

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA



EFICACIA DEL ÁNGULO DE ATAQUE DE ÁLABES, EN
LA POTENCIA DE UN GENERADOR ELÉCTRICO
FLUVIAL IMPLEMENTADO A PEQUEÑA ESCALA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA

Autores : **Bach. Edin Tantalean Barboza**
Bach. Samuel Santos Flores

Asesor : **MSc. Lenin Franchescoeth Núñez Pintado**

JAÉN – PERÚ, AGOSTO, 2019



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 15 de agosto del año 2019, siendo las 17:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Dra. C. Hilda de las Mercedes Oquendo Ferrer

Secretario: Mg. José Andrés Fernández Mera

Vocal: Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez, para evaluar la Sustentación de:

() Trabajo de Investigación

(X) Tesis

() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: Eficacia del ángulo de ataque de álabes, en la potencia de un generador eléctrico fluvial implementado a pequeña escala

.....
presentado por Estudiante /Egresado o Bachiller Samuel Santos Flores y Edin Tantalean Barboza de la Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

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

Con la siguiente mención:

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

Siendo las 18:10 pm horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Presidente

Secretario

Vocal

**“EFICACIA DEL ÁNGULO DE ATAQUE DE ÁLABES, EN LA
POTENCIA DE UN GENERADOR ELÉCTRICO FLUVIAL
IMPLEMENTADO A PEQUEÑA ESCALA”**



Bach. Edin Tantalean Barboza

Tesista



Bach. Samuel Santos Flores

Tesista



MSc. Lenin Franchescoleth Núñez Pintado

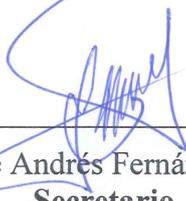
Asesor

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

Aprobado por el siguiente jurado:



Dra. Hilda de las Mercedes Oquendo Ferrer
Presidente



Mg. José Andrés Fernández Mera
Secretario



Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez
Vocal

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso por ser mi fe y la fuerza que me ha permitido llegar a estos momentos de mi vida.

Por sus sabios consejos y por los valores que me inculcaron desde mis primeros pasos apoyándome incondicionalmente dedico este trabajo a mis adorados padres: Juan Pablo Santos Pérez y Rosalía Flores Tichlahuanca.

A cada uno de mis 9 hermanos por la confianza y el apoyo, alentándome siempre a seguir adelante.

Samuel Santos.

A dios por regalarme la vida.

A mi madre y hermanos. Quienes han sido mi soporte de apoyo para afrontar las pruebas difíciles que se presentan en el camino, sin su sacrificio, comprensión y cariño no habría logrado esta meta tan anhelada.

Edin Tantalean.

AGRADECIMIENTO

Nuestro total agradecimiento a la Universidad Nacional de Jaén, a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y a cada uno de los docentes por la enseñanza en el transcurso de nuestra formación profesional.

A nuestro asesor de Tesis, el MSc. Lenin Franchescoeth Núñez Pintado, por el apoyo permanente en la ejecución y redacción de esta investigación.

A SENATI por facilitarnos el laboratorio y herramientas para modificación del rotor y estator.

Al Técnico Electricista Héctor Vásquez por la orientación permanente.

Al Sr. Julio Vargas, vigilante del control de compuertas del Canal Chililique, por el apoyo en el montaje del prototipo.

Al laboratorio de la facultad de ingeniería civil de la universidad nacional de Jaén por los equipos facilitados.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo General	3
2.2. Objetivos específicos	3
2.3. Hipótesis	3
III. MATERIALES Y MÉTODOS	4
3.1. Materiales	4
3.1.1. Materiales de oficina	4
3.1.2. Softwares, herramientas, equipos e instrumentos	4
3.2. Diseño de la investigación.	4
3.2.1. Enfoque	4
3.2.2. Variables	4
3.3. Metodología.	5
3.3.1. Características del canal	5
3.3.2. Conversión de la energía hidrocínética	8
3.3.3. Modelado geométrico y fabricación de prototipo	13
3.3.1. Selección del generador y evaluación de potencia	24
3.3.2. Ensamble, montaje y realización de pruebas	27
3.3.3. Presupuesto referencial del prototipo	31
IV. RESULTADOS	33
4.1. Realización pruebas experimentales en el canal.	33
4.2. Potencia generada por efecto de la variación del ángulo de ataque	37
V. DISCUSIÓN	38
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
VIII. ANEXOS	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Medida de la velocidad del fluido	6
Tabla 2	Dimensiones del prototipo.....	13
Tabla 3	Principales componentes del prototipo.....	14
Tabla 4	Presupuesto referencial de materiales y fabricación de prototipo.....	32
Tabla 5	Velocidad de giro del eje vs amplificador por variación del ángulo de ataque....	33
Tabla 6	Velocidad del amplificador vs el generador por variación del ángulo de ataque.	33
Tabla 7	Velocidad de giro del generador por ángulo de ataque	34
Tabla 8	Voltaje generado por efecto de la variación de ángulo de ataque	36
Tabla 9	Características del imán.....	37
Tabla 10	Potencia generada por efecto de la variación de ángulo de ataque	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Secuencia metodológica.....	5
Figura 2. Ubicación y recorrido del canal Chililique	5
Figura 3. Canal Chililique	6
Figura 4. Medición de dimensiones del canal	7
Figura 5. Corte transversal del canal Chililique	8
Figura 6. Secuencia de transformación de la energía hidrocínética	9
Figura 7. Potencia extraída del rotor	9
Figura 8. Relación entre velocidades.....	9
Figura 9. Modelado 3D de la turbina Darrieus	14
Figura 10. Componentes de un perfil NACA	15
Figura 11. Perfil NACA 0018	15
Figura 12. Dimensiones de rotor Darrieus H.....	16
Figura 13. Molde de álabes para fabricación en fibra de vidrio.....	17
Figura 14. Dimensiones del perfil alar	17
Figura 15. Diseño y fabricación del álabes	17
Figura 16. Ángulo de ataque.....	18
Figura 17. Regulador de ángulos de ataque.....	19
Figura 18. Dimensiones del eje	19
Figura 19. Ubicación de rodamientos y discos de sujeción.....	20
Figura 20. Rodamiento 6205	20
Figura 21. Soporte de álabes	21
Figura 22. Amplificador de RPM	21
Figura 23. Sistema de transmisión.....	22
Figura 24. Soporte superior e inferior	23
Figura 25. Imán de neodimio tipo anillo	24
Figura 26. Modificación del rotor	25
Figura 27. Modificación del estator.....	26
Figura 28. Ensamble del rotor	27
Figura 29. Fijación de la estructura inferior	28
Figura 30. Fijación de la estructura superior	28
Figura 31. Nivelación del prototipo.....	29

Figura 32. Prototipo turbina Darrieus H.....	29
Figura 33. Medición de RPM	30
Figura 34. Medición de voltaje.....	30
Figura 35. Ángulo de Ataque Vs Velocidad	35

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tabla de distribución T - Student.....	45
Anexo 2. Especificaciones técnicas de materiales de los soportes del prototipo	46
Anexo 3. Principales componentes de un alternador.....	47
Anexo 4. Rodamientos	48
Anexo 5. Faja acanalada.....	49
Anexo 6. Mecanismo amplificador	50
Anexo 7. Toma de datos	51
Anexo 8. Fabricación del prototipo	52
Anexo 9. Elementos y mecanismos empleados.....	53
Anexo 10. Modificación del rotor y estator del alternador.....	54
Anexo 11. Especificaciones técnicas del conductor del embobinado del estator.....	55
Anexo 12. Tabla de especificaciones del Imán	56
Anexo 13. Montaje del prototipo.....	57
Anexo 14. Pruebas.....	60
Anexo 15. Instrumentos utilizados	61
Anexo 16. Planos.....	62

LISTA DE ABREVIACIONES

A	Área
CC	Corriente Continua
D	Diámetro
H	Altura
ITDG	Intermediate Technology Development Group
w	Watt
LAC	Laminado en Caliente
NACA	National Advisory Committee for Aeronautics
NREL	The National Renewable Energy Laboratory
OSINERGMIN	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
P	Potencia (W)
Q	Caudal (m ³)
RPM	Revoluciones Por Minuto
SER	Sistemas Eléctricos Rurales
V	Velocidad de flujo (m/s)

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló dentro del contexto de la generación de energía no convencional, tal es así que este trabajo de tesis tuvo como propósito principal evaluar la potencia generada por efecto de la variación del ángulo de ataque de los álabes de una turbina hidrocínética implementada a pequeña escala. Consultando diversas fuentes de investigación sobre turbinas se eligió el modelo de turbina de eje vertical tipo Darrieus H de tres álabes. Para su ejecución fue necesaria la obtención de parámetros como velocidad del fluido, caudal y dimensiones del canal Chililique ubicado en el Sector Parral Alto de la ciudad de Jaén, Cajamarca, Perú. Se hizo a escala un modelo 3D del prototipo mediante un software de dibujo asistido por computadora. Además, se evaluó la selección de materiales para la fabricación del prototipo a escala para finalmente hacer el montaje en el canal Chililique donde se hicieron pruebas experimentales con diferentes ángulos de ataque, midiendo la velocidad de giro (RPM) del generador. Los resultados indican que el mayor número de revoluciones se encuentran entre los ángulos 3° y 5° . Por lo tanto, se concluye que en esta posición los álabes de la turbina Darrieus H proporcionan mayor potencia en el generador.

Palabras Clave: Energía renovable no convencional, turbina hidrocínética, álabe, ángulo de ataque, potencia, Darrieus H.

ABSTRACT

In the current research is carried out within the context of the generation of non-conventional energy, so this research has as main purpose to evaluate the power generated by the variation of the attack angle of the blades of a scaled implemented hydrokinetic turbine. After research in bibliography sources, the three-bladed Darrieus H type vertical axis turbine model was chosen.

In this research was necessary to obtain parameters such as fluid velocity, flow and dimensions of the Chililique channel located in Parral Alto in Jaen city. A scaled 3D model of the prototype was made using computer-aided drawing software. Besides the materials selection for the manufacturing of the prototype was evaluated to finally make the assembly in the channel where experimental tests with different angles of attack were made, measuring the rotation speed (RPM) of the generator. The results indicated that the greatest number of revolutions was gotten for angles between 3° and 5° degrees. Therefore, this research concluded that, in this position, the Darrieus H turbine blades provide greater power in the generator.

Key Words: Non-conventional renewable energy, Hydrokinetic turbine, blade, attack angle, power, Darrieus H.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las energías renovables son un tema predominante de las investigaciones. Según Osinerming (2019) define que la energía renovable es la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen o por ser capaces de regenerarse por medios naturales, en consideración a su grado de desarrollo tecnológico y a su nivel de penetración en la matriz energética de los países, las energías renovables se clasifican en convencionales y no convencionales. Dentro de las primeras se considera a las grandes centrales hidroeléctricas; mientras que dentro de las segundas se ubica a las generadoras eólicas, solares fotovoltaicos, solares térmicas, geotérmicas, mareomotrices, de biomasa y las pequeñas hidroeléctricas.

Esta investigación se centra en la energía hidrocínética que es aquella que se obtiene del aprovechamiento de la energía cinética de la corriente de ríos, saltos de agua, mareas o canales. Es un tipo de energía renovable no convencional ya que su impacto ambiental es mínimo. Esta tecnología renovable es la forma más amigable con el medioambiente que se conoce, para la producción de electricidad. Se puede transformar a muy diferentes escalas, existiendo desde hace siglos pequeñas explotaciones en las que la corriente de un río mueve un rotor de palas y genera un movimiento aplicado, por ejemplo, en molinos rurales. Según Lata (2019), el principio de funcionamiento de una turbina hidrocínética es similar a la de un aerogenerador, pero con la diferencia de que al agua es 800 veces más densa que el aire, por lo que pueden extraer suficiente energía a velocidades menores.

La idea de utilizar la fuerza de la corriente de los ríos no es nueva, existen muchas propuestas de diseño de turbinas para aprovechar este recurso a pequeña y gran escala. La experiencia más destacable conocida por su largo esfuerzo de desarrollo ha sido el caso de la turbina Garman, diseñada por el británico Peter Garman, un investigador quien inició en ITDG sus actividades en el tema a inicios de los 80's, la oficina de ITDG en Reino Unido, realizó algunos trabajos sobre las turbinas de río utilizando un rotor de eje vertical tipo Darrieus. Un

prototipo de 4m² fue diseñado e instalado en el río Nilo al sur de Sudán con resultados satisfactorios (Salazar, 2014).

En 1996, el Programa de Energía de ITDG-Perú, inició algunas actividades conjuntas con Peter Garman para adaptar su diseño de la turbina Garman, en la generación de electricidad en pequeñas potencias y así satisfacer las pequeñas demandas de energía en las pequeñas comunidades ribereñas de la selva peruana, con la posibilidad de que una vez probado su funcionamiento, se pueda transferir dicha tecnología a otras regiones donde existan recursos hídricos utilizables mediante esta máquina (Salazar, 2014).

En nuestro país En 2005, se aprobó la Ley 28546, Ley de Promoción y Utilización de Recursos Energéticos Renovables No Convencionales en Zonas Rurales Aisladas y de Frontera del País. Básicamente, la ley promueve el uso de las energías renovables no convencionales para fines de electrificación en las zonas rurales aisladas y de frontera del país (Gamio, Vásquez, Moreno, y Castro, 2017).

El abundante recurso hídrico con el que cuenta la región Cajamarca es el motivo principal para el desarrollo de este proyecto de investigación, que busca evaluar la influencia del ángulo de ataque, en la potencia de un generador, para lograr generación eléctrica a baja escala. Las pruebas se realizaron en el canal de irrigación Chililique, en el sector Parral Alto de la ciudad de Jaén, provincia de Jaén, departamento Cajamarca.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar la influencia del ángulo de ataque de los álabes de la turbina en relación a la potencia de un generador eléctrico fluvial implementado a pequeña escala.

2.2. Objetivos específicos

- Seleccionar el perfil para la turbina hidrocínética.
- Establecer la mejor alternativa para la implementación de la turbina hidrocínética de pequeña escala.
- Realizar pruebas experimentales en un canal abierto.
- Evaluar la potencia generada por efecto de la variación del ángulo de ataque de los álabes de la turbina hidrocínética.

2.3. Hipótesis

El ángulo de ataque de los álabes del rotor influye en la potencia del generador eléctrico fluvial implementado a pequeña escala.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

Para lograr nuestros objetivos en la ejecución de esta investigación se utilizaron los siguientes materiales y equipos.

3.1.1. Materiales de oficina

Material Bibliográfico, computador portátil, Internet, impresora, calculadora, entre otros.

3.1.2. Softwares, herramientas, equipos e instrumentos

- AutoCAD, Solidworks, Paquete Office
- Excel (funciones estadísticas)
- Correntómetro Digital Global Water FP111
- Tacómetro Digital SCHWYZ SC140
- Multitéster

3.2. Diseño de la investigación.

3.2.1. Enfoque

Experimental.

3.2.2. Variables

a) Variable independiente

Ángulo de ataque del álabe (α°)

Número de revoluciones (RPM)

b) Variable dependiente

Potencia generada (w)

3.3. Metodología.

Este trabajo de investigación se enfoca en evaluar la influencia del ángulo de ataque de los álabes de una turbina Darrieus H, en la potencia de un generador eléctrico fluvial implementado a pequeña escala. La metodología que se siguió se estructura y se cumple tal como se muestra en la figura 1.

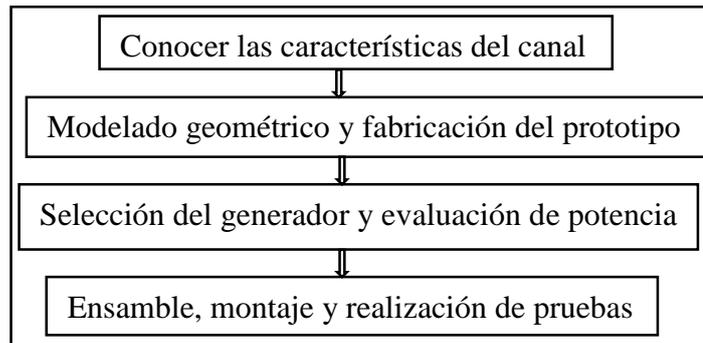


Figura 1. Secuencia metodológica

3.3.1. Características del canal

3.3.1.1. Ubicación

Este proyecto se realizó en la Provincia de Jaén, Departamento de Cajamarca, Perú, específicamente en el canal Chililique, del sector Parral Alto de la ciudad de Jaén. Este canal tiene 4 km de recorrido, el cual da inicio a la altura del puente la Corona y culmina a la altura del campus de la Universidad Alas Peruanas – Filial Jaén, donde se deriva en varios puntos de alimentación de riego a distintos sectores de la Provincia de Jaén.



Figura 2. Ubicación y recorrido del canal Chililique
Fuente: Adaptado de Google Maps



Figura 3. Canal Chililique
Fuente: Elaboración propia

3.3.1.2. Velocidad del fluido

El cálculo de la velocidad del fluido se hizo mediante una serie de mediciones con el método de aforo (ver tabla 1) y se validó haciendo uso del equipo correntómetro digital Global Water FP111 del Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Jaén (Anexo 14).

Tabla 1

Medida de la velocidad del fluido

Espacio (m)	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)
10	9.11	1.098
10	9.64	1.037
10	8.80	1.136
10	9.40	1.064
10	9.50	1.053
10	9.70	1.031
10	9.34	1.071
10	8.60	1.163
10	8.56	1.168
10	9.40	1.064
Promedio	9.21	1.08
Desviación estándar	0.42	0.05

Fuente: Elaboración propia

Se tiene 10 mediciones, 9 grados de libertad y se estima que la desviación estándar de la población es igual a la desviación de la muestra:

$$\hat{\sigma} = s$$

$$\hat{\sigma} = 0.05$$

Como el multiplicador de población finita es prácticamente uno, se tiene el error estándar de la media:

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} = \frac{0.05}{\sqrt{10}} = 0.01581$$

Se validó de acuerdo a la tabla de distribución t de Student (ver anexo 1) para 9 grados de libertad y un valor de 0.05(100% - 95% = 5%), se encuentra un valor de 2.262. Los límites de confianza son:

$$\bar{x} + 2.262\hat{\sigma}_{\bar{x}} = 1.088 + 2.262 * (0.01581) = 1.1238$$

$$\bar{x} - 2.262\hat{\sigma}_{\bar{x}} = 1.088 - 2.262 * (0.01581) = 1.0522$$

En otras palabras, se puede afirmar con un 95% de confianza que el valor de la velocidad media en el canal está entre 1.1238 m/s y 1.0522 m/s. Por lo tanto, el valor promedio medido de 1.08m/s está dentro de estos límites.

3.3.1.3. Caudal

Para el modelado, fabricación e implementación de la turbina hidrocínética a pequeña escala, se hizo medidas de las principales dimensiones del canal, con la finalidad de implementar la turbina con las medidas adecuadas. Las dimensiones longitudinales se detallan en la figura 5, con las unidades de longitud en metros.



Figura 4. Medición de dimensiones del canal
Fuente: Elaboración propia

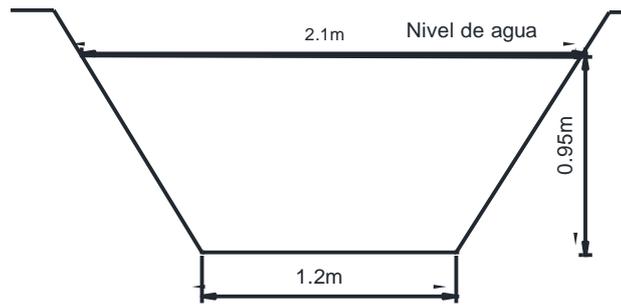


Figura 5. Corte transversal del canal Chililique
Fuente: Elaboración propia

Teniendo las dimensiones longitudinales del canal y la velocidad del fluido se calcula el caudal, al que opera el prototipo:

$$Q = A * V \tag{1}$$

$$Q = \left[\frac{(2.1 + 1.2)}{2} * 0.95 \right] * 1.088$$

$$Q = 1.71 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dónde:

Q = Caudal

A = Área

V= Velocidad del fluido

3.3.2. Conversión de la energía hidrocínética

Uno de los parámetros más importantes en el tratamiento de cualquier fuente energética es la potencia. En este caso, cuando se instala una turbina hidrocínética, lo que se hace es interceptar una cierta cantidad de agua en un área de tamaño “A” que viene a ser el área proyectada del rotor, lo que se conoce como área de barrido por la máquina. En dicha área se produce la transformación de la energía cinética del agua, en potencia mecánica que es entregada a través del eje de la turbina. La potencia suministrada por una turbina hidrocínética, depende en primera instancia de la superficie barrida por la hélice y, por tanto, de la longitud de las palas (Aragón, 2013).

