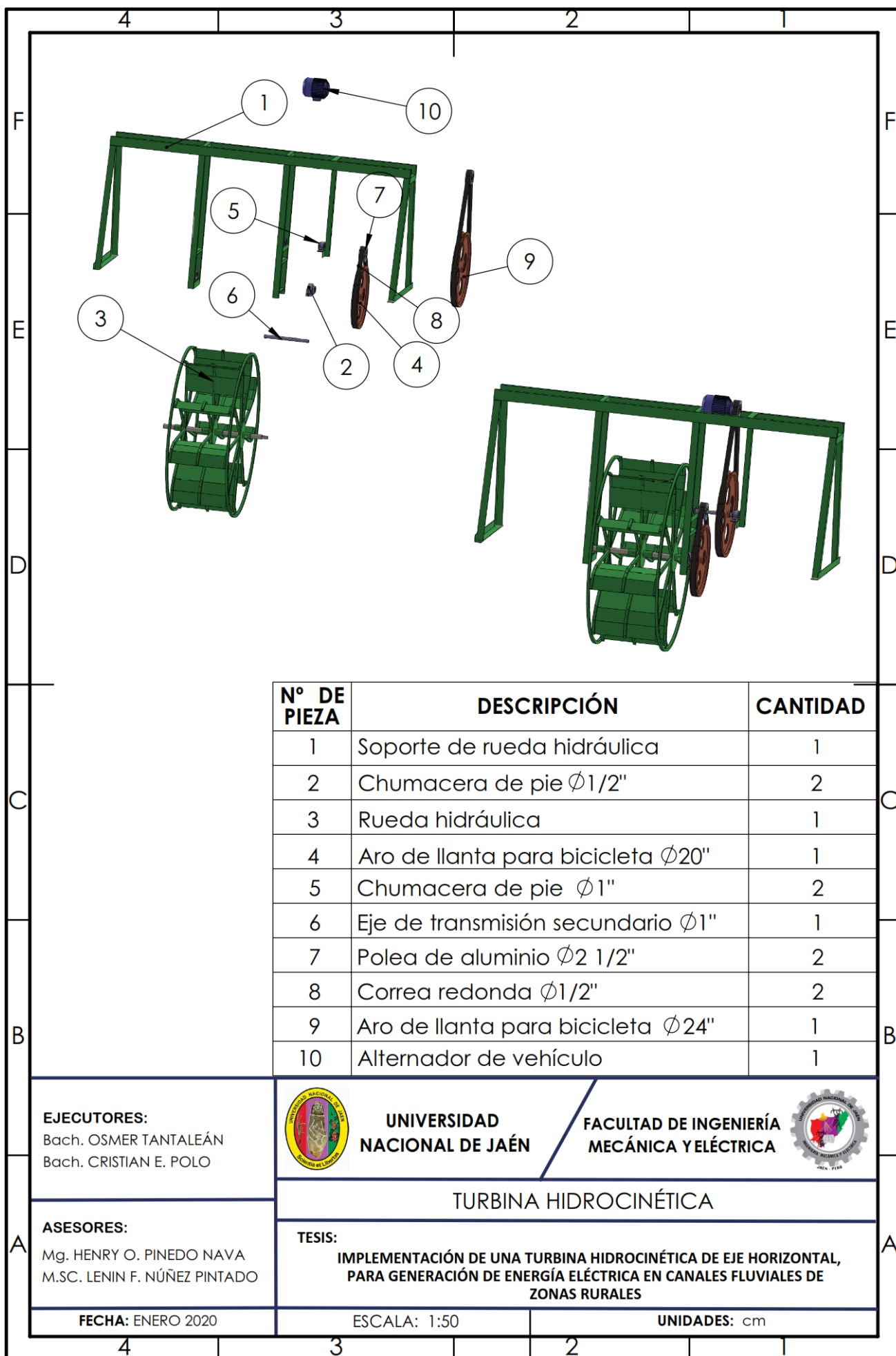
**ASESORES:**  
 Mg. HENRY O. PINEDO NAVA  
 M.SC. LENIN F. NÚÑEZ PINTADO

**TESIS:**  
**IMPLEMENTACIÓN DE UNA TURBINA HIDROCINÉTICA DE EJE HORIZONTAL,  
 PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CANALES FLUVIALES DE  
 ZONAS RURALES**

**FECHA:** ENERO 2020

**ESCALA:** 1:50

**UNIDADES:** cm



N° DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Soporte de rueda hidráulica	1
2	Chumacera de pie $\phi 1/2''$	2
3	Rueda hidráulica	1
4	Aro de llanta para bicicleta $\phi 20''$	1
5	Chumacera de pie $\phi 1''$	2
6	Eje de transmisión secundario $\phi 1''$	1
7	Polea de aluminio $\phi 2 1/2''$	2
8	Correa redonda $\phi 1/2''$	2
9	Aro de llanta para bicicleta $\phi 24''$	1
10	Alternador de vehículo	1