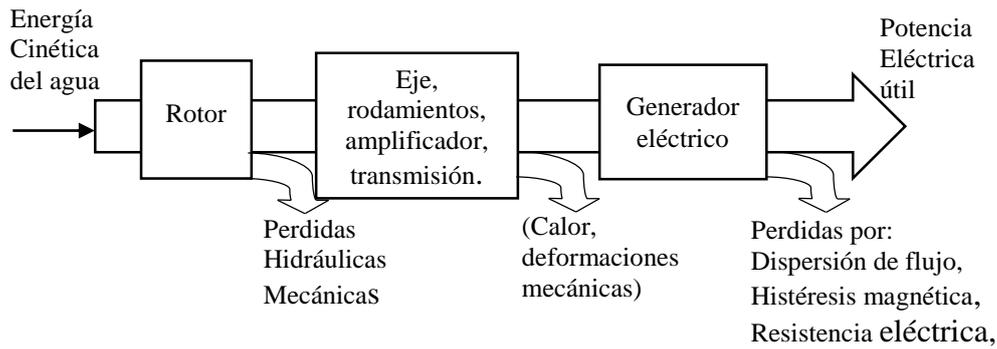


Figura 6. Secuencia de transformación de la energía hidrocínética
Fuente: (Aragon, 2013)

- **Potencia extraída por el rotor.**

En la práctica no es posible extraer toda la potencia disponible en el fluido, lo cual puede ser analizado a partir de un balance de energía.

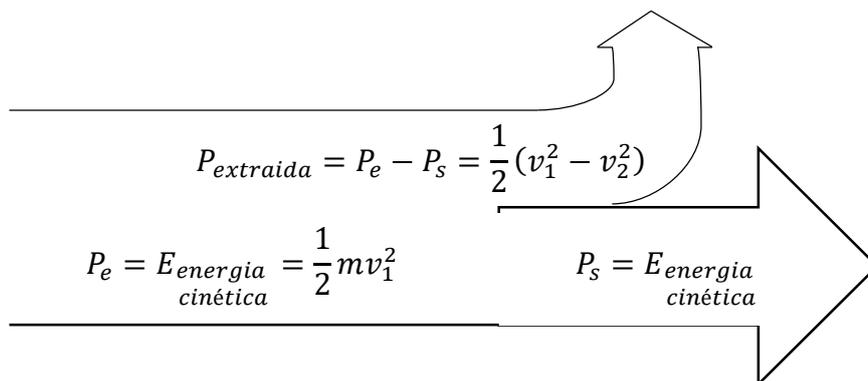


Figura 7. Potencia extraída del rotor
Fuente: (Aragon, 2013)

Donde:

$P_{Extraída}$ = Potencia extraída por el rotor

P_e = Potencia a la entrada

P_s = Potencia a la salida

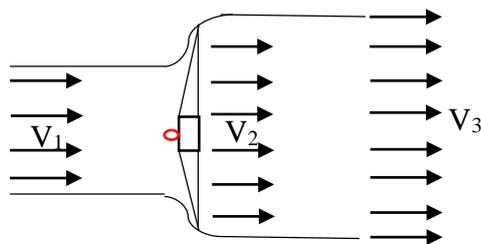


Figura 8. Relación entre velocidades
Fuente: (Aragon, 2013)

Donde:

V_1 = Velocidad del fluido sin perturbar, antes de su paso por el plano del rotor.

V_2 = Velocidad del fluido después de su paso por el plano del rotor.

Cuanto menor sea la velocidad de salida, mayor será la energía cinética que aprovechen los álabes del rotor. Idealmente se podría frenar completamente el agua y obtener toda su energía cinética, pero entonces no habría flujo. En el extremo opuesto, podríamos maximizar el caudal eliminando los obstáculos de su camino interponiendo un aro en lugar de un rotor, pero entonces no se obtendrá potencia alguna. Betz en 1927 estableció que “La máxima potencia que se puede obtener, en teoría, de un fluido en corriente libre, con una turbina ideal nunca puede superar al 59,26% de la potencia del flujo incidente” lo que se ha conocido como Límite de Betz (Aragón, 2013).

Según Aragón (2013), sostiene que para llegar a este resultado, Betz partió de la siguiente suposición: La velocidad promedio del fluido en la sección del rotor, es el promedio de la velocidad del fluido sin perturbar V_1 , y la velocidad del fluido después de su paso por la sección del rotor, V_2 , esto es:

$$V_{media\ rotor} = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (2)$$

Donde:

$V_{media\ rotor}$ = Velocidad media del fluido durante el paso por el rotor, m/s.

El flujo másico de la corriente a través del rotor es:

$$m = A_t \rho V_{media\ rotor} = A_t \rho \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (3)$$

$$P_{extraida} = \frac{1}{2} A_t \rho \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right) (V_1^2 - V_2^2) \quad (4)$$

$$P_{extraida} = \frac{1}{4} A_t \rho (V_1 + V_2) (V_1^2 - V_2^2) = \frac{1}{4} A_t \rho (V_1 + V_2) (V_1 - V_2) (V_1 + V_2) \quad (5)$$

Si se toma ($V_2 = bV_1$) con ($0 < b < 1$), resulta:

$$P_{extraida} = \frac{1}{4} A_t \rho (V_1 + bV_1)(V_1 - bV_1)(V_1 + bV_1) = \frac{1}{4} A_t \rho V_1^3 (1 + b)(1 - b)(1 + b)$$

$$P_{extraida} = \frac{1}{4} A_t \rho V_1^3 (1 + b)(1 - b^2) \quad (6)$$

Haciendo

$$\frac{dP_{extraida}}{db} = 0 \quad (7)$$

$$b = \frac{1}{3} = \frac{V_2}{V_1}; V_1 = 3V_2 \quad (8)$$

$$P_{disponible} = \frac{\rho A V_1^3}{2} \quad (9)$$

$$P_{util\ max} = \frac{\rho A V_1^2}{2} \left(1 + \frac{1}{3}\right) \left(1 + \frac{1}{9}\right) = \frac{8\rho A V_1^2}{27} \quad (10)$$

$$n_{max} = \frac{P_{util\ max}}{P_{viento}} = \frac{16}{27} = 0.595 = 59\% \quad (11)$$

$$C_{P\ max} = \frac{16}{27} = 0.5926 \quad (12)$$

A este cociente P disponible, P útil máxima se le llama coeficiente de potencia C_p . La aplicación de esta teoría nos da una primera cota máxima para el rendimiento de la turbina. Hasta este momento no se ha tratado todavía ningún aspecto constructivo, por tanto, el valor de 0,59 será un máximo teórico. En la práctica este valor deberá estar afectado por los rendimientos de los distintos componentes del sistema: turbina, multiplicador (si lo hay), alternador, por ello no cabría esperar en ningún caso más de un 50 % como rendimiento global (Aragón, 2013).

El resultado anterior supone una gran diferencia, desde el punto de vista del rendimiento, con respecto a las centrales hidráulicas convencionales. En éste tipo de centrales, con un correcto diseño se suele alcanzar sin problemas rendimientos globales del orden del 80-90%.

En la práctica para representar la eficiencia de conversión del flujo en potencia en el eje de la turbina se añade una constante C_p :

$$P_{eje} = P_{disponible} C_P = \frac{1}{2} C_P \rho A V^3 \quad (13)$$

Dónde:

P_{eje} = Potencia en el eje de la turbina hidrocínética, (W).

C_p = Coeficiente de Potencia, adimensional.

- **Potencia real**

Según Aragón (2013), la potencia real queda luego de haber considerado todas las pérdidas en el sistema, está en función de la eficiencia del equipo completo. Conociendo la eficiencia considerada por las pérdidas calor, fricción y rozamiento en el eje y los rodamientos, la transmisión y el generador, se puede predecir con aproximación la potencia real del generador:

$$P_{elec} = n_1 n_2 n_3 C_P \rho A V^3 \quad (14)$$

Donde:

P = Energía por segundo (watts)

n_1 = Eficiencia mecánica que se considera perdidas por calor y fricción, rozamiento en eje y rodamientos

n_2 = Eficiencia de amplificador y faja (transmisión)

n_3 = Eficiencia del generador

C_p = Coeficiente de Potencia (0.59% máx.)

ρ = densidad del agua

A = área activa del dispositivo

V = Velocidad de la corriente de agua.

3.3.3. Modelado geométrico y fabricación de prototipo

3.3.3.1. Descripción del Prototipo de Turbina

Debido a que el prototipo de turbina planteado es de tipo experimental se propuso las siguientes dimensiones (Tabla 2), teniendo en cuenta los parámetros longitudinales del canal Chililique y las dimensiones equivalentes a 5/3 de la escala de la investigación realizada por Hernández 2016 quien sostiene que el mayor coeficiente de potencia se encuentra con una longitud de cuerda de 6cm y además el rotor presenta mejor desempeño cuando el diámetro y su altura son de igual magnitud (33cm).

Tabla 2

Dimensiones del prototipo

Área de barrido	Altura de la aleta	Diámetro del rotor	longitud de eje	Longitud de cuerda	Número de palas
0.3025 m ² .	0.55 m	0.55 m	1.3 m	0.1 m	3

Fuente: Elaboración propia

Según lo investigado una turbina Darrieus-H consta de 3 álabes aerodinámicos rectos, por lo que se propone que el prototipo planteado tenga esta misma configuración (Ramón, 2017). Se seleccionó el perfil NACA-0018, con una distribución uniforme de 120° entre sí y peso equitativo. Según Hernández (2016) este perfil ofrece un mayor coeficiente de potencia y presentan ventajas en relación a la variación periódica del torque como de la magnitud y dirección de la fuerza resultante sobre el rotor.

El prototipo cuenta con soportes tipo platina los cuales aseguran los perfiles y la rigidez de los elementos mecánicos, el eje es un tubo circular metálico y tiene rodamientos en sus extremos para facilitar la rotación del mismo.

A las propuestas estudiadas se les insertó una modificación consistente en la adición de una base en la parte superior y en la parte inferior del canal, para la fijación del prototipo. Estas bases fueron fabricadas con tubo rectangular lo cual permite su fácil montaje en el canal.

Un esquema general de la propuesta que se planteó, se la puede apreciar en la figura 9, donde se detalla las principales partes que lo conforman.

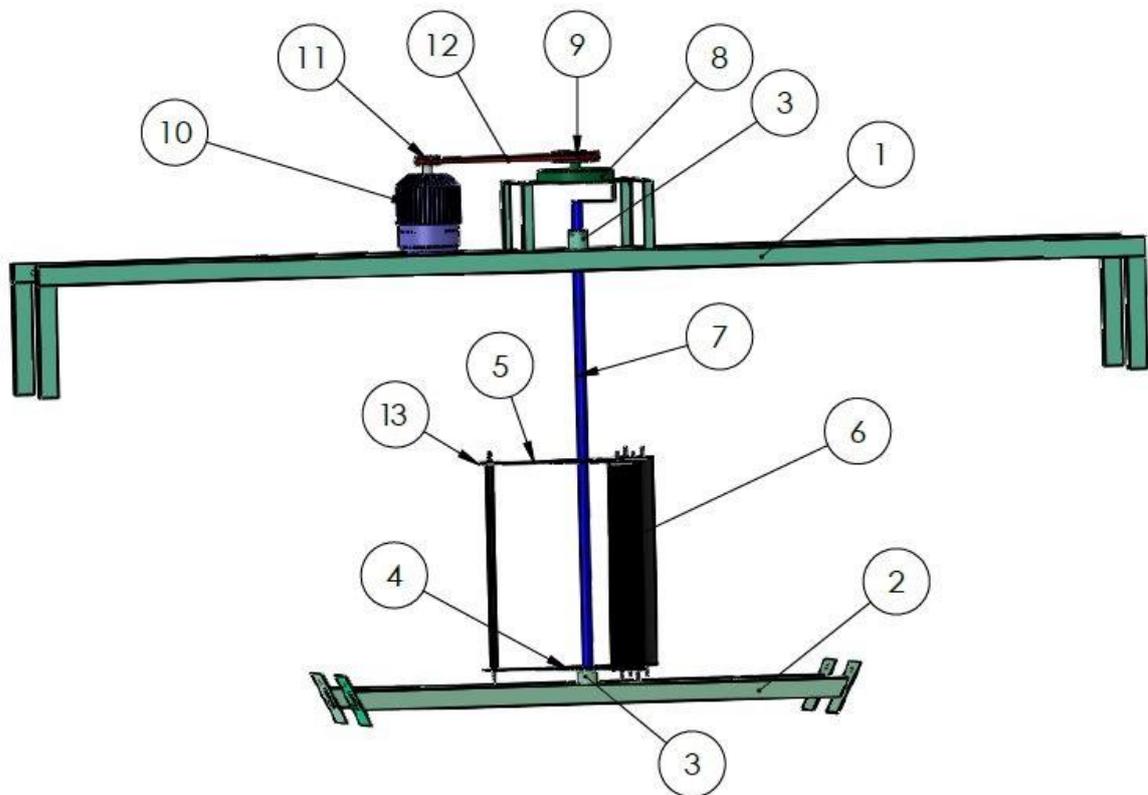


Figura 9. Modelado 3D de la turbina Darrieus
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3

Principales componentes del prototipo

Ítem	Descripción
1	Estructura base superior
2	Estructura base inferior
3	Rodamientos
4	Disco se sujeción
5	Brazo de soporte de álabe
6	Álabes
7	Eje
8	Amplificador de RPM
9	Polea del amplificador
10	Generador
11	Polea del generador
12	Faja de transmisión
13	Regulador de ángulos

Fuente: Elaboración propia

3.3.3.2. Perfil del álabe

Los álabes se representan como paletas de forma curva, su funcionalidad es desviar el flujo de la corriente de agua hacia el rodete a una velocidad ya establecida. Los perfiles NACA fueron concebidos por la National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) con el fin de estandarizar los perfiles de acuerdo con su geometría y distribución diferenciándolos con nomenclatura. Usualmente la nomenclatura que utilizan consta de 4 dígitos, cada dígito establece características a los parámetros geométricos, dimensionales y proporcionales del perfil. La figura 10 indica las características de un perfil NACA definiendo de mejor manera las partes que lo conforman (Carrillo, 2018).

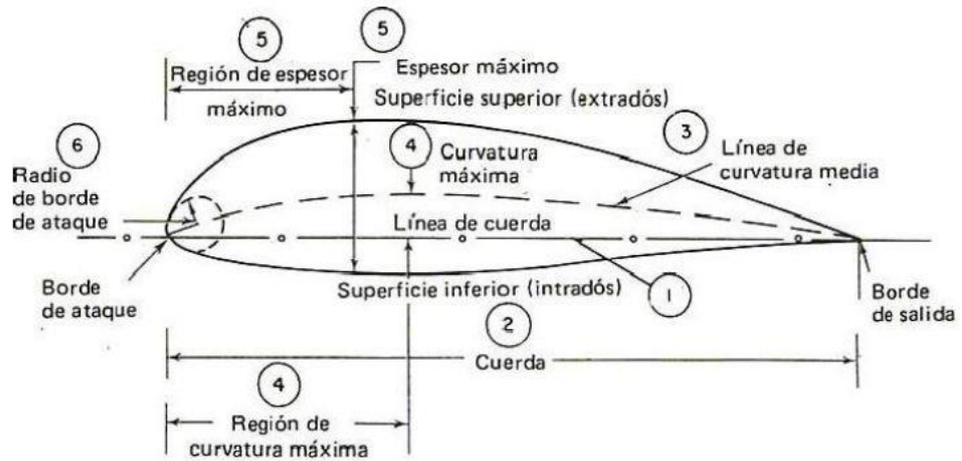


Figura 10. Componentes de un perfil NACA
Fuente: (Carrillo, 2018)

Se seleccionó el perfil NACA 0018 pues es uno de los que tiene mayor espesor facilitando su fabricación, los dos últimos dígitos indican que el espesor es el 18% de la longitud de la cuerda. Comparado con perfiles de menor espesor, como el perfil NACA 0012 (12% de cuerda) se obtiene un mejor desempeño en el arranque (Hernández, 2016).

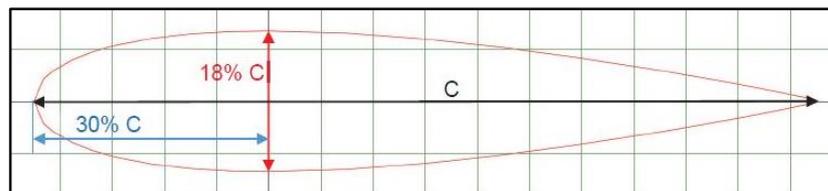


Figura 11. Perfil NACA 0018
Fuente: (Campos y Vásquez, 2017)

3.3.3.3. Cálculo de la cuerda y diámetro del rotor para su construcción

Según Hernández (2016), el máximo coeficiente de potencia se obtiene con una longitud de cuerda (c) de 6 cm para una pala de sección NACA 0018. También se comprobó que cuando la altura (H) y el diámetro (D) del rotor son de igual longitud, es decir 330 mm, se obtiene un mayor coeficiente de potencia. Los tres análisis mencionados se calcularon con los mismos parámetros de entrada ($D = 330$ mm, $H = 330$ mm, $c = 60$ mm), donde el coeficiente de potencia resultó ser 0,3619. Motivo por el cual se toma estos parámetros de esta turbina como referencia para la fabricación del prototipo en el presente estudio.

Teniendo en cuenta la reducción de la velocidad del fluido en las paredes del canal, se previó escalar el prototipo a $5/3$ respecto al estudio de Hernández 2016, de tal manera que el rotor quede lo suficientemente alejado de las paredes del canal para que esté sometido a las máximas velocidades del flujo del canal. Por esto las dimensiones para el prototipo fueron las siguientes: cuerda (C) de 100 mm, de diámetro (D) igual a la altura (H) de 550 mm. Esto se detalla en la figura 12.

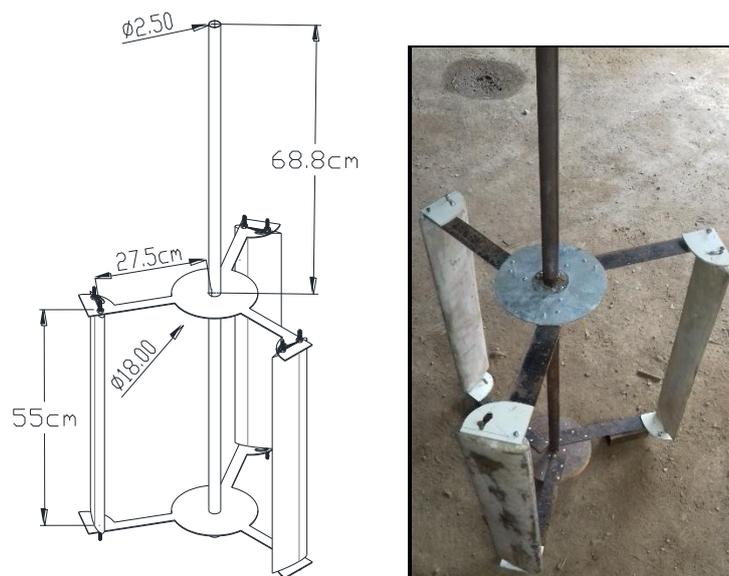


Figura 12. Dimensiones de rotor Darrieus H
Fuente: Elaboración propia

3.3.3.4. Fabricación del álabe

Para su modelado y fabricación de este perfil tomando en cuenta lo mencionado anteriormente tiene las siguientes dimensiones (ver figura 14 y 15). El cual deber ser de un material de buena resistencia mecánica, liviano y anticorrosivo para un desempeño favorable. Debido a la complejidad de su geometría, y a las prestaciones requeridas fue fabricado en fibra de vidrio.