**EJECUTORES:**  
 Bach. OSMER TANTALEÁN  
 Bach. CRISTIAN E. POLO



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**TURBINA HIDROCINÉTICA**

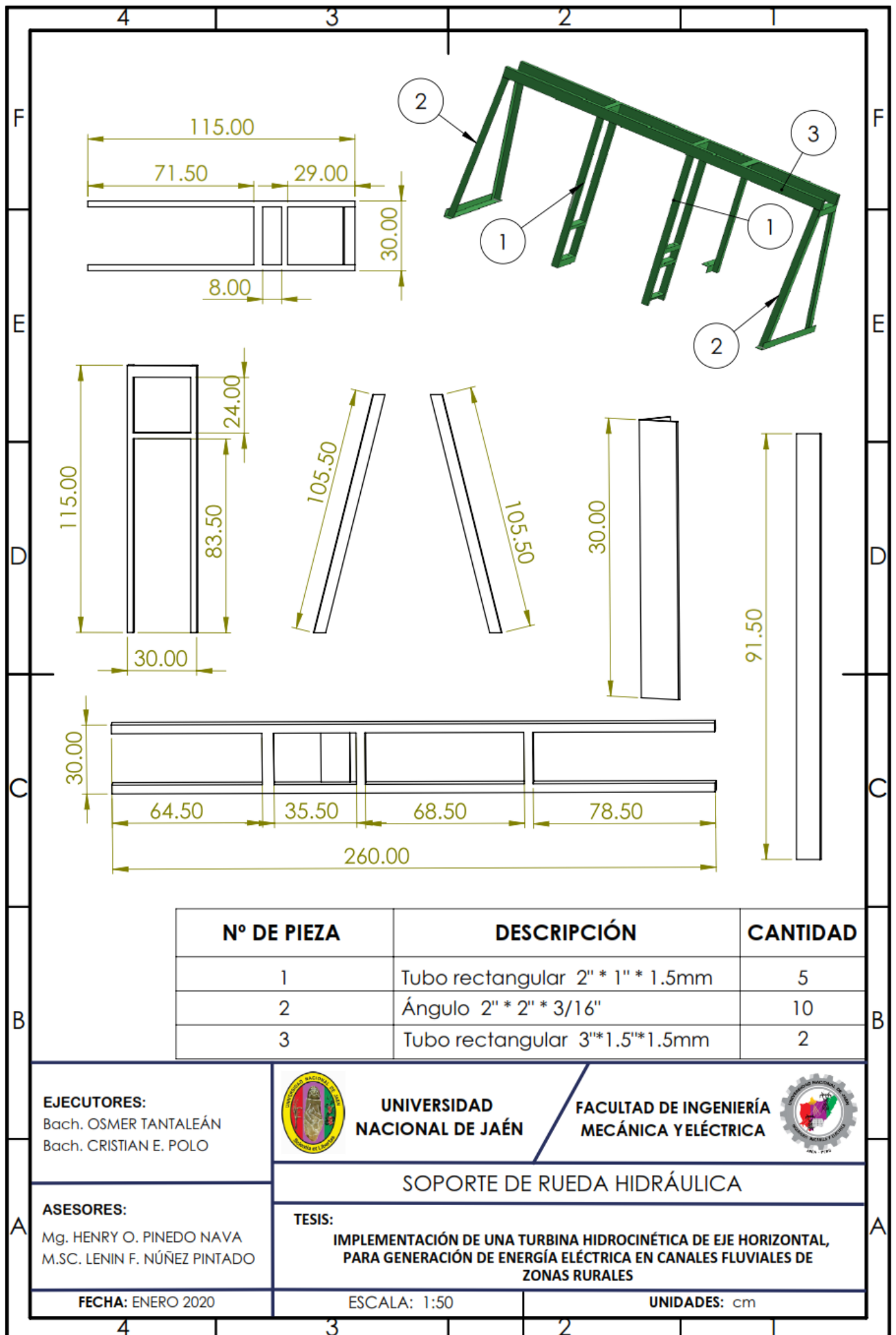
**ASESORES:**  
 Mg. HENRY O. PINEDO NAVA  
 M.SC. LENIN F. NÚÑEZ PINTADO

**TESIS:**  
**IMPLEMENTACIÓN DE UNA TURBINA HIDROCINÉTICA DE EJE HORIZONTAL, PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CANALES FLUVIALES DE ZONAS RURALES**

**FECHA:** ENERO 2020

**ESCALA:** 1:50

**UNIDADES:** cm



Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Tubo rectangular 2" * 1" * 1.5mm	5
2	Ángulo 2" * 2" * 3/16"	10
3	Tubo rectangular 3" * 1.5" * 1.5mm	2

**EJECUTORES:**  
 Bach. OSMER TANTALEÁN  
 Bach. CRISTIAN E. POLO



**UNIVERSIDAD  
 NACIONAL DE JAÉN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
 MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**SOPORTE DE RUEDA HIDRÁULICA**

**ASESORES:**  
 Mg. HENRY O. PINEDO NAVA  
 M.SC. LENIN F. NÚÑEZ PINTADO

**TESIS:**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA TURBINA HIDROKINÉTICA DE EJE HORIZONTAL,  
 PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CANALES FLUVIALES DE  
 ZONAS RURALES**

**FECHA:** ENERO 2020

**ESCALA:** 1:50

**UNIDADES:** cm