Figura 13. Molde de álabe para fabricación en fibra de vidrio
Fuente: Elaboración propia

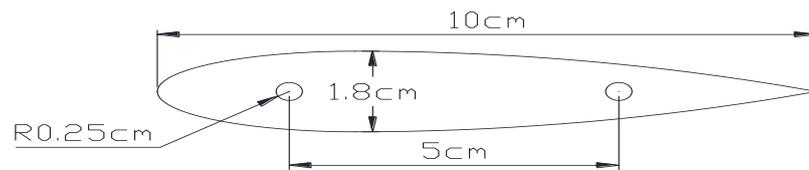


Figura 14. Dimensiones del perfil alar
Fuente: Elaboración propia

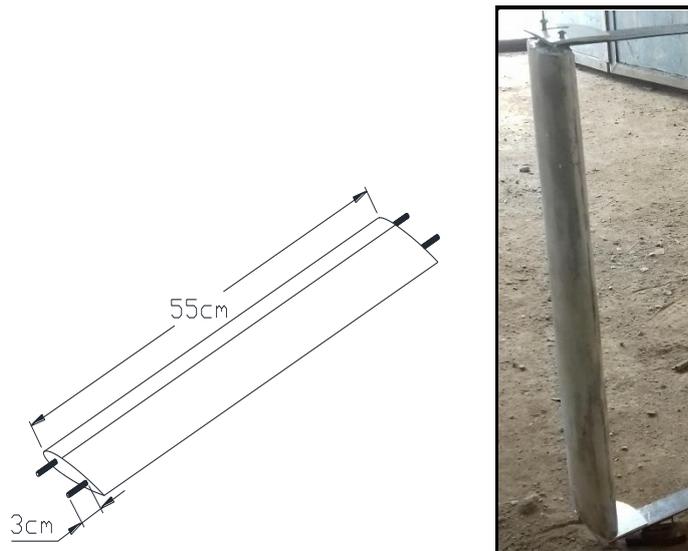


Figura 15. Diseño y fabricación del álabe
Fuente: Elaboración propia

3.3.3.5. Ángulos de ataque

El ángulo de ataque α está definido como el ángulo entre la cuerda del perfil y la velocidad del fluido V_∞ . También se expresa como el ángulo entre la fuerza de levante (L) y la fuerza normal (N) perpendicular a la cuerda o a su vez entre la fuerza de arrastre (D) y la fuerza axial (A) paralela a la cuerda del perfil. En la figura 16 se puede observar todos los componentes de las fuerzas antes mencionadas, denotando las relaciones matemáticas que conectan el ángulo α y las fuerzas normales y paralelas con las de empuje y arrastre (Carrillo, 2018).

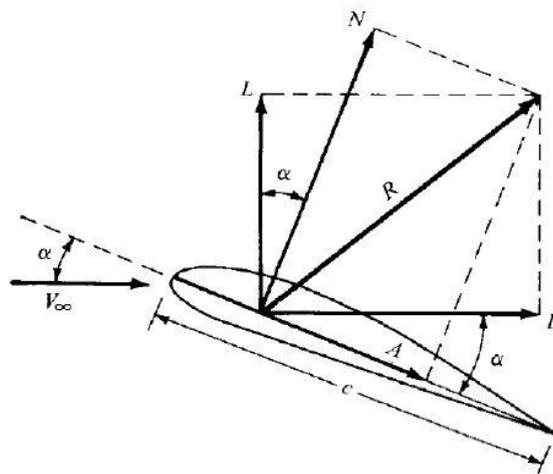


Figura 16. Ángulo de ataque
Fuente: (Carrillo, 2018)

Según el estudio de Ramón (2017), en su trabajo de tesis denominado “Diseño y construcción de un prototipo de turbina eólica de eje vertical tipo Darrieus-H para el aprovechamiento del recurso eólico en el edificio de laboratorios del área de la energía, las industrias y los recursos naturales no renovables” ha hecho experimentos con ángulos de 0° a 15° . Tomando como punto de referencia este estudio, aplicamos el mismo rango de variación de ángulos en el prototipo implementado (ver figura 17).

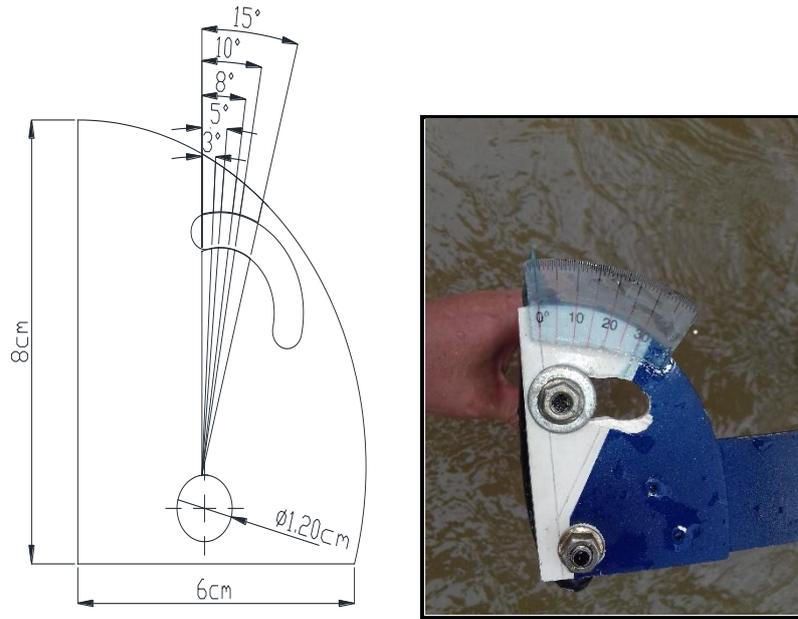


Figura 17. Regulador de ángulos de ataque
Fuente: Elaboración propia

3.3.3.6. Selección y fabricación de los elementos mecánicos

a) El eje

El eje es uno de los principales elementos, en él se encuentran acopladas los álabes y el sistema de transmisión, por lo tanto, es el que soporta el peso de los álabes. Además, el eje estará sujeto a la estructura de soporte en las partes superior e inferior mediante el uso de rodamientos. Consta de un tubo fabricado con acero al carbono laminado en caliente de 2.5 cm de diámetro y 1.3 m de longitud.

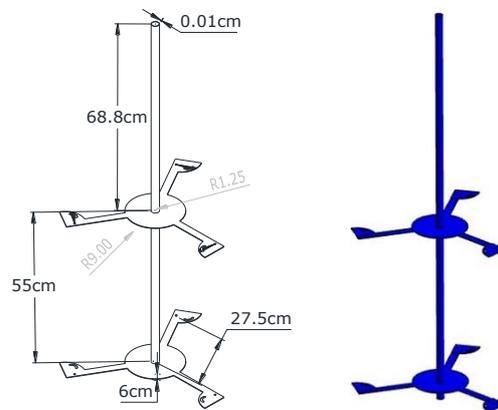


Figura 18. Dimensiones del eje
Fuente: Elaboración propia

b) Rodamientos y discos de sujeción

Los rodamientos son elementos importantes, están ubicados en los extremos del eje, estos permiten el movimiento relativo entre los discos de sujeción que van conectados directamente a las patinas y el eje (Ver figura 19).

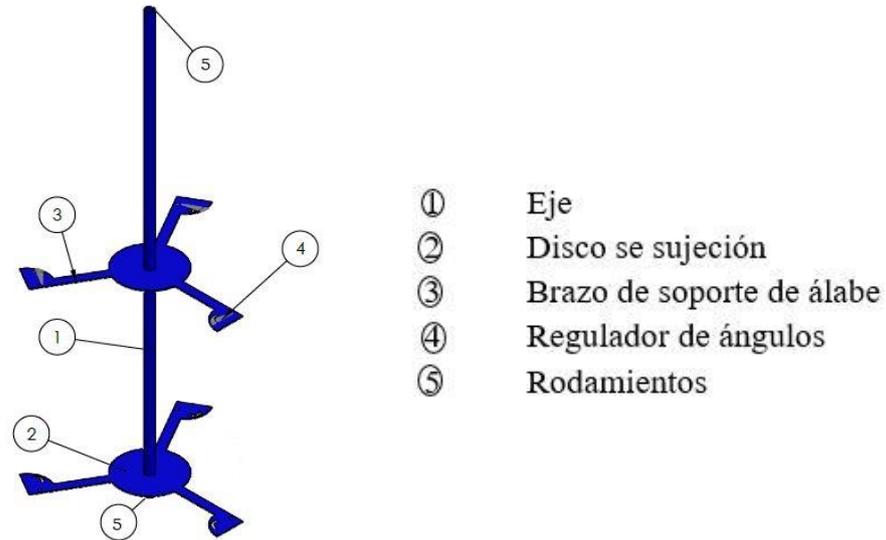


Figura 19. Ubicación de rodamientos y discos de sujeción

Fuente: Elaboración propia

Para este caso se utilizan rodamientos de bolas de una sola hilera 6205, ver figura 20 y especificaciones en anexo 4.



Figura 20. Rodamiento 6205

Fuente: Elaboración propia

Los discos de sujeción son los encargados de transmitir la potencia al eje, están acoplados directamente por soldadura. Fueron fabricados de una plancha de acero laminado en caliente ya que su bajo peso supone una disminución del momento de inercia al arranque de la turbina y a la vez sus características de resistencia a la corrosión. Su espesor es de 1mm, con 25 mm y 180mm de diámetro interior y exterior, respectivamente.

c) Brazos de soporte de álabe

Están unidos al disco de sujeción mediante soldadura, se utiliza platina comercial de 1/8" x 1" de acero laminado en caliente. En la figura 21, se detallan las dimensiones de los brazos que conectan la parte inferior y superior del álabe a los discos de sujeción.

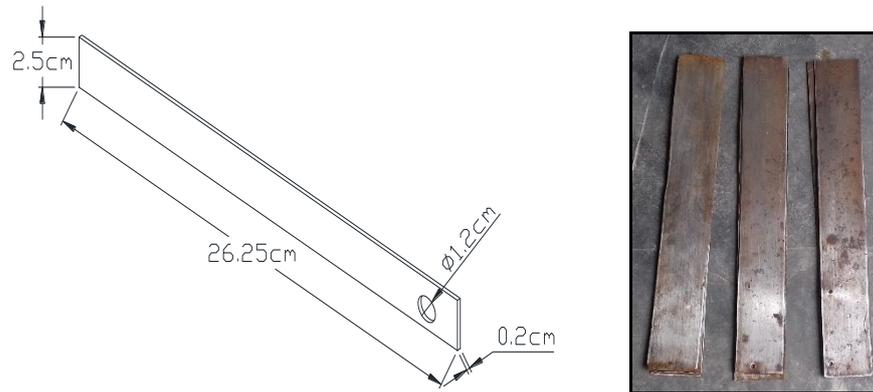


Figura 21. Soporte de álabe
Fuente: Elaboración propia

d) Amplificador de RPM

El amplificador de RPM es necesario para obtener una velocidad angular superior a la que el rotor de la turbina hidrocíntrica proporciona al girar sobre su eje. Se ha adaptado de un esmeril manual (ver figura 22). Este mecanismo está compuesto por engranes que aumentan las revoluciones en un factor de 10 veces respecto a las revoluciones del eje. Ver detalles de amplificador en Anexo 6.



Figura 22. Amplificador de RPM
Fuente: Elaboración propia

e) La transmisión

Es el elemento encargado de transmitir la potencia mecánica del rotor al generador eléctrico. Su función consiste en elevar la velocidad del rotor desde unos cuantos RPM hasta velocidades de cientos de RPM que son las requeridas usualmente por los generadores comunes (Aragón, 2013).

Se seleccionó un sistema de transmisión por fajas ya que nos brinda mayor seguridad y resistencia al momento de enlace de una velocidad a otra, también es más económica y de fácil montaje. La faja utilizada es acanalada modelo 6PK870 (ver anexo 5). Este sistema de transmisión tiene una relación de 2:1.

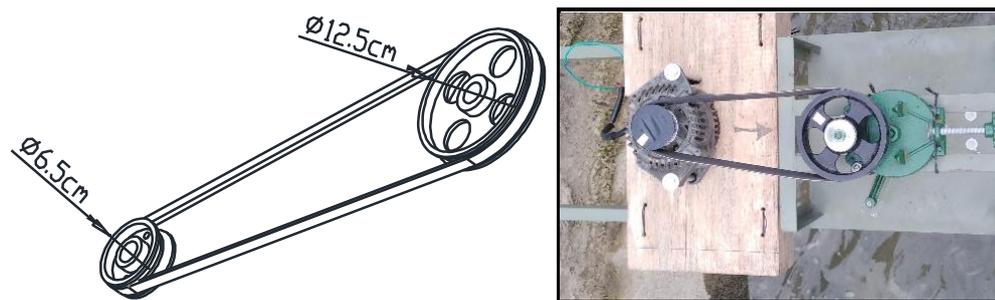


Figura 23. Sistema de transmisión
Fuente: Elaboración propia

f) Soportes del prototipo

La estructura consta de dos soportes superior e inferior, figura 24. Fueron diseñadas para ser rígidas, durables y portables. En términos generales, los elementos deberán ser lo suficientemente estables. Ver de talles en los planos (Anexo 16)

Se fabricó de tubo de acero rectangular laminado en caliente, además de ángulos estructurales como material principal. Ficha técnica de tubo de acero y ángulos estructurales en anexo 2.

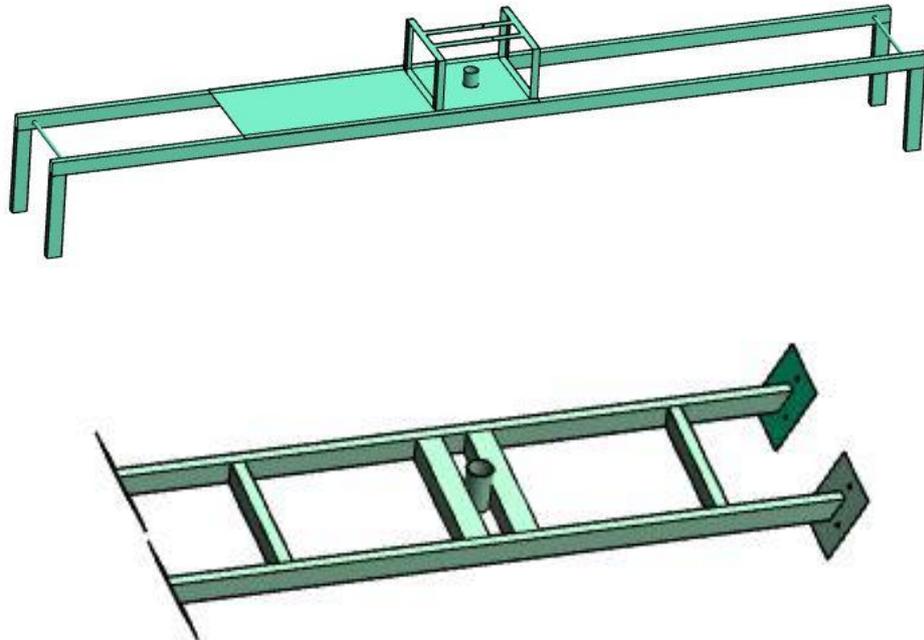


Figura 24. Soporte superior e inferior

Fuente: Elaboración propia

3.3.1. Selección del generador y evaluación de potencia

Según el proyecto de Espitia y Puerto (2014) denominado: “Diseño y construcción de un mini aerogenerador de eje vertical” se seleccionó un alternador. El alternador a utilizar es marca Valeo 13.5 V, 90A a 3600 rpm.

Debido a que los alternadores de carro necesitan altas velocidades para generar el voltaje necesario para cargar una batería y en Jaén no se consiguen los generadores requeridos para utilizar en este prototipo, se decide diseñar un generador modificando un alternador en desuso y así disminuir costos, en este caso se diseñó un generador de imanes permanentes.

3.3.1.1. Modificación del rotor

Teniendo en cuenta las especificaciones del alternador (Anexo 8) se decide utilizar imanes de neodimio tipo anillo (Ver figura 25)



Figura 25. Imán de neodimio tipo anillo
Fuente: Elaboración propia

El objetivo es igualar o aumentar el flujo magnético hacia el estator, por lo cual se deben reemplazar las bobinas del rotor por el tipo de imanes escogidos. Se pretende con esto que el sistema entregue energía desde que inicie la velocidad, evitando tomar energía de este para alimentar con corriente directa los devanados del campo del rotor.

Con las características de los imanes se determina la energía magnetostática máxima que los imanes entregaran.

La energía existente en un campo magnético E_m (J) está definida por:

$$E_m = \frac{1}{2} [(B * H)_{max}] V * N \quad (15)$$

Donde:

B= Campo magnético (G)

H= Intensidad del campo magnético (O)

V= Volumen del imán (m^3)

N= Numero de imanes

(B*H)max= producto de máxima energía (MGO)

La potencia eléctrica máxima resulta del producto entre la energía magnética máxima y la velocidad angular a la cual se encuentra girando

$$P_{ElecMax} = E_m * \omega \quad (16)$$

Se desarmó el rotor, se retiró la bobina y el núcleo, y se acoplaron los imanes en el espacio que ocupaba la bobina, tal como se muestra en la imagen 26.



Figura 26. Modificación del rotor
Fuente: Elaboración propia

3.3.1.2. Modificación del estator

También se modificó el estator para mejorar el rendimiento del generador y que los imanes trabajen correctamente con el flujo magnético que se obtiene de las bobinas. Para el estator se modificó a 24V utilizando alambre de cobre esmaltado calibre 19. Con el fin de calcular el número de espiras se parte del diámetro y el número de espiras del anterior alambre, haciendo que de esta manera se aumente su calibre (Espitia y Puerto, 2014).



Figura 27. Modificación del estator
Fuente: Elaboración propia

Se halla el área con la siguiente ecuación

$$A_A = \pi r^2 \quad (17)$$

A_A = Área del alambre (mm)

Para hallar el área total, teniendo en cuenta el número de espiras se utiliza la siguiente ecuación

$$A_T = A_A * N \quad (18)$$

N = número de espiras

Para determinar el voltaje que se va a obtener, primero se halla el flujo magnético donde:

$$E_A = K * \varphi * \omega \quad (19)$$

- K = constante que representa la construcción de la máquina que es igual a Nc número de espiras
- φ = flujo magnético (webers)
- ω = velocidad angular deseada (rad/s)

Se tiene que:

$$\varphi = A * B \quad (20)$$

A = Área total de las espiras (m^2)

B = Campo magnético (T)

Se reemplaza la (Ecuación 20) en la (Ecuación 19) y se obtiene:

$$B = \frac{E_{max}}{Nc * A * \omega} \quad (21)$$

E_{max} = voltaje generado por una fase.

3.3.2. Ensamble, montaje y realización de pruebas

Se hizo el ensamble de los componentes que conforman el rotor



Figura 28. Ensamble del rotor
Fuente: Elaboración propia

Respecto al montaje del prototipo se empezó por la fijación de la base inferior perforando las paredes del canal con un taladro a baterías.



Figura 29. Fijación de la estructura inferior
Fuente: Elaboración propia

Para la estructura de la base superior se hizo una plataforma para acondicionar la estructura en unos baldes cimentados además de nivelar el prototipo para evitar vibraciones, véase figura 30 y 31.



Figura 30. Fijación de la estructura superior
Fuente: Elaboración propia



Figura 31. Nivelación del prototipo
Fuente: Elaboración propia

Luego se procedió a la instalación del mecanismo amplificador y el generador unidos mediante una faja de transmisión.



Figura 32. Prototipo turbina Darrieus H
Fuente: Elaboración propia

Finalmente se hicieron las pruebas variando los ángulos de ataque de 0 a 15°, midiendo las velocidades de giro (RPM) del eje, el amplificador y el generador, haciendo uso de un Tacómetro digital. Los datos se registran en los resultados.



Figura 33. Medición de RPM
Fuente: Elaboración propia

También se registraron los distintos voltajes producto del número de revoluciones generados por cada ángulo.

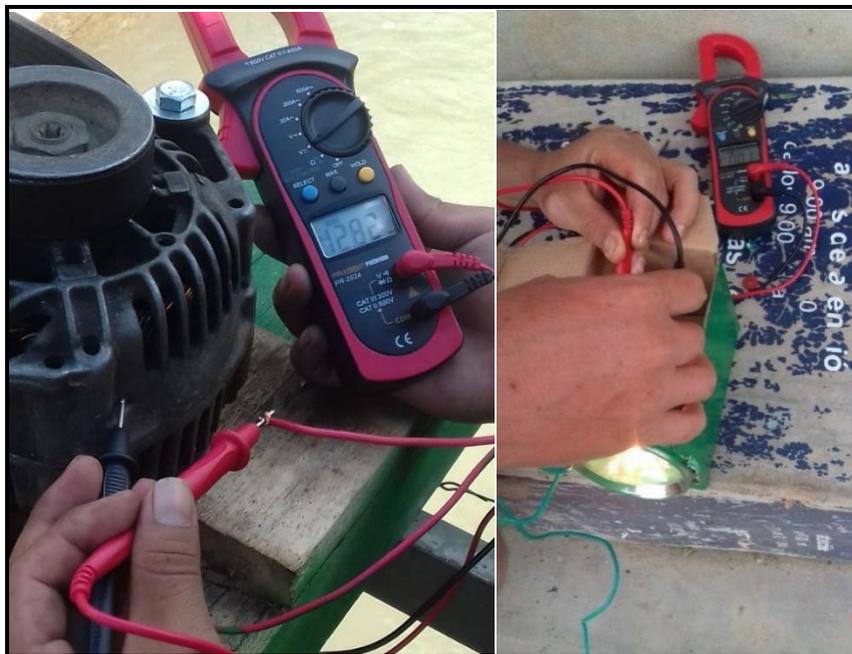


Figura 34. Medición de voltaje
Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Presupuesto referencial del prototipo

Los componentes para la fabricación del rotor, el sistema de transmisión, construcción e implementación de los soportes del prototipo, fueron conseguidos en la ciudad de Jaén, Perú 2019. Se consiguió algunos materiales ya usados en los diferentes puntos de la ciudad que se dedican a la comercialización de materiales reciclables. Estos costos pueden variar de acuerdo en donde se realice la compra de los materiales o si se desea construir con materiales nuevos.

El costo del alternador es relativamente bajo porque ya ha sido usado. Se estima que el costo de un alternador idóneo para este prototipo sea de aproximadamente 800 soles.

El prototipo para experimentación implementado tiene un valor en materiales de aproximadamente de 1098 soles peruanos y se distribuye según lo mostrado en la tabla 4.

Se estiman aproximadamente un total de 145 horas de trabajo para la realización del prototipo e implementación.

El diseño se efectuó con la ayuda de programas computacionales tales como AUTOCAD y SOLIDWORKS y para esto se necesitaron aproximadamente 40 horas (incluyendo las horas de aprendizaje de estos programas).

Tabla 4

Presupuesto referencial de materiales y fabricación de prototipo

Ítem	Descripción	Aplicación	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
SOBRE EL ROTOR DEL PROTOTIPO						
1	Tubo circular de acero LAC Ø1", 1.2mm x 4	Eje	m	1	S/40.00	S/40.00
2	Plancha de acero LAC 0.5x0.5m	Discos de sujeción	m2	1	S/25.00	S/25.00
3	Platinas LAC 1/8x1"	Brazos soporte de alabes	m	1	S/15.00	S/15.00
5	Fibra de vidrio	Alabes	kg	5	S/20.00	S/100.00
6	Pintura acrílica color negro y azul	Alabes y rotor	unid.	2	S/15.00	S/30.00
7	Pernos Ø0.5x3 cm	Acople de alabes	unid.	12	S/0.50	S/6.00
8	Rodamientos de una sola hilera 6205	Eje	unid.	2	S/10.00	S/20.00
9	Costo mano de obra soldadura	Acople discos de sujeción	unid.	1	S/50.00	S/50.00
SOBRE EL SISTEMA DE TRNSMISIÓN / GENERADOR						
10	Alternador en desuso		unid.	1	S/120.00	S/120.00
11	Imanes de neodimio tipo anillo	Modificación del rotor del alternador	unid.	2	S/50.00	S/100.00
12	Alambre de cobre calibre 19	Modificación del estator del alternador	rollo	1	S/36.00	S/36.00
13	Esmeril manual mayor 6"	Mecanismo amplificador	unid.	1	S/60.00	S/60.00
14	Polea Ø12.5 cm	Amplificador	unid.	1	S/15.00	S/15.00
15	Faja de transmisión RIB-ACE 6PK870	Acople amplificador - generador	unid.	1	S/30.00	S/30.00
16	Pernos Ø1x5 cm	Acople del amplificador	unid.	8	S/0.50	S/4.00
17	Pernos 1 1/2"x 8"	Acople del alternador	unid.	2	S/1.00	S/2.00
SOBRE LOS SOPORTES DEL PROTOTIPO						
18	Tubo rectangular de acero LAC 2"x 1"	Base superior e inferior	m	2	S/40.00	S/80.00
19	Plancha de acero LAC 0.5x0.5m	Base soporte del generador	m2	1	S/25.00	S/25.00
20	Pintura acrílica color verde	Base superior e inferior	unid.	1	S/15.00	S/15.00
21	Cemento	Cimentación de la base superior	bolsa	1	S/25.00	S/25.00
22	Otros	Gastos generales	Glob.	1		S/300.00
TOTAL SIN I.G.V.						S/1,098.00

Fuente: Elaboración propia

IV. RESULTADOS

4.1. Realización pruebas experimentales en el canal.

Se realizaron ensayos prácticos cambiando el ángulo de ataque de los alabes de la turbina y se obtuvieron los siguientes resultados:

- Respecto al mecanismo amplificador de RPM se pudo medir las siguientes revoluciones:

Tabla 5

Velocidad de giro del eje vs amplificador por variación del ángulo de ataque

Ángulo de ataque	Velocidad de giro promedio del eje (rpm)	Amplificador (rpm)
0°	61	627
3°	67	684
5°	69	709
8°	49	493
10°	33	377
15°	0	0

Fuente: Elaboración propia

En el sistema de transmisión se pudo obtener los siguientes resultados

Tabla 6

Velocidad del amplificador vs el generador por variación del ángulo de ataque

Ángulo de ataque	Amplificador (rpm)	Generador (rpm)
0°	627	1266
3°	684	1365
5°	709	1436
8°	493	960
10°	377	767
15°	0	0

Fuente: Elaboración propia

La velocidad de giro del generador es la variable principal para poder lograr nuestros objetivos, para ello se hizo una toma de diez datos por ángulo de ataque y se calculó con las funciones estadísticas del EXCEL la media o promedio (\bar{x}), la desviación estándar (S) y el coeficiente de variación (CV). Al ser este último menor que el 10 % se considera que la media es representativa y se puede utilizar ese valor promedio en los cálculos siguientes.

Tabla 7

Velocidad de giro del generador por ángulo de ataque

Medición	Velocidad de giro del generador por ángulo de ataque					
	0°	3°	5°	8°	10°	15°
1	1260	1380	1435	984	785	0
2	1262	1387	1429	978	775	0
3	1200	1368	1298	980	782	0
4	1320	1315	1382	990	758	0
5	1286	1372	1422	967	748	0
6	1246	1359	1427	980	765	0
7	1268	1320	1480	929	758	0
8	1234	1380	1509	978	782	0
9	1339	1348	1530	945	748	0
10	1245	1421	1448	869	769	0
\bar{X}	1266	1365	1436	960	767	0
S	40.719	31.584	65.432	37.178	13.864	
CV	3.216	2.314	4.557	3.873	1.808	

Fuente: Elaboración propia

La figura 35 describe la variación del número de revoluciones generadas por efecto de la variación del ángulo de ataque de los alabes del rotor donde se observa que el máximo número de revoluciones se da en un ángulo de ataque de 5° así como el mínimo de revoluciones ubicado en un ángulo de ataque de 15° la cual el prototipo en esta ubicación no presenta arranque.

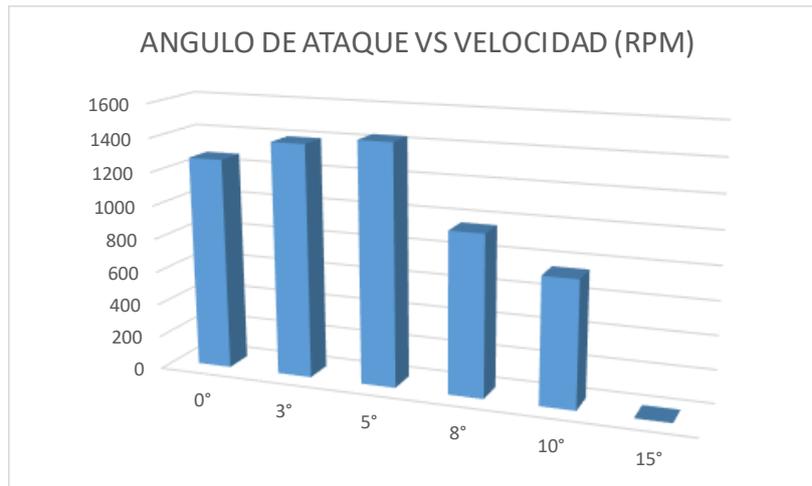


Figura 35. Ángulo de Ataque Vs Velocidad
Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Voltaje generado

Se tiene que el diámetro original del alambre del estator es calibre 16 cuyo diámetro es de 1.384 mm, se halla el área del estator mediante la ecuación (17):

$$\text{si } r = D/2 = 0.692 \text{ mm}$$

$$\text{Entonces } A_A = 1.504 \text{ mm}^2$$

Si son 14 espiras por bobina, el área total se obtiene reemplazando en la Ecuación (18)

$$A_T = 21.06 \text{ mm}^2$$

Obteniendo estos datos se calcula el número máximo de espiras con el nuevo calibre a utilizar. Se tiene conductor de cobre calibre 19 cuyo diámetro es 0.912 mm, entonces para encontrar el número de espiras máximo se tiene que: $r = D/2 = 0.456 \text{ mm}$

$$\text{Entonces } A_{A2} = 0.6532 \text{ mm}^2$$

Despejando N espiras de la ecuación (18)

$$N_{max} = 21.06 \text{ mm}^2 / 0.6532 \text{ mm}^2$$

$$N_{max} = 32.2 \cong 32 \text{ espiras por bobina.}$$

Para hallar el flujo magnético se utiliza

$$E_A = K * \varphi * \omega$$

$K = NC$ es igual a 84, como son 14 espiras por 6 bobinas por fase.

Para hallar B que es campo magnético medido en Teslas (T), se sustituye la ecuación (20) en la ecuación (19) y despejando B se obtiene:

$$B = \frac{E_{max}}{Nc * A * \omega}$$

Donde E_{max} es igual a 7.79 Vpico que es el voltaje generado por una fase y se obtiene:

$$B = 14.02 \text{ Teslas}$$

Se reemplaza en la ecuación 20 para hallar el flujo magnético

$$\varphi = 0.0002952 \text{ webers}$$

Una vez obtenidos todos los datos, se calcula el voltaje que puede generar con cada una de las revoluciones obtenidas al variar el ángulo de ataque (ver tabla 8).

$$E_A = (32 \text{ vueltas} * 6 \text{ bobinas}) * 0.0002952 \text{ wb} * \omega \text{ rad/s}$$

Tabla 8

Voltaje generado por efecto de la variación de ángulo de ataque

Ángulo de ataque (°)	Velocidad (rpm)	Voltaje por fase (V)	Voltaje línea(V)
0°	1266	7.514	13.01
3°	1365	8.101	14.03
5°	1436	8.523	14.76
8°	960	5.698	9.87
10°	767	4.552	7.89
15°	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

4.2. Potencia generada por efecto de la variación del ángulo de ataque

Conociendo las características del imán y mediante la ecuación 15 se calcula la energía existente en el campo magnético de los imanes:

Tabla 9

Características del imán

Modelo	Energía máx. (KJ/m ³)	Diámetro externo (mm)	Diámetro interno (mm)	Espesor (mm)	Temperatura máxima (°C)
N28EH	207 a 223	70	50	15	200

Fuente: Imagnates.com

$$E_m = 1/2[(B*H)_{max}*V*N]$$

$$E_m = \frac{1}{2} \left(207000 \frac{J}{m^3} \right) * \left(\frac{\pi}{4} * 0.015(0.070^2 - 0.050^2) \right) * m^3 * 2 = 5.8528J$$

La potencia eléctrica máxima resulta del producto entre la energía magnética máxima (E_m) y la velocidad angular del generador (ω). Se reemplazan diferentes valores de velocidad angular para obtener la potencia eléctrica máxima con cada uno de los ángulos de ataque (Ver tabla 10).

$$P_{ElecMax} = E_m * \omega = 5.8528 * \omega$$

Tabla 10

Potencia generada por efecto de la variación de ángulo de ataque

Ángulo de ataque (°)	Velocidad (rpm)	Potencia eléctrica máxima (w)
0°	1266	775.91
3°	1365	836.59
5°	1436	880.10
8°	960	588.37
10°	767	470.08
15°	0	0

Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIÓN

Esta investigación tuvo como objetivo principal evaluar la influencia del ángulo de ataque de los álabes de la turbina en relación a la potencia de un generador eléctrico fluvial implementado a pequeña escala. Relacionando así las variables (Ángulo de ataque, número de revoluciones), con la potencia generada. A partir de las pruebas realizadas con cada uno de los ángulos de ataque, aceptamos la hipótesis que establece que el ángulo de ataque de los álabes del rotor influye en la potencia del generador eléctrico fluvial implementado a pequeña escala.

El perfil seleccionado (Naca 0018) se seleccionó porque su geometría permite poder acoplar el regulador de ángulos por medio de pernos ya que es de más grosor comparado con un perfil Naca 0012 o Naca 0015. Esta selección se reafirma mediante la investigación de Hernández (2016), quien sostiene que el rotor presenta un mejor desempeño con superficies gruesas. En cuanto a su fabricación se busca que el material sea liviano que facilite el arranque del rotor siendo así construida con fibra de vidrio que resulta favorable en cuanto al tiempo de fabricación y la inversión.

Debido a la geometría del canal (trapezoidal) y teniendo en cuenta la velocidad del fluido se optó por la implementación del prototipo con dos soportes un inferior o base menor y otro superior o base mayor esta geometría le da más estabilidad al prototipo. Esta propuesta se ha efectuado en base a la investigación de Campoy y Carlos (2017) quienes recomiendan mejorar el soporte del prototipo para evitar vibraciones.

Los resultados de las velocidades de giro del generador guardan relación con lo que sostiene Ramón (2017). En el diseño de una turbina de eje vertical tipo darries h eólica, quien concluye que los ángulos de ataque que generan mayor numero de revoluciones se encuentran entre los 3° y 6°, pero difieren con la investigación de Espitia y Puerto (2014) en el diseño y construcción de un mini aerogenerador de eje vertical quienes realizaron una modificación del alternador haciendolo a generador de imanes permanentes y velocidad de viento 6m/s lograron generar a partir 100 RPM comparado con nuestro proyecto para generación hidrocínética se necesita velocidades superiores a 700RPM para poder vencer las la fuerzas por rozamiento en la transmisión y el campo magnético de los imanes en el rotor.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye que el perfil seleccionado (NACA 0018) así como su fabricación en vibra de vidrio es adecuado para este experimento ya que no tuvimos inconvenientes en la toma de datos.

El diseño mecánico, si bien no constituye la parte medular de este trabajo, es un punto central en el desarrollo de la turbina hidrocínética. El diseño y construcción se ha efectuado a base de principios básicos y generales de funcionamiento como el de conseguir una potencia máxima por efecto de la variación del ángulo de ataque de los alabes.

En este proyecto se concluye que para poder lograr una revolución estable los ángulos de ataque de los tres alabes deben tener el mismo ángulo de inclinación de no ser así el rotor tiende a detenerse.

En la gráfica Angulo de Ataque Vs Velocidad (RPM) se observó en cada uno de los ángulos realizadas en las pruebas muestra que entre los ángulos 3° y 5° se presenta mayor número de revoluciones, lo que representa que el generador presentará mayor potencia en esta ubicación.

Este prototipo de turbina a una velocidad de flujo de 1 m/s y un ángulo de ataque a 15° no presenta arranque.

Este trabajo de investigación está orientado en el funcionamiento de una turbina Darrieus en condiciones de operación de 1m/s de velocidad del fluido de un canal, si se desea generar energía suficiente se debe realizar estudios a velocidades superiores del fluido además diseñar o evaluar un generador adecuado.

Para la variación de los ángulos de ataque a velocidades mayores de fluido, se recomienda que se diseñe a detalle la turbina de eje vertical tipo Darrieus, con el fin analizar los esfuerzos que ejerce el rotor y asegurarse así que el material seleccionado sea resistente, además se debe hacer un estudio de los materiales que lo componen al soporte del prototipo para evitar vibraciones o inestabilidad.

Es necesario que se continúe investigando sobre la influencia del ángulo de ataque en la potencia del generador para la validación de estos resultados. Sería recomendable, para futuras investigaciones, que se tomen en cuenta los esfuerzos al momento de arranque, así como el tiempo de arranque del rotor con diversos ángulos de ataque

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antezana Nuñez, J. C. (2004). Diseño y construcción de un prototipo de generador eólico de eje vertical. Santiago: Universidad de Chile. Recuperado de <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Diseño+y+construcción+de+un+prototipo+de+generador+eólico+de+eje+vertical+.#0>
- Aragón, A. (2013). Criterios para la selección de parámetros característicos de turbinas hidrocineéticas de eje horizontal. 69.
- Betancur, G. J. A. (2016). Analisis de una solucion energetica para pequeñas comunidades aisladas , mediante la utilizacion de generacion hidro cinetica. Universidad Tecnológica de Pererira.
- Campos, R., & Vásquez, J. C. (2017). Análisis técnico- económico, diseño y evaluación experimental de la implementación de una turbina hidrocineética para generación eléctrica. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/14623/1/CD-6793.pdf>
- Carrillo, J. (2018). Diseño mecánico de una turbina hidrocineética para generación de energía en la estación de biodiversidad del Tiputini. Universidad San Francisco de Quito USFQ.
- Espitia Caita, C., & Puerto Molina, L. J. (2014). Diseño y Construcción de un Mini Aerogenerador de eje Vertical (Universidad Militar Nueva Granada). <https://doi.org/http://dx.doi.org/110.21043/equilibrium.v3i2.1268>
- Gamio, P., Vásquez, U., Moreno, A., & Castro, A. (2017). Marco normativo para el acceso a la energía básica. 56.
- Hernández, L. (2016). “ Diseño De Un Aerogenerador Vertical Modelo Darrieus Para Ensayos en el Túnel de Viento del Laboratorio de Energía de la PUCP. 108.
- Lata, J. C. (2019). Mejoras al dimensionamiento óptimo de sistemas híbridos con energías renovables (Universidad de Jaen). <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2003.11.045>
- Maldonado, F. (2005). Diseño de una turbina de río para la generación de electricidad en el distrito de Mazán-Región Loreto. Recuperado de <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rj>

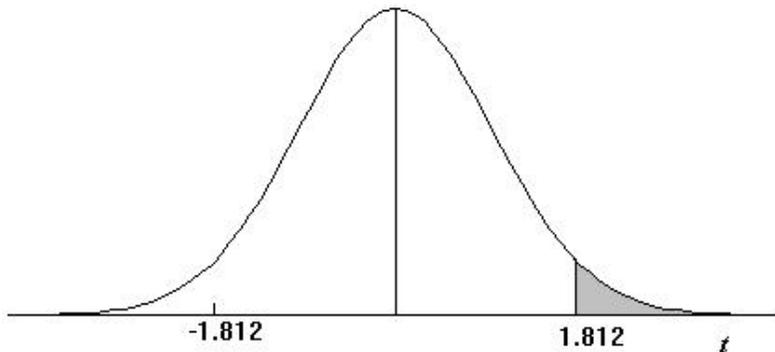
- a&uact=8&ved=0ahUKEwiM5uSprs_SAhVW0WMKHRxqC8sQFggwMAQ&url=http%3A%2F%2Fsisbib.unmsm.edu.pe%2Fbibvirtualdata%2Fmonografias%2Fbasic%2Fmaldonado_qf%2Fmaldonado_qf.pdf&usg=AFQjCNHy9BX1tl
- Orduz, O. I., & Suárez, J. E. (2011). Diseño y construcción de un prototipo de turbina eólica de eje vertical para generación a baja potencia. Universidad Industrial de Santander.
- Osinermin. (2019). Energías Renovables. Retrieved May 28, 2019, de <http://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables/introduccion-energias-renovables/que-son-las-energias-renovables>
- Ramón, J. (2017). Diseño y construcción de un prototipo de turbina eólica de eje vertical tipo “darrieus-h” para el aprovechamiento del recurso eólico en el edificio de laboratorios del área de la energía, las industrias y los recursos naturales no renovables. Universidad Nacional de Loja.
- Salazar León, L. J. (2014). Generación de energía eléctrica con pequeños complejos de centrales hidráulicas utilizando turbinas lineales horizontales en canales de riego hasta 1 mw. Universidad Nacional de San Agustín.
- Tamayo, J., Salvador, J., Vásquez, A., & Vilches, C. (2016). La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país. Recuperado de http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anios.pdf
- Zubialde, G. I. (2016). Universidad de Pinar del Río Trabajo de diploma. Título: Diseño de una turbina hidrocínética tipo Savonius. Recuperado de [https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/26565/Zubialde García%2C Irati.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/26565/Zubialde_García%2C_Irati.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Tabla de distribución T - Student

TABLA : DISTRIBUCIÓN t DE STUDENT

Puntos de porcentaje de la distribución t



Ejemplo

Para $\phi = 10$ grados de libertad:

$$P[t > 1.812] = 0.05$$

$$P[t < -1.812] = 0.05$$

α r	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	636,578
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,689
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,660
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,290

Anexo 2. Especificaciones técnicas de materiales de
los soportes del prototipo

Platinas

CALIDAD: ASTM A36

DENOMINACIÓN:

PLAT A36.

DESCRIPCIÓN:

Producto de acero que ha sido laminado en caliente en sus cuatro superficies, con una sección transversal rectangular. Tiene las superficies lisas.

USOS:

En la fabricación de estructuras metálicas, puertas, ventanas, rejas, piezas forjadas y otros.

NORMAS TÉCNICAS:

- Propiedades Mecánicas: ASTM A36/A36M
- Tolerancias Dimensionales: ISO 1035/4

PRESENTACIÓN:

Se produce en barras de 6 metros de longitud. Se suministra en paquetes de 2 TM, formados por paquetes de 1 TM c/u.

DIMENSIONES Y PESOS:

DIMENSIONES NOMINALES (pulg)	PESO NOMINAL	
	Kg/m	Kg/6m
1/8" x 1/2" x 6 m	0.32	1.92
1/8" x 5/8" x 6 m	0.39	2.34
1/8" x 3/4" x 6 m	0.48	2.88
1/8" x 1" x 6 m	0.64	3.84
1/8" x 1 1/4" x 6 m	0.80	4.80
1/8" x 1 1/2" x 6 m	0.95	5.70
1/8" x 2" x 6 m	1.27	7.62
3/16" x 1/2" x 6 m	0.48	2.88
3/16" x 5/8" x 6 m	0.61	3.66
3/16" x 3/4" x 6 m	0.74	4.44
3/16" x 1" x 6 m	0.98	5.88
3/16" x 1 1/4" x 6 m	1.18	7.08
3/16" x 1 1/2" x 6 m	1.42	8.52
3/16" x 2" x 6 m	1.90	11.40
3/16" x 2 1/4" x 6 m	2.14	12.84
3/16" x 2 1/2" x 6 m	2.37	14.22
3/16" x 3" x 6 m	2.85	17.10
1/4" x 1/2" x 6 m	0.64	3.84
1/4" x 5/8" x 6 m	0.80	4.80
1/4" x 3/4" x 6 m	0.95	5.70
1/4" x 1" x 6 m	1.28	7.68
1/4" x 1 1/4" x 6 m	1.58	9.48
1/4" x 1 1/2" x 6 m	1.90	11.40
1/4" x 2" x 6 m	2.53	15.18
1/4" x 2 1/2" x 6 m	3.16	18.96
1/4" x 3" x 6 m	3.80	22.80
1/4" x 4" x 6 m	5.06	30.36
3/8" x 1" x 6 m	1.92	11.52
3/8" x 1 1/4" x 6 m	2.38	14.28
3/8" x 1 1/2" x 6 m	2.85	17.10
3/8" x 2" x 6 m	3.80	22.80
3/8" x 2 1/2" x 6 m	4.74	28.44
3/8" x 3" x 6 m	5.70	34.20
3/8" x 4" x 6 m	7.60	45.60

DIMENSIONES NOMINALES (pulg)	PESO NOMINAL	
	Kg/m	Kg/6m
1/2" x 1" x 6 m	2.54	15.24
1/2" x 1 1/2" x 6 m	3.79	22.74
1/2" x 2" x 6 m	5.06	30.36
1/2" x 2 1/2" x 6 m	6.33	37.98
1/2" x 3" x 6 m	7.60	45.60
1/2" x 4" x 6 m	10.13	60.78
5/8" x 2 1/2" x 6 m	7.91	47.46
5/8" x 3" x 6 m	9.50	57.00
5/8" x 4" x 6 m	12.66	75.96
3/4" x 4" x 6 m	15.19	91.14
1" x 3" x 6 m	15.19	91.14
1" x 4" x 6 m	20.26	121.56

COMPOSICIÓN QUÍMICA EN LA CUCHARA (%):

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

PROPIEDADES MECÁNICAS:

- Límite de Fluencia mínimo = 2,530 kg/cm²
- Resistencia a la Tracción = 4,080 - 5,620 kg/cm²
- Alargamiento en 200 mm:
 - 1/8" y 3/16" = 15.0% mínimo.
 - 1/4" = 17.5% mínimo.
 - 5/16", 3/8", 5/8", 3/4" y 1" = 20.0% mínimo.
- Doblado a 180° = Bueno.
- Soldabilidad = Buena.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y DE FORMA:

DIMENSIÓN NOMINAL b (pulg)	ANCHO b (mm)	TOLERANCIAS (mm)		DESVIACIÓN MÁX. DE RECTITUD (mm/m)	LONGITUD (mm)
		ESPESOR			
		e < 3/4"	3/4" ≤ e ≤ 1 5/8"		
b < 2"	± 0.8	± 0.4	± 0.8	4.0	+ 50 - 0
2" ≤ b < 3"	± 1.2	± 1.0	± 1.0		
3" ≤ b < 4"	± 1.5				
b ≥ 4"	± 2.0				



QCQA01-F104 / 02 / FEB 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

**ACEROS
AREQUIPA**

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:

- Longitud : - Redondos: 6.40 m y 6 m.
- Cuadrados y rectangulares: 6 m.
- Otras longitudes a pedido.
- Acabado de extremos: Refrentado (plano), limpios de rebordes.
- Recubrimiento : - Negro.
- Galvanizado.
(mínimo de 120 gr/m²).

DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m:

DESIGNACIÓN NOMINAL	DIMENSIÓN EXTERIOR (mm)	ESPEORES (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					
2"		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)	ESPEORES (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	A	270	310
RECTANGULAR	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

**ACEROS
AREQUIPA**

Ángulos Estructurales

CALIDAD: ASTM A36/A572 - G50

DENOMINACIÓN:

ANG DUAL A36/A572-G50

DESCRIPCIÓN:

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

USOS:

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

NORMAS TÉCNICAS:

- Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36M y ASTM A572/A572M
- Composición Química: ASTM A36 / A36M y ASTM A572/A572M
- Tolerancias Dimensionales: ASTM A6/A6M

PRESENTACIÓN:

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

DIMENSIONES Y PESOS:

DIMENSIONES Pulg.	PESO NOMINAL		
	Lb/pie	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

COMPOSICIÓN QUÍMICA EN LA CUCHARA (%)

NORMA	%C máx	%Mn máx	%Si máx	%P máx	%S máx	%Nb Tipo 1	%V Tipo 2
ASTM A36/A36M	0.23	1.35	0.4	0.04	0.05	0,005 - 0,050	0,01 - 0,15
ASTM A572/A572 Grado 50							

PROPIEDADES MECÁNICAS:

- Límite de Fluencia mínimo = 3,520 kg/cm²
- Resistencia a la Tracción = 4,590 - 5,620 kg/cm²
- Alargamiento en 200 mm:
 - 3/32", 1/8" y 3/16" = 15% mínimo.
 - 1/4" = 17,5% mínimo.
 - 5/16", 3/8" y 1/2" = 20,0% mínimo.
- Soldabilidad = Buena

TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y DE FORMA:

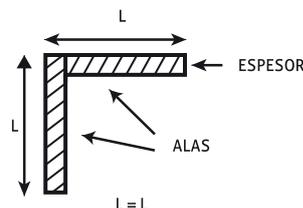
Sistema Inglés

NORMA TÉCNICA	DIMENS. TÉCNICA	LONG. DE ALA (L-mm)	DIFER. ENTRE ALAS (ΔL-mm)	ESPESOR			DES. MÁX. DE RECTITUD ³ (f-mm/m)	LONG. (l-mm)
				e≤3/16"	3/16"<e≤3/8"	e>3/8"		
ASTM A6/A6M	1 1/2" 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	2,77	-----(?)	-----(?)	-----(?)	2,08	
	4"	-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 -2,5% / +3,0% del peso nominal.

(3) No incluye puntas dobladas.

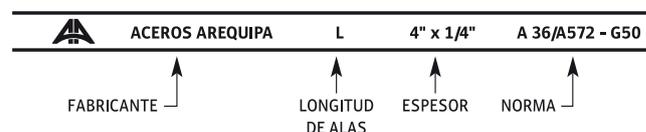


Corte en los extremos

Se acepta el corte con cizalla en frío.

IDENTIFICACIÓN:

Los ángulos son identificados con marcas estampadas que indican el fabricante, las dimensiones nominales y las Normas, según el siguiente esquema:



QCQA01-F101 / 01 / NOV 15



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

**ACEROS
AREQUIPA**

Laminados en Caliente

BOBINAS LAC / PLANCHAS LAC

DENOMINACIÓN:

BLAC A36, PDLAC A36.

DESCRIPCIÓN:

Bobinas y Planchas de acero laminadas en caliente con bordes de laminación.

USOS:

Se usa en la fabricación de tubos y perfiles plegados. Asimismo, luego de su corte en planchas, se emplea en la construcción de silos, carrocerías y construcción en general.

NORMAS TÉCNICAS:

DESIGNACIÓN	NORMAS TÉCNICAS
Estructural	ASTM A36

DIMENSIONES NOMINALES:

BOBINAS LAMINADAS EN CALIENTE BLAC A36
1.5 x 1200 mm
1.8 x 1200 mm
1.9 x 1200 mm
2.0 x 1200 mm
2.2 x 1200 mm

PLANCHAS DELGADAS LAMINADAS EN CALIENTE PDLAC A36
1.5 x 1200 x 2400 mm
1.8 x 1200 x 2400 mm
1.9 x 1200 x 2400 mm
2.0 x 1200 x 2400 mm
2.2 x 1200 x 2400 mm
2.3 x 1200 x 2400 mm
2.5 x 1200 x 2400 mm
2.9 x 1200 x 2400 mm
4.0 x 1200 x 2400 mm
4.5 x 1200 x 2400 mm
5.9 x 1200 x 2400 mm

ANÁLISIS QUÍMICO DE COLADA (%):

CALIDAD ASTM	%C	%Mn MÁX.	% P MÁX.	%S MÁX.	% Si MÁX.
A36	0.25 máx	0.8 - 1.20 (e < 3/4")	0.040	0.050	0.40

PROPIEDADES MECÁNICAS:

CALIDAD	NORMA ASTM	LÍMITE DE FLUENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kg/cm ²)	ALARGAMIENTO (%) en 50 mm	DOBLADO
Estructural	A36	2,550	4,080-5,610	20 mín.	a 180° (opcional) Diámetro Pin = 3e Sentido Laminación

TOLERANCIAS DIMENSIONALES:

Según JIS G3193

ESPESOR NOMINAL e (mm)	TOLERANCIAS (MM)						
	CAMBER	APLANADO	ANCHO		LONGITUD	ESPESOR	
			≤1200	1500		ANCHO 1200	ANCHO 1500
1.8 - 1.9	10 mm/m máx	18 máx	+30 -0	+35 -0	+25 -0	± 0.19	± 0.23
2.0 - 2.4		18 máx				± 0.20	± 0.25
2.5 - 3.0		18 máx				± 0.22	± 0.29
4.0 - 5.9		14 máx				± 0.45	± 0.55

QCQA01-F202 / 02 / ABR 16 - QCQA01-F201 / 03 / 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.

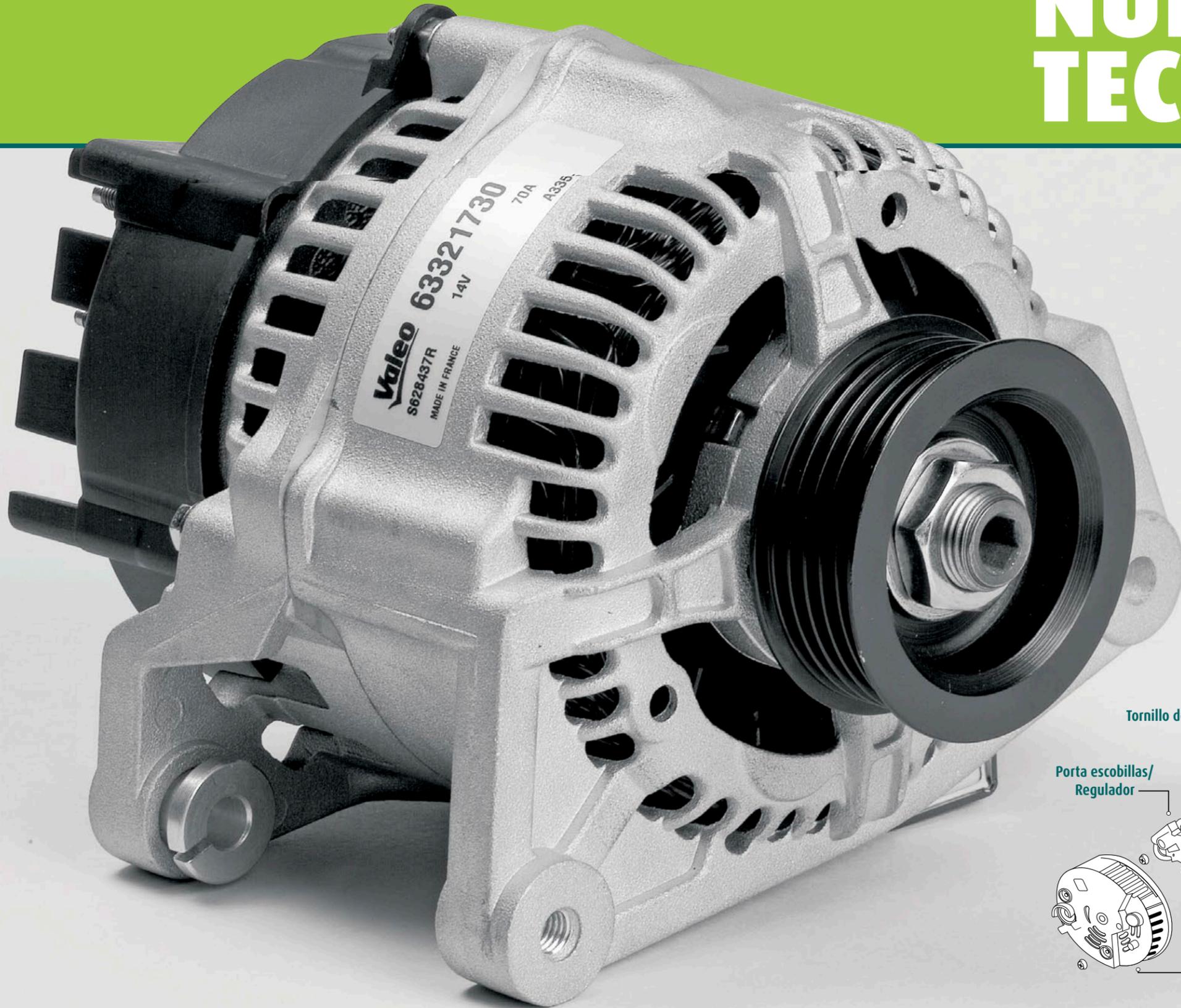
Santa Cruz: Urb. Parque Industrial Latinoamericano, Unidad Industrial UI 06, Mz. 1, Lote 4 - Warnes. Tel. (591) 76303499. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

Encuétranos en: www.acerosarequipa.com

**ACEROS
AREQUIPA**

Anexo 3. Principales componentes de un alternador

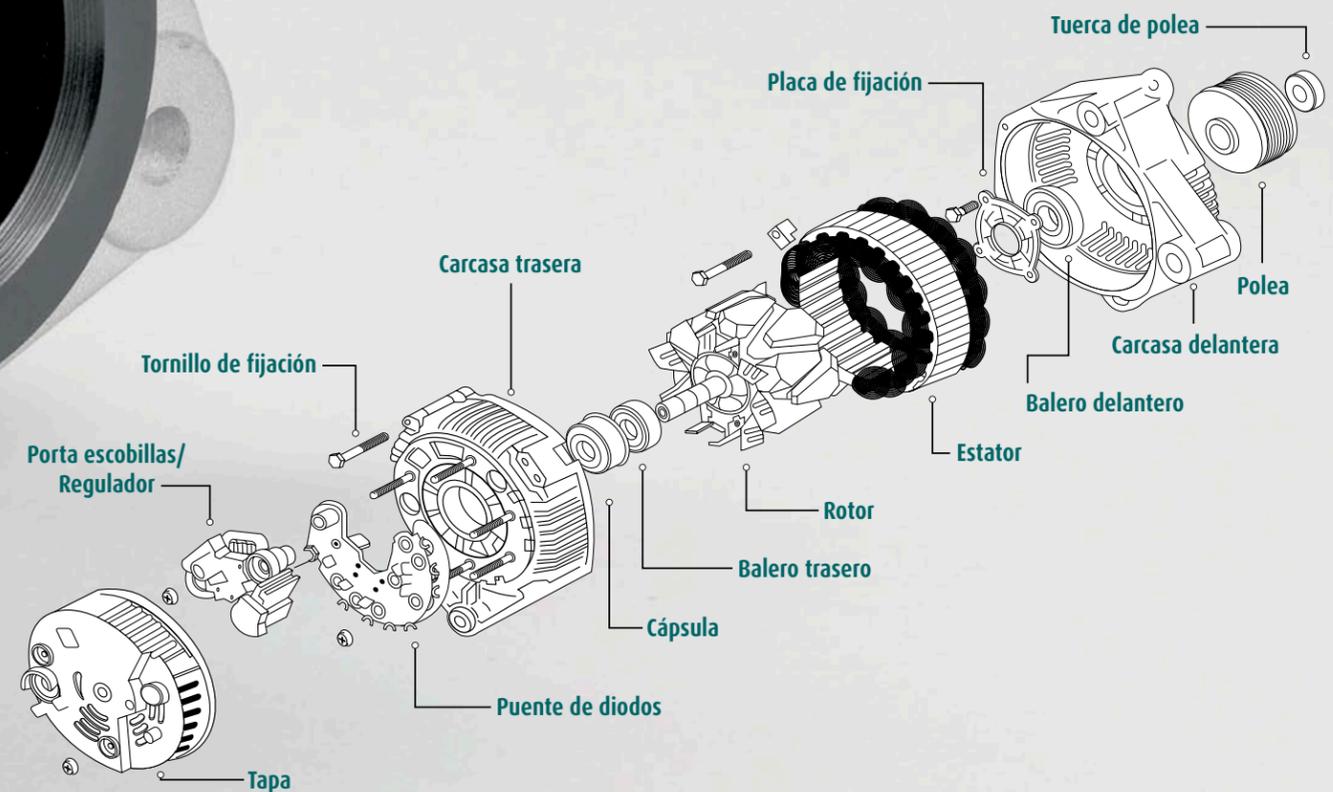
NUESTRA TECNOLOGÍA



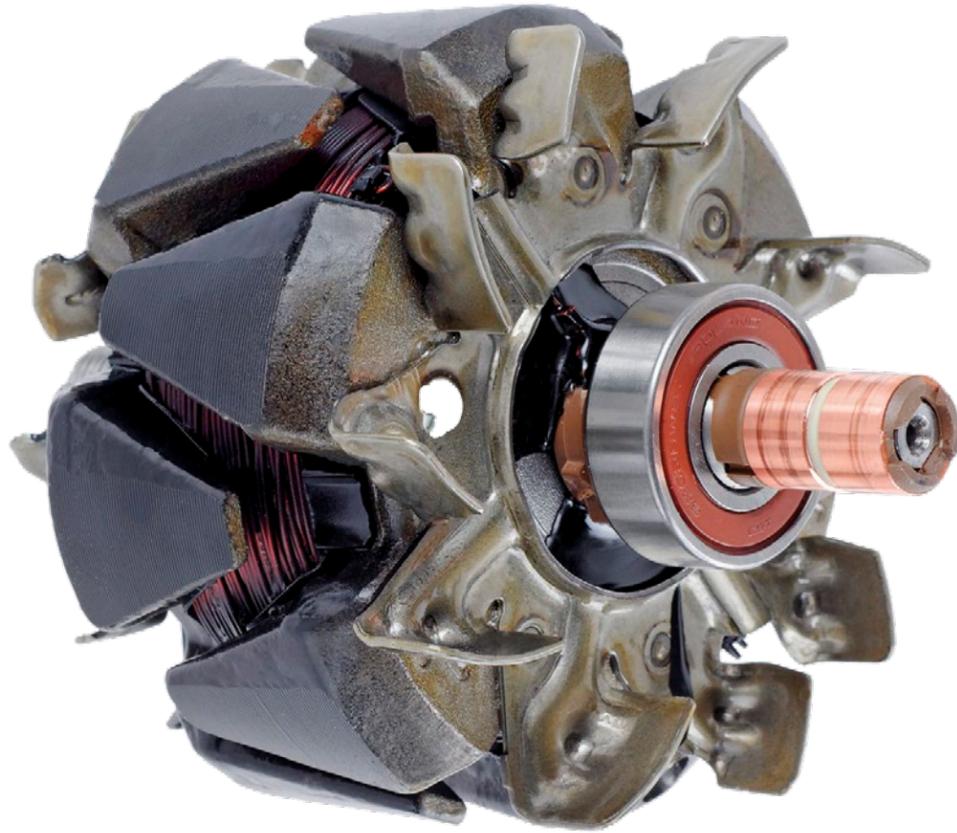
EL ALTERNADOR

► La función principal del alternador, es la entrega de energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de todos los componentes eléctricos de un vehículo.

► COMPONENTES DEL ALTERNADOR

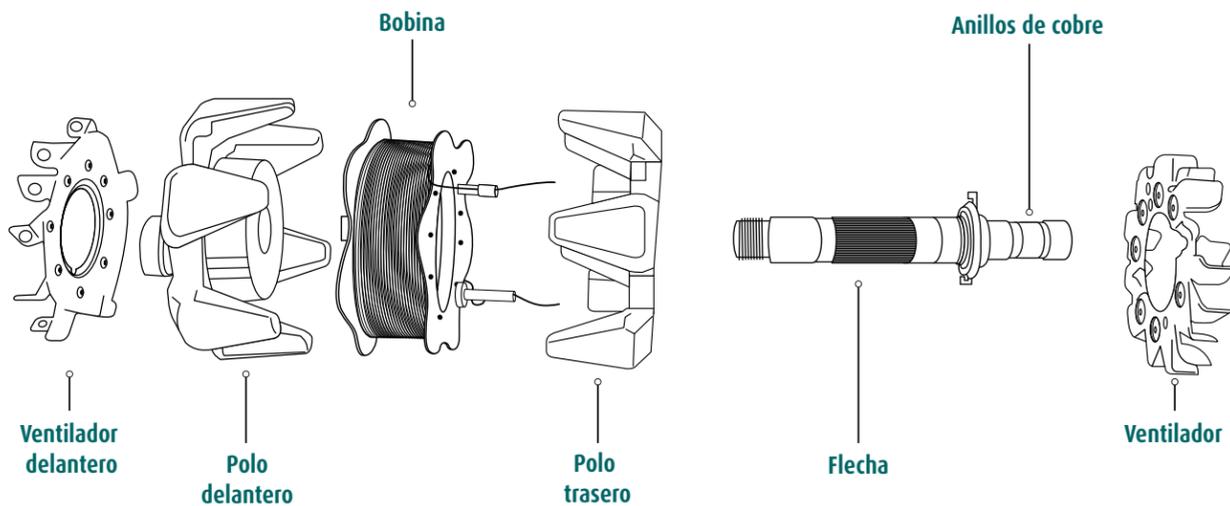


EL ROTOR

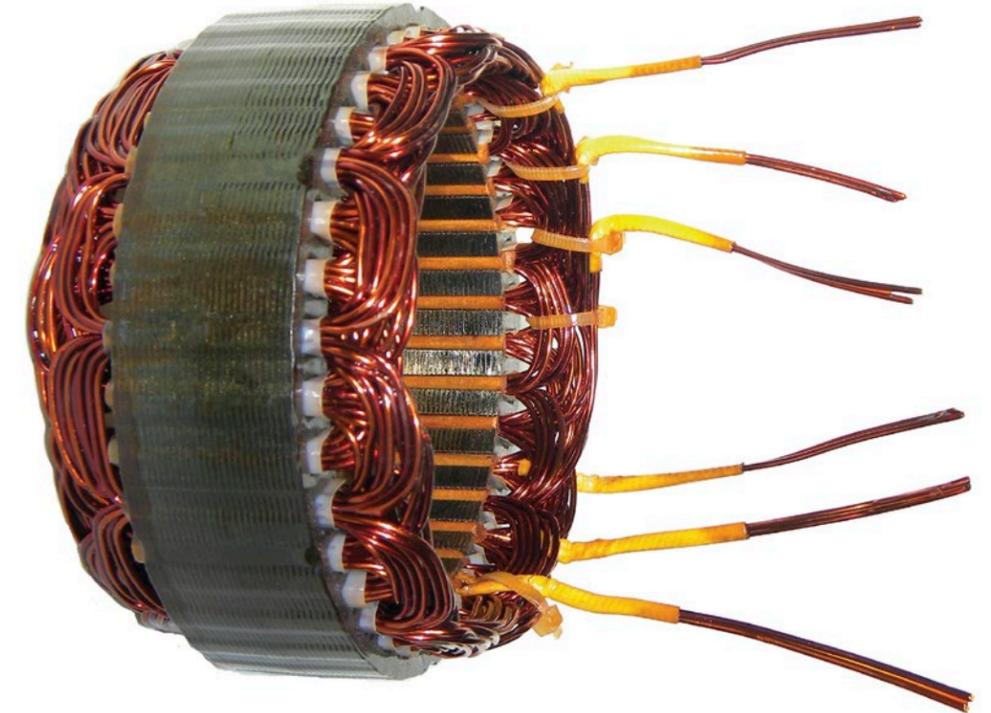


► **El rotor es la parte móvil del alternador.**
Es un electroimán, crea un campo magnético inductor, el cual provoca en el bobinado inducido la corriente eléctrica que suministra después el alternador.

► COMPONENTES DEL ROTOR

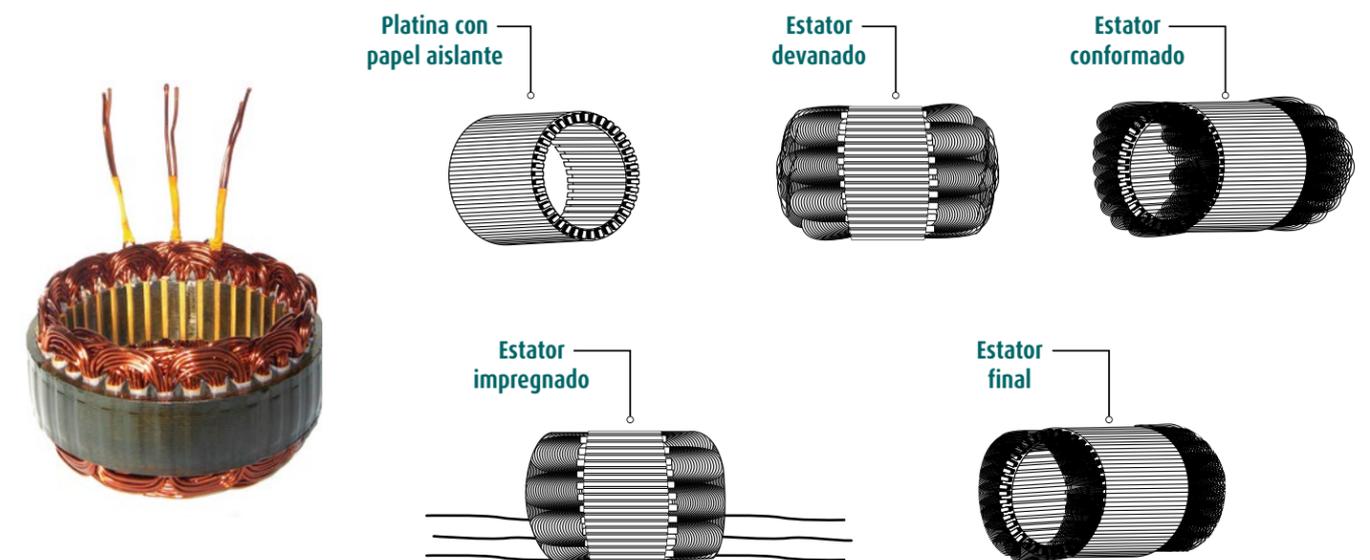


EL ESTATOR



► **El estator es la parte fija del alternador.**
Es donde son alojadas las bobinas inducidas que generan la corriente eléctrica, la conexión de estas bobinas pueden ser de 3 o 6 fases.

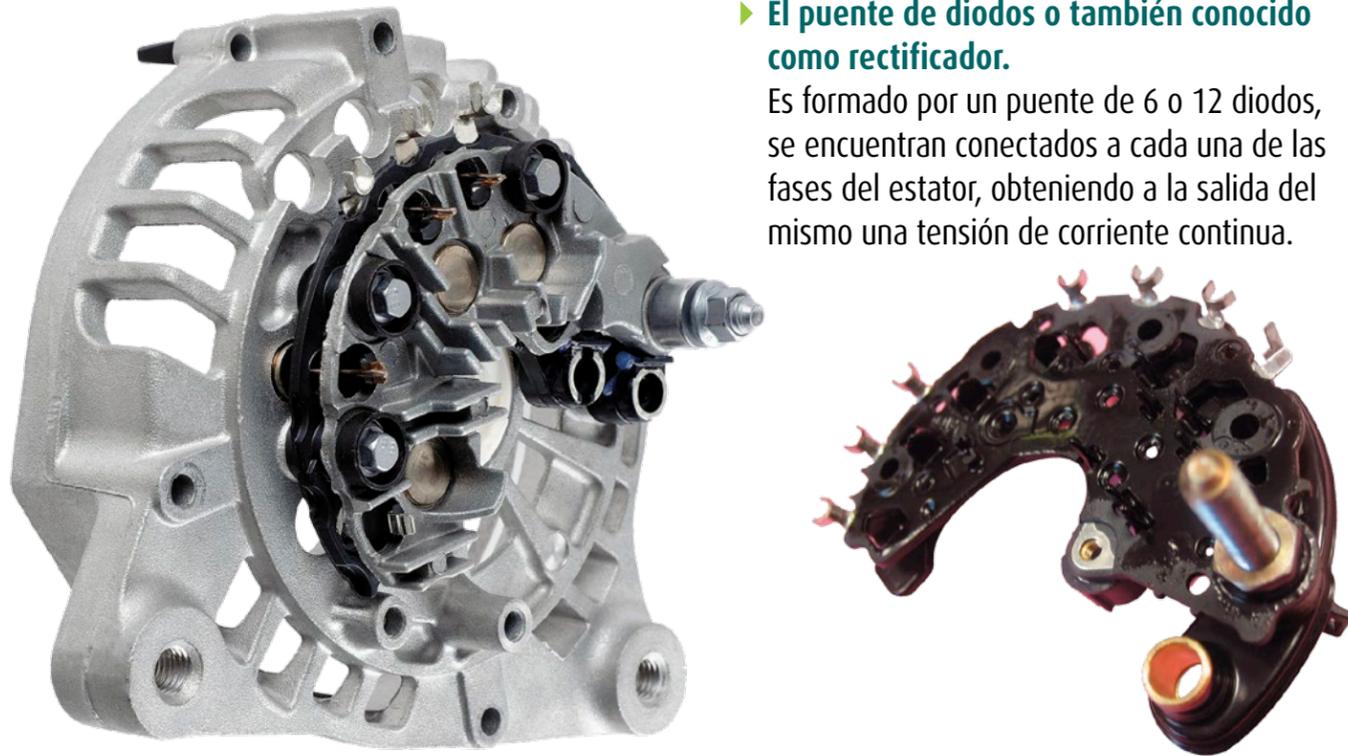
► COMPONENTES DEL ESTATOR



EL PUENTE DE DIODOS

► El puente de diodos o también conocido como rectificador.

Es formado por un puente de 6 o 12 diodos, se encuentran conectados a cada una de las fases del estator, obteniendo a la salida del mismo una tensión de corriente continua.



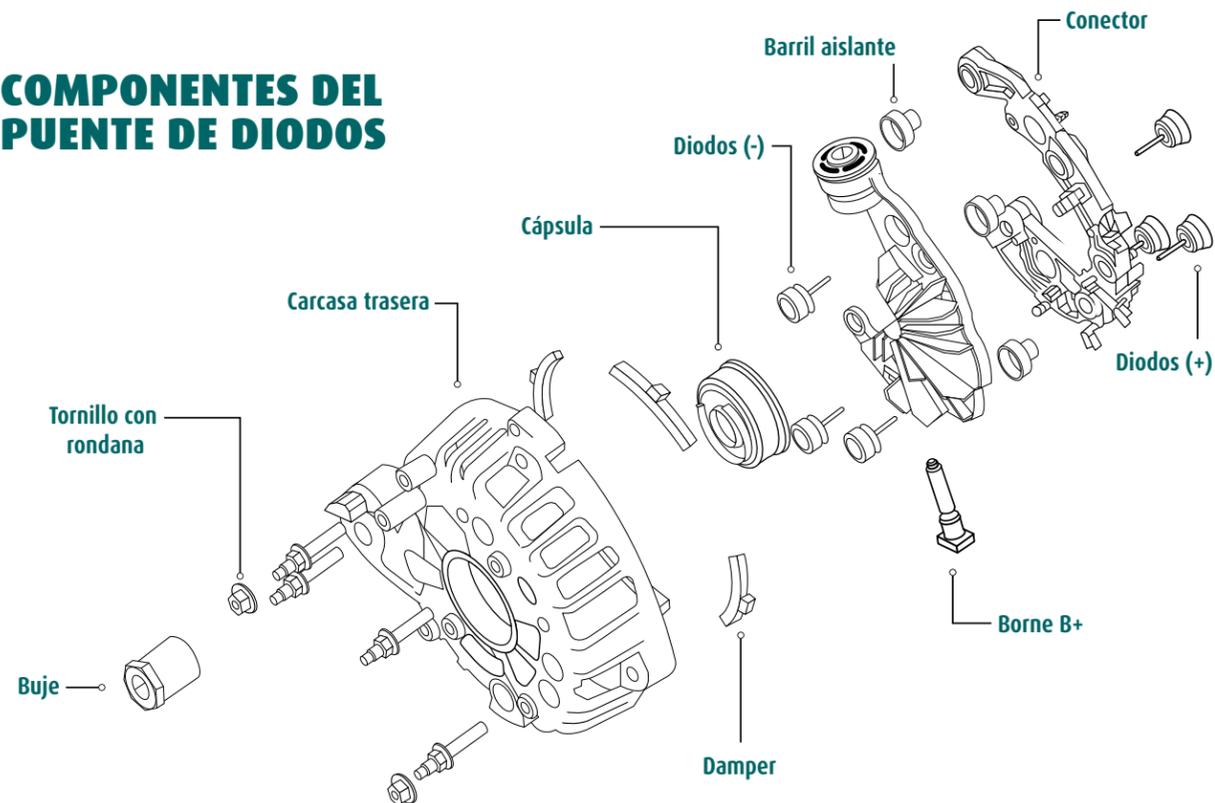
LA CARCASA DELANTERA

► La carcasa es una estructura de aluminio.

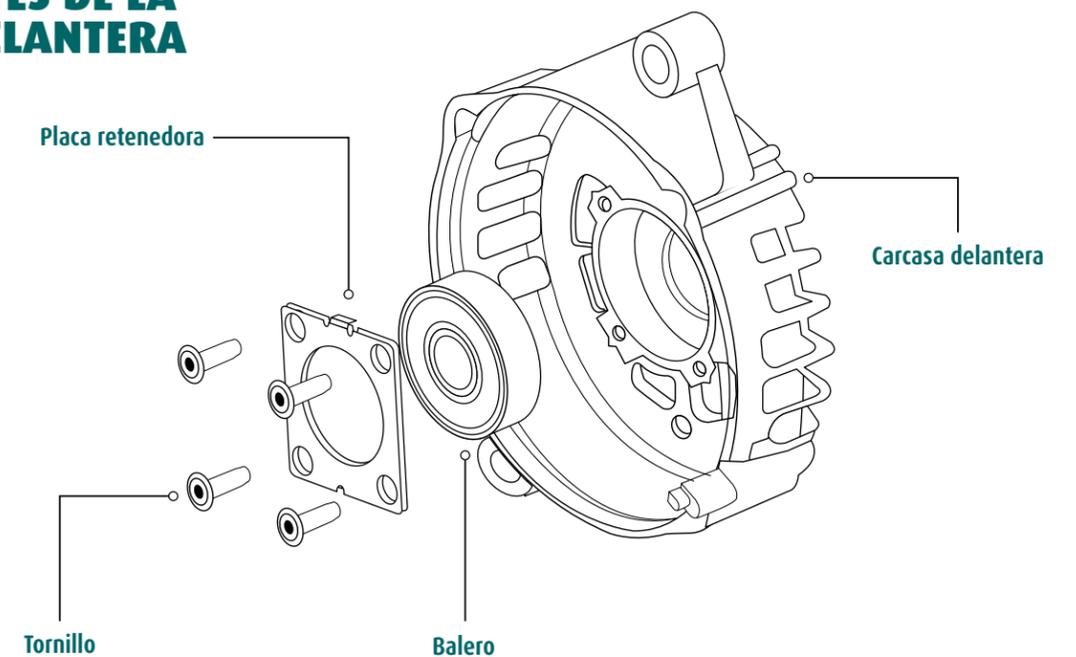
Lleva ranuras que permiten el paso de la corriente de aire. La carcasa delantera y el puente de diodos se unen por medio de tornillos, quedando en su interior alojados el estator y el rotor.



► COMPONENTES DEL PUENTE DE DIODOS



► COMPONENTES DE LA CARCASA DELANTERA



Anexo 4. Rodamientos

Rodamiento

Los rodamientos posibilitan que los alternadores alcancen elevadas rotaciones, hasta 20.000 rpm, con la menor fricción posible.

Son instalados en las extremidades del eje del rotor, inducido y tapas.



Características

- ▶ Doble aislamiento contra entrada de polvo
- ▶ Desarrollado específicamente para alternadores
- ▶ Desarrollado específicamente para alternadores

Beneficios

- ▶ Ajuste perfecto en el eje
- ▶ No daña los apoyos de las tapas
- ▶ Menos ruidos



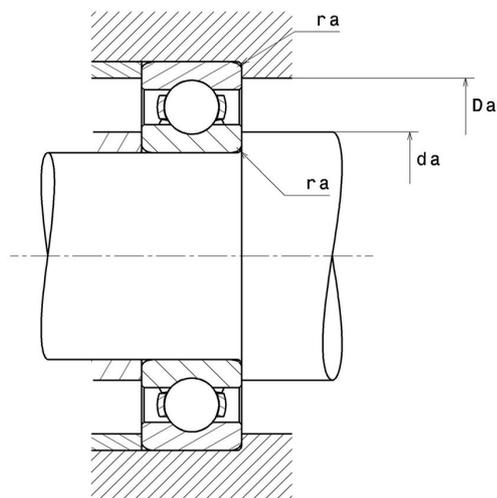
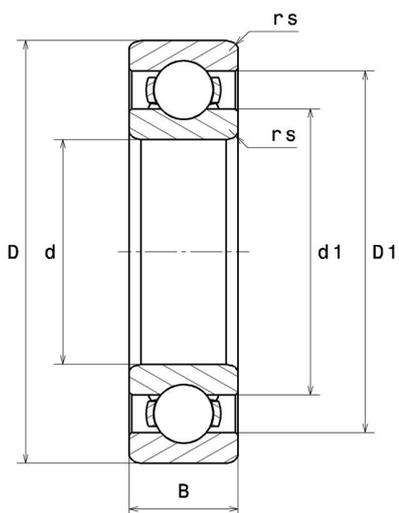
Características técnicas

6205

Rodamientos de bolas de 1 hilera

Rodamiento rígido de bolas, contacto radial, jaula de chapa, abierto

Visual



Características técnicas

d	25 mm
D	52 mm
B	15 mm
d1	33,8 mm
D1	44,2 mm
rs min	1 mm
Clase de Juego Radial	CN
Peso	0,13 kg
Marca	SNR

Prestaciones

Capacidad de carga dinámica C	13,8 kN
Capacidad de carga estática, C0	7,9 kN
Carga límite de fatiga, Cu	0,36 kN
f0	13,9
Nref	14 000 Tr/min
Nlim	22 000 Tr/min
Temperatura mínima, Tmin	-40 °C
Temperatura máxima, Tmax	120 °C
Frecuencia propia jaula, FTF	0,4 Hz
Frecuencia propia cuerpos rodantes, BSF	4,71 Hz
Frecuencia propia anillo exterior, BPFO	3,58 Hz
Frecuencia propia anillo interior, BPFI	5,42 Hz

Definición de ejes y apoyos

da min	30 mm
da max	33,8 mm
Da max	47 mm
ra max	1 mm

Coefficientes de cálculo

Carga radial dinámica equivalente

$$P = X.Fr + Y.Fa$$

$\frac{f_0 F_a}{C_0}$	e	Fa / Fr ≤ e		Fa / Fr > e	
		X	Y	X	Y
0.172	0.19	1	0	0.56	2.3
0.345	0.22				1.99
0.689	0.26				1.71
1.03	0.28				1.55
1.38	0.3				1.45
2.07	0.34				1.31
3.45	0.38				1.15
5.17	0.42				1.04
6.89	0.44				1

Equivalente carga radial estática

$$P_0 = X_0.Fr + Y_0.Fa$$

X ₀	Y ₀
0.6	0.5

En el caso de rodamiento individual o asociación DT :

Si $P_0 < Fr$, entonces considerar $P_0 = Fr$

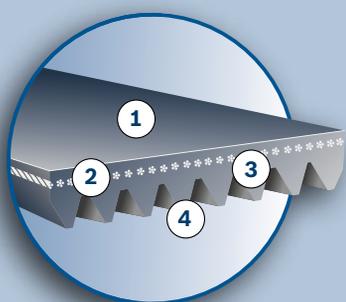
Anexo 5. Faja acanalada

Correa Micro “V” / Multi “V”



Gracias a un moderno desarrollo tecnológico, la introducción de las correas micro “V” posibilitó el empleo de una única correa para el accionamiento de los diversos dispositivos conectados al motor, como alternador, bomba de agua, aire acondicionado y dirección hidráulica.

Por tener un nuevo y exclusivo diseño de los dientes, ellas garantizan un encaje perfecto y continuo con los canales de la polea, además de posibilitar el perfecto accionamiento de los dispositivos en espacios limitados y bajo altas velocidades.



Características

Ventajas

① **Revestimiento especial**

Utiliza tela engomada que proporciona mayor resistencia al desgaste y superior rigidez transversal, posibilitando el perfecto funcionamiento de la correa sin riesgos de torsión.

② **Reja de tracción en poliéster**

Con el mismo principio de la correa V, los cordones de poliéster ofrecen buena estabilidad dimensional, resistencia térmica y flexibilidad.

③ **Composición especial de la goma**

Garantiza alta resistencia térmica y permite excelente flexibilidad de la correa.

④ **Perfil de los dientes**

Los Vs longitudinales posibilitan mayor área de contacto y excelente flexibilidad con menor producción de calor.

Anexo 6. Mecanismo amplificador

Esmeril Manual 6" Major



CARACTERÍSTICAS



Atributo	Detalle
Características	Para fijar a mesa. Fácil de trasladar gracias a su peso ligero.
Marca	Major
Material	Acero
Diámetro de disco	6" (152 mm)
Color	Verde - rojo
Uso	Ideal para afilar herramientas domésticas y de taller.
Garantía	1 año
Procedencia	China
Recomendaciones	Ubica los esmeriles en lugares especiales, bien iluminados y donde no haya tránsito constante de personas.
Tipo	Esmeril manual

<https://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/1229648/esmeril-manual-6->

Anexo 7. Toma de datos



Método de aforo



Canal Chililique



Toma de dimensiones



Toma de dimensiones



Medición de velocidad de flujo



Lectura de la velocidad de flujo

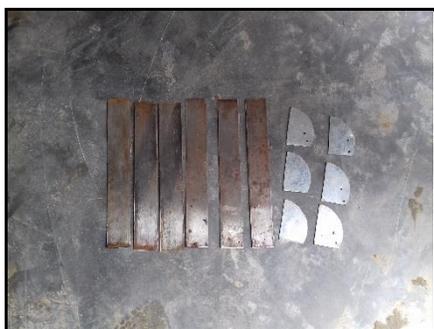
Anexo 8. Fabricación del prototipo



Soporte superior y eje



centrado del disco de sujeción en el eje



Soporte de álabes y regulador de ángulos



Rotor Darrieus H



Regulador de ángulos de ataque



Álabes de fibra de vidrio

Anexo 9. Elementos y mecanismos empleados



Rodamiento 6205



Polea del amplificador



Mecanismo amplificador de RPM



Faja 6PK870



Alternador



Especificaciones del alternador

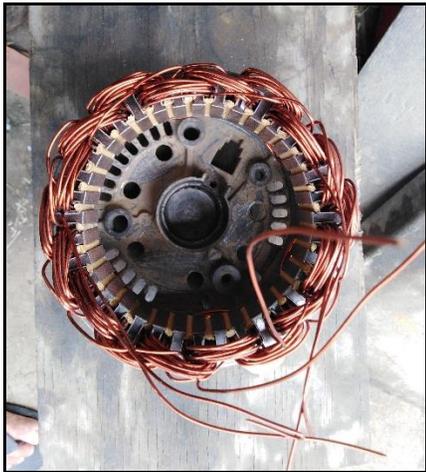
Anexo 10. Modificación del rotor y estator del alternador



Desarmado del alternador



Prueba del puente de diodos

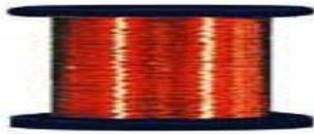


Cambio de calibre del estator



Rotor del alternador

Anexo 11. Especificaciones técnicas del conductor del
embobinado del estator



NORMAS DE FABRICACION

CLASE TERMICA H TIPO DE

: NEMA MW 30C

Temperatura de operación : 180°C

CLASE TERMICA 200° TIPO DE

: NEMA MW 73C

Temperatura de operación : 200°C

DESCRIPCION

Conductor de cobre sólido duro y sección circular. Esmalte a base de poliesterimida, en doble capa de esmalte.

USOS

En equipos eléctricos que deben de soportar altas sobrecargas térmicas o que tienen temperaturas de operación de hasta 200°C. Motores de tracción, aparatos electrodomésticos, transformadores en general, motores herméticos de refrigeración, uso automotriz, como alternadores, bobinas de campo y motores de arranque. En equipos sujetos a condiciones severas de humedad y alto grado de calor.

CARACTERISTICAS

Excelentes características eléctricas. Alta rigidez dieléctrica y bajas pérdidas a altas temperaturas. Resistente a solventes. Buenas características mecánicas. Tanto cobre como esmalte resisten al manipuleo. Buena adherencia entre cobre y esmalte. Resistente al calor y a la humedad.

EMBALAJE

Carretes de plástico.

CALIBRE

Doble capa 180°C : del 7 al 12 AWG.

Doble capa 180°C : del 27 al 41 AWG.

Doble capa 200°C : del 13 al 26 AWG.



TABLA DE DATOS TECNICOS

CALIBRE	DIAMETRO NOMINAL COBRE	INCREMENTO MINIMO DE ESMALTE				DIAMETRO TOTAL
		DE ESMALTE		MAXIMO		
		SE	DE	SE	DE	
AWG	mm	mm	mm	mm	mm	
41	0,071	0,005	0,013	0,084	0,091	
40	0,079	0,005	0,015	0,094	0,102	
39	0,089	0,005	0,015	0,104	0,114	
38	0,102	0,008	0,018	0,119	0,130	
37	0,114	0,008	0,020	0,132	0,145	
36	0,127	0,010	0,020	0,147	0,160	
35	0,142	0,010	0,023	0,163	0,178	
34	0,160	0,013	0,025	0,183	0,198	
33	0,180	0,013	0,028	0,206	0,224	
32	0,203	0,015	0,030	0,231	0,249	
31	0,226	0,015	0,033	0,254	0,274	
30	0,254	0,018	0,036	0,285	0,302	
29	0,287	0,018	0,038	0,320	0,338	
28	0,320	0,020	0,041	0,356	0,373	
27	0,361	0,020	0,041	0,396	0,417	
26	0,404	0,023	0,043	0,440	0,462	
25	0,455	0,023	0,046	0,493	0,516	
24	0,511	0,025	0,048	0,551	0,577	
23	0,574	0,025	0,051	0,617	0,643	
22	0,643	0,028	0,053	0,686	0,714	
21	0,724	0,028	0,056	0,770	0,798	
20	0,813	0,031	0,058	0,861	0,892	
19	0,912	0,031	0,064	0,963	0,993	
18	1,02	0,033	0,066	1,077	1,110	
17	1,15	0,036	0,071	1,207	1,240	
16	1,29	0,036	0,074	1,349	1,384	
15	1,45	0,038	0,076	1,509	1,547	
14	1,63	0,041	0,081	1,692	1,732	
13	1,83	-	0,071	-	1,923	
12	2,05	-	0,074	-	2,151	
11	2,30	-	0,076	-	2,408	
10	2,59	-	0,079	-	2,690	
9	2,91	-	0,081	-	3,020	
8	3,26	-	0,084	-	3,380	
7	3,67	-	0,086	-	3,790	

CALIBRE	DIAMETRO NOMINAL COBRE	SECCION NOMINAL	PESO TOTAL	
			SE	DE
			Kg/Km	Kg/Km
AWG	mm	mm²		
41	0,071	0,0040	0,036	0,037
40	0,079	0,0050	0,046	0,048
39	0,089	0,0064	0,058	0,060
38	0,102	0,0082	0,073	0,076
37	0,114	0,010	0,092	0,095
36	0,127	0,013	0,116	0,119
35	0,142	0,016	0,147	0,151
34	0,16	0,020	0,184	0,188
33	0,18	0,025	0,232	0,236
32	0,203	0,032	0,293	0,300
31	0,226	0,040	0,368	0,376
30	0,254	0,051	0,463	0,472
29	0,287	0,065	0,583	0,592
28	0,32	0,080	0,736	0,747
27	0,361	0,102	0,926	0,939
26	0,404	0,129	1,163	1,181
25	0,455	0,163	1,466	1,485
24	0,511	0,204	1,853	1,879
23	0,574	0,255	2,337	2,367
22	0,643	0,322	2,932	2,965
21	0,724	0,407	3,713	3,753
20	0,813	0,515	4,666	4,715
19	0,912	0,650	5,877	5,929
18	1,02	0,82	7,412	7,473
17	1,15	1,04	9,342	9,411
16	1,29	1,31	11,717	11,801
15	1,45	1,65	14,872	14,978
14	1,63	2,09	18,66	18,787
13	1,83	2,63	-	23,363
12	2,05	3,3	-	29,948
11	2,3	4,15	-	36,564
10	2,59	5,26	-	47,54
9	2,91	6,63	-	60,47
8	3,26	8,37	-	76,29
7	3,67	10,55	-	95,88

Anexo 12. Tabla de especificaciones del Imán



IMANES DE NEODIMIO

Neodymium Magnets	Grado	Nomenclatura	Remanencia		Fuerza Coercitividad		Coercitividad Intrínseca		Energía Máxima Producto		Temperatura de Trabajo
			Br		bHc		Fuerza Ihc		(BH) max		
			Br max (T)	Br min (T)	HcB min (kA/m)	HcB max (kA/m)	HcJ min (kA/m)	HcJ max (kA/m)	BHmax min (kJ/m³)	BHmax max (kJ/m³)	
NdFeB N33 anisotropic	N33	NdFeB 247/96	1,14	1,17	820	876	955	-	247	263	80
NdFeB N35 anisotropic	N35	NdFeB 263/96	1,17	1,20	860	900	955	-	263	279	80
NdFeB N38 anisotropic	N38	NdFeB 287/96	1,22	1,26	900	915	955	-	287	303	80
NdFeB N40 anisotropic	N40	NdFeB 303/96	1,26	1,29	908	924	955	-	303	318	80
NdFeB N42 anisotropic	N42	NdFeB 318/96	1,29	1,31	915	939	955	-	318	334	80
NdFeB N45 anisotropic	N45	NdFeB 342/96	1,33	1,36	924	955	955	-	342	358	80
NdFeB N48 anisotropic	N48	NdFeB 367/88	1,38	1,40	810	860	875	-	367	383	80
NdFeB N50 anisotropic	N50	NdFeB 383/88	1,40	1,43	794	860	875	-	383	398	80
NdFeB N52 anisotropic	N52	NdFeB 398/88	1,42	1,45	794	860	875	-	398	414	80
NdFeB N35M anisotropic	N35M	NdFeB 263/111	1,17	1,20	868	900	1114	-	263	279	100
NdFeB N38M anisotropic	N38M	NdFeB 287/111	1,22	1,26	900	939	1114	-	287	303	100
NdFeB N40M anisotropic	N40M	NdFeB 303/111	1,26	1,29	924	955	1114	-	303	318	100
NdFeB N42M anisotropic	N42M	NdFeB 318/111	1,29	1,32	955	987	1114	-	318	334	100
NdFeB N45M anisotropic	N45M	NdFeB 342/111	1,33	1,35	971	1003	1114	-	342	358	100
NdFeB N30H anisotropic	N30H	NdFeB 223/135	1,08	1,12	794	836	1353	-	223	239	120
NdFeB N33H anisotropic	N33H	NdFeB 247/135	1,14	1,17	836	876	1353	-	247	263	120
NdFeB N35H anisotropic	N35H	NdFeB 263/135	1,17	1,20	868	900	1353	-	263	279	120
NdFeB N38H anisotropic	N38H	NdFeB 287/135	1,22	1,26	900	939	1353	-	287	303	120
NdFeB N40H anisotropic	N40H	NdFeB 303/135	1,26	1,28	924	955	1353	-	303	318	120
NdFeB N42H anisotropic	N42H	NdFeB 318/135	1,28	1,30	955	987	1353	-	318	334	120
NdFeB N33SH anisotropic	N33SH	NdFeB 247/160	1,14	1,17	844	876	1595	-	247	263	150
NdFeB N35SH anisotropic	N35SH	NdFeB 263/160	1,17	1,20	876	900	1595	-	263	279	150
NdFeB N38SH anisotropic	N38SH	NdFeB 287/160	1,22	1,25	908	939	1595	-	287	303	150
NdFeB N40SH anisotropic	N40SH	NdFeB 303/160	1,25	1,27	939	963	1595	-	303	318	150
NdFeB N42SH anisotropic	N42SH	NdFeB 318/160	1,28	1,30	955	987	1595	-	318	334	150
NdFeB N33UH anisotropic	N33UH	NdFeB 247/199	1,13	1,15	844	876	1990	-	247	263	180
NdFeB N35UH anisotropic	N35UH	NdFeB 263/199	1,17	1,19	876	900	1990	-	263	279	180
NdFeB N38UH anisotropic	N38UH	NdFeB 287/199	1,22	1,25	908	939	1990	-	287	303	180
NdFeB N28EH anisotropic	N28EH	NdFeB 207/239	1,04	1,08	780	811	2388	-	207	223	200
NdFeB N30EH anisotropic	N30EH	NdFeB 223/239	1,08	1,12	804	844	2388	-	223	239	200
NdFeB N33EH anisotropic	N33EH	NdFeB 247/239	1,13	1,15	844	876	2388	-	247	263	200
NdFeB N30AH anisotropic	N30AH	NdFeB 223/263	1,08	1,12	804	844	2626	-	223	239	220
NdFeB N33AH anisotropic	N33AH	NdFeB 247/263	1,13	1,15	844	876	2626	-	247	263	220
NdFeB N34AH anisotropic	N34AH	NdFeB 247/255	1,10	1,16	836	900	2547	-	247	271	220
NdFeB N35AH anisotropic	N35AH	NdFeB 263/263	1,17	1,19	876	915	2626	-	263	279	220

Fuente: <https://www.imamagnets.com/>

Anexo 13. Montaje del prototipo



Ensamble del rotor



Rotor de la turbina



Estructura fija superior



Fijación de la estructura inferior



Nivelación del prototipo



Nivelación del rotor



Vista frontal del prototipo



Montaje del alternador



Vista frontal del prototipo



Vista superior del prototipo

Anexo 14. Pruebas



Velocidad de giro



Medición eléctrica



Variación del ángulo de ataque



Voltaje

Anexo 15. Instrumentos utilizados



Correntómetro Digital Global Water FP111 del laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Jaén

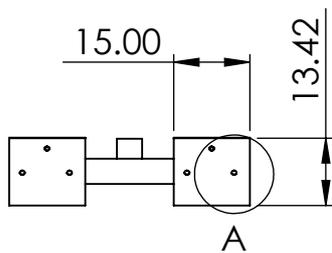
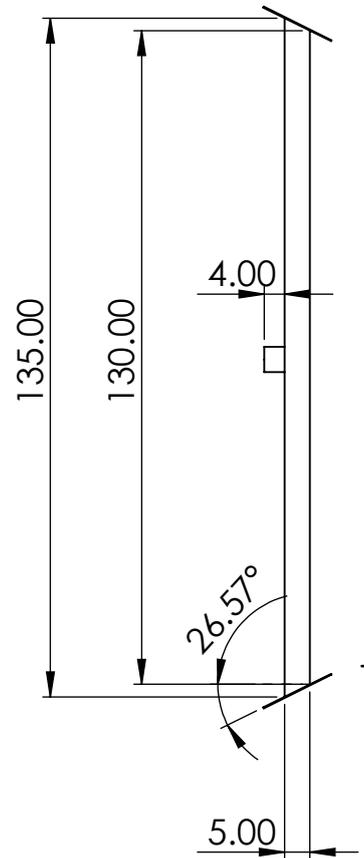
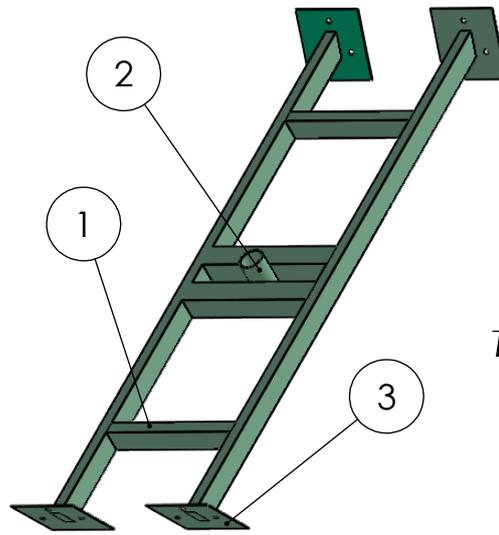
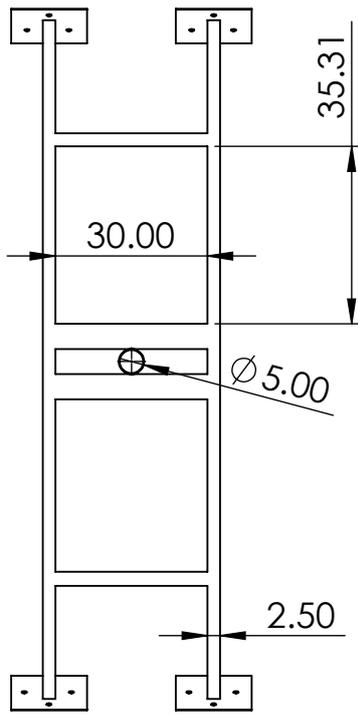


Tacómetro digital SCHWYZ

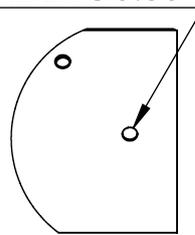


Amperímetro

Anexo 16. Planos



R VERDADERO 0.50



DETALLE A
ESCALA 1 : 5

N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Tubo rectangular 5*2.5*0.1cm	6
2	Tubo circular ϕ 5*9*0.2 cm	1
3	Plancha de acero laminado 15*13.42*0.2 cm	4

EJECUTORES

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE JAÉN



FACULTAD
INGENIERÍA
MECÁNICA Y
ELÉCTRICA



TESIS

BACH. EDIN TANTALEAN

BACH. SAMUEL SANTOS

ASESOR:
ING. LENIN NÚÑEZ

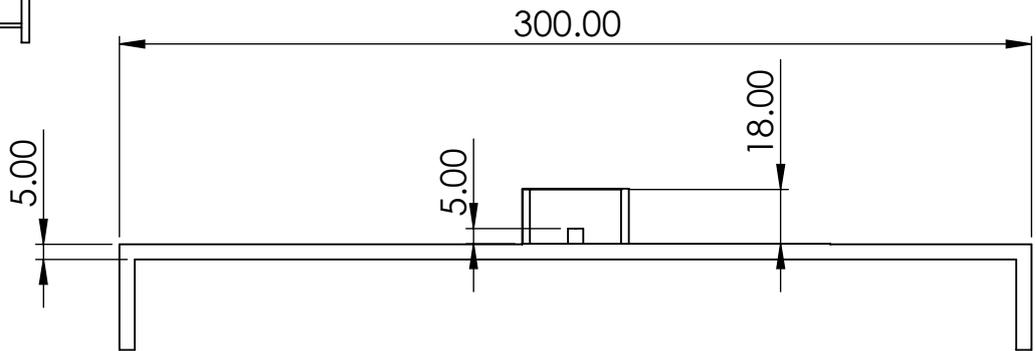
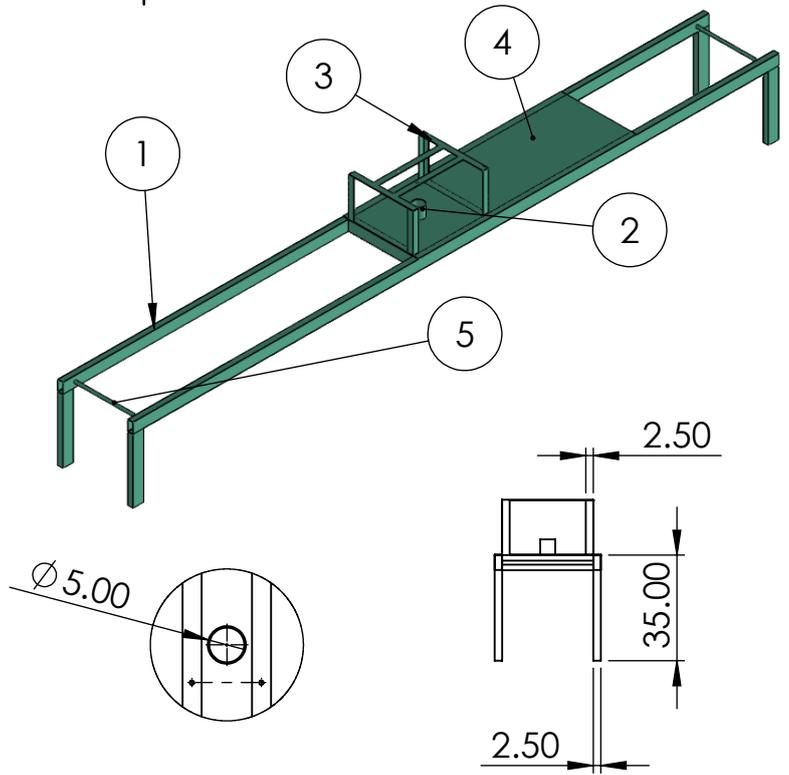
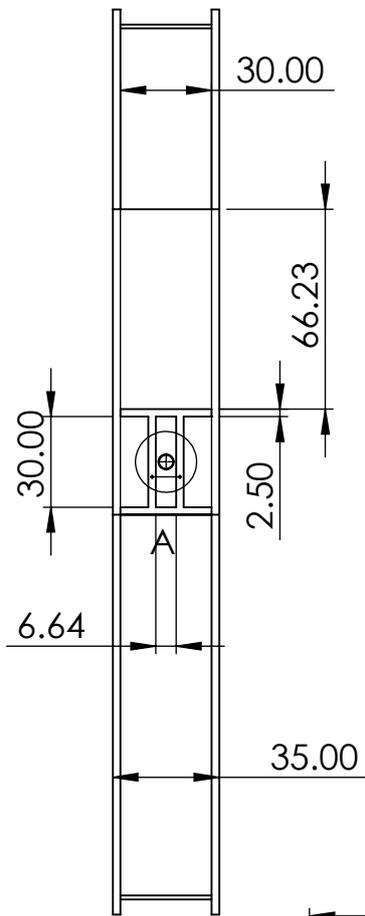
EFICACIA DEL ÁNGULO DE ATAQUE DE ÁLABES, EN LA POTENCIA DE UN GENERADOR ELÉCTRICO FLUVIAL IMPLEMENTADO A PEQUEÑA ESCALA

FECHA:
AGOSTO 2019

SOPORTE INFERIOR

ESCALA: 1:1

UNIDADES: cm



N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Tubo rectangular 5*2.5*0.1 cm	6
2	Tubo circular ϕ 5*8*0.2 cm	1
3	Platina 2.5*2.5*0.1 cm	8
4	Plancha de acero laminado 66.23*35*0.1 cm	1
5	Tubo circular ϕ 2.5*30 cm	2

EJECUTORES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN



FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



TESIS

BACH. EDIN TANTALEAN

BACH. SAMUEL SANTOS

ASESOR:
ING. LENIN NÚÑEZ

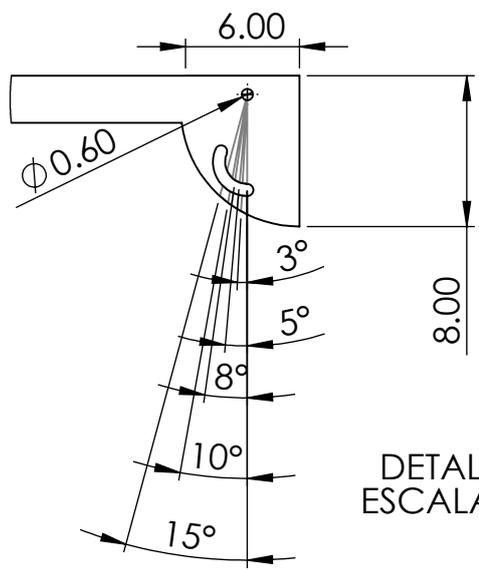
EFICACIA DEL ÁNGULO DE ATAQUE DE ÁLABES, EN LA POTENCIA DE UN GENERADOR ELÉCTRICO FLUVIAL IMPLEMENTADO A PEQUEÑA ESCALA

FECHA:
AGOSTO 2019

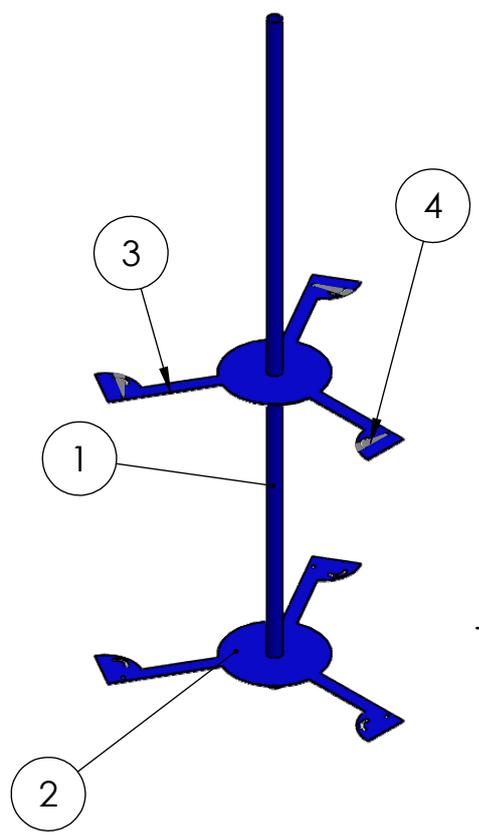
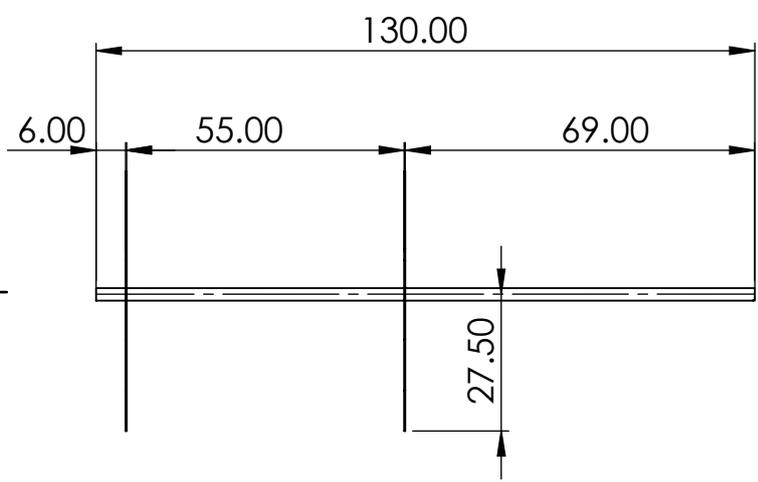
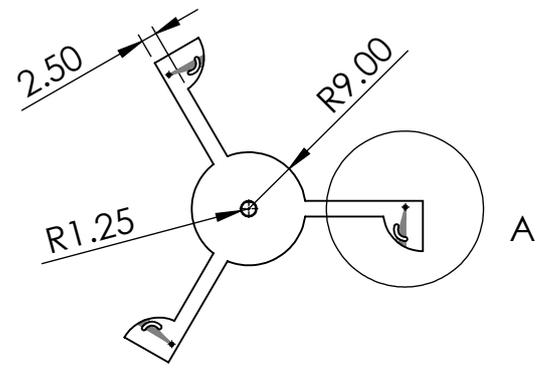
SOPORTE SUPERIOR

ESCALA: 1:1

UNIDADES: cm

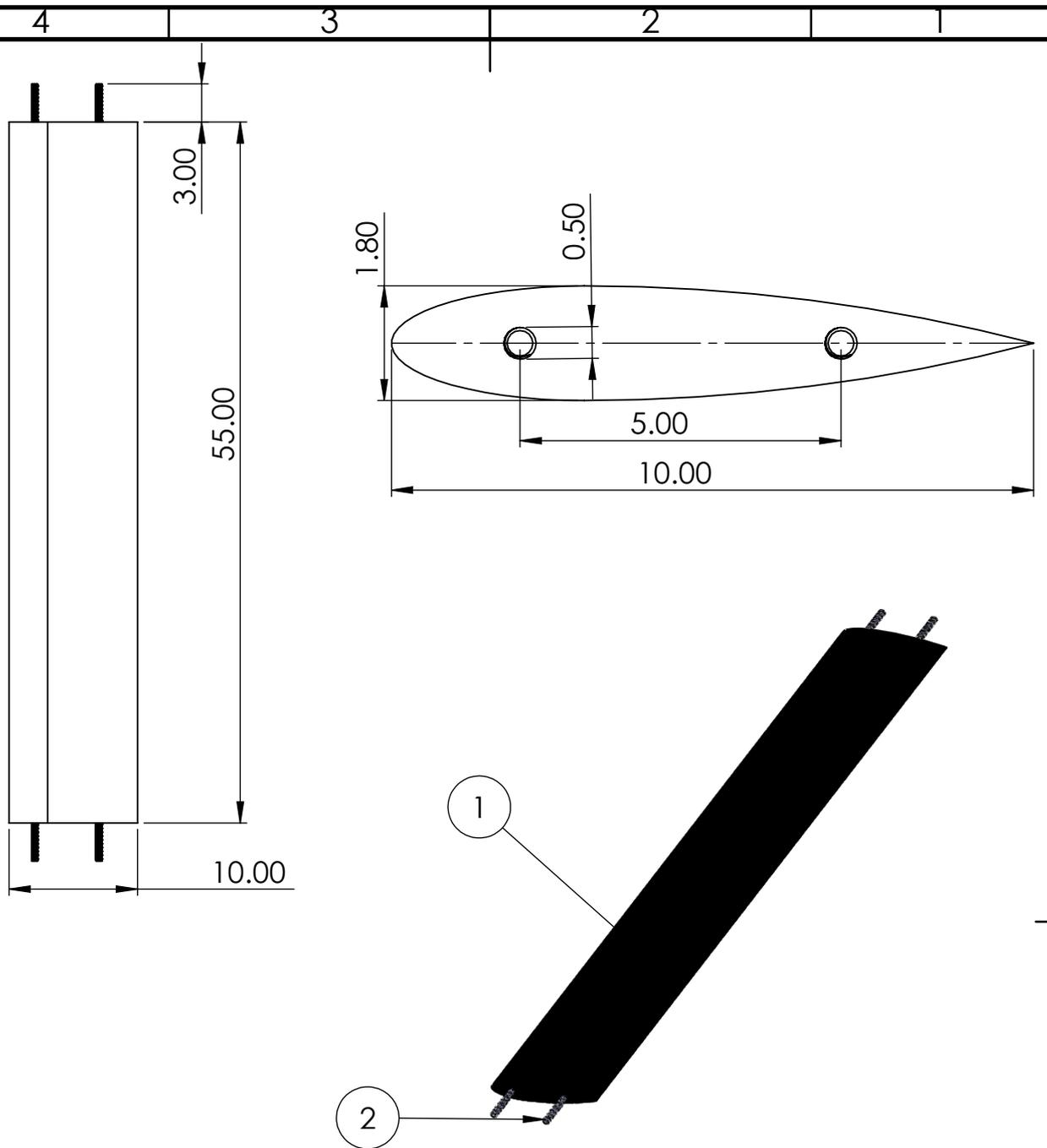


DETALLE A
ESCALA 1 : 4



N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Eje ϕ 2.5*130*0.1 cm	1
2	Disco de Sujeción ϕ 18*0.2 cm	2
3	Brazo de soporte de álabe 27.5*2.5*0.2 cm	6
4	Regulador de ángulos de ataque 8*6*0.2 cm	3

EJECUTORES	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN	FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN	TESIS
BACH. EDIN TANTALEAN	EFICACIA DEL ÁNGULO DE ATAQUE DE ÁLABES, EN LA POTENCIA DE UN GENERADOR ELÉCTRICO FLUVIAL IMPLEMENTADO A PEQUEÑA ESCALA			
BACH. SAMUEL SANTOS				
ASESOR: ING. LENIN NÚÑEZ				
FECHA: AGOSTO 2019	EJE DARRIEUS			
		ESCALA: 1:1	UNIDADES: cm	



N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Álabe 55*10*1.8 cm	1
2	Perno $\varnothing 0.5*3$ cm	4

EJECUTORES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN



FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



TESIS

BACH. EDIN TANTALEAN

BACH. SAMUEL SANTOS

ASESOR:
ING. LENIN NÚÑEZ

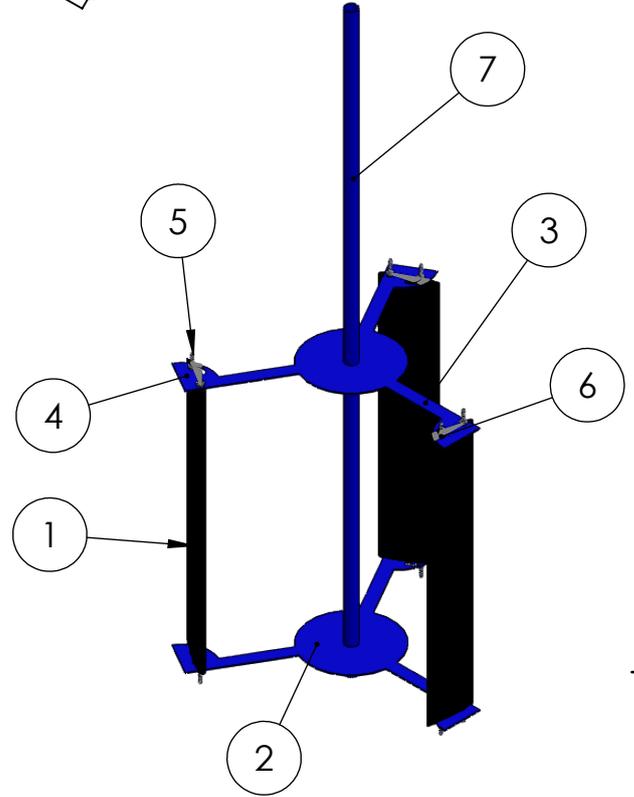
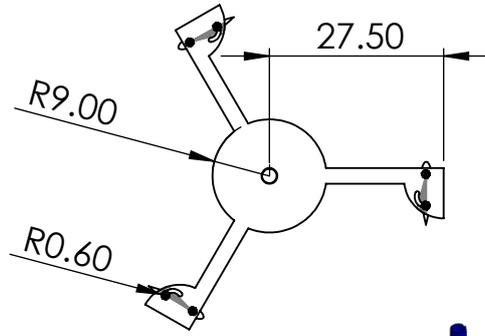
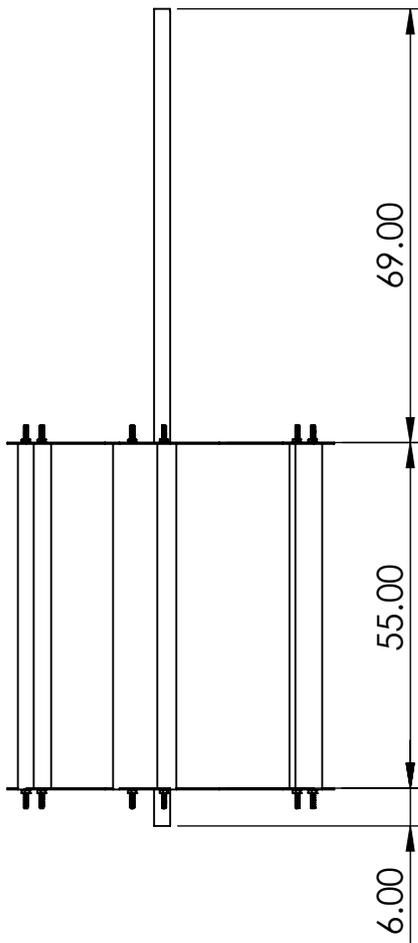
EFICACIA DEL ÁNGULO DE ATAQUE DE ÁLABES, EN LA POTENCIA DE UN GENERADOR ELÉCTRICO FLUVIAL IMPLEMENTADO A PEQUEÑA ESCALA

FECHA:
AGOSTO 2019

PERFIL NACA 0018

ESCALA:1:1

UNIDADES: cm



N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Álabe 55*10*1.8 cm	3
2	Disco de sujeción ϕ 18*0.2 cm	2
3	Brazo de soporte de álabe 27.5*2.5*0.2 cm	6
4	Regulador de ángulos de ataque 8*6*0.2 cm	3
5	Perno ϕ 0.5*3 cm	12
6	Tuerca ϕ 0.5*0.6 cm	12
7	Eje ϕ 5*130*0.1 cm	1

EJECUTORES

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE JAÉN



FACULTAD
INGENIERÍA
MECÁNICA Y
ELÉCTRICA



TESIS

BACH. EDIN TANTALEAN

BACH. SAMUEL SANTOS

ASESOR:
ING. LENIN NÚÑEZ

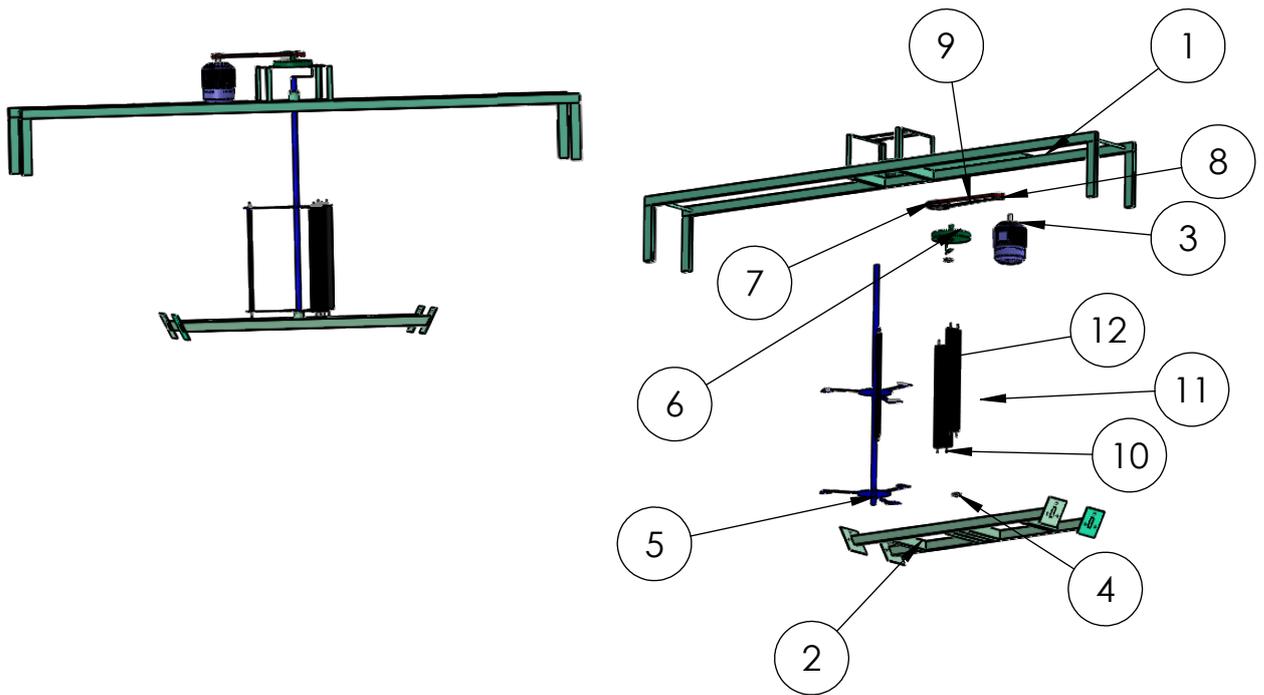
EFICACIA DEL ÁNGULO DE ATAQUE DE ÁLABES, EN LA POTENCIA DE UN GENERADOR ELÉCTRICO FLUVIAL IMPLEMENTADO A PEQUEÑA ESCALA

FECHA:
AGOSTO 2019

ROTOR DARRIEUS

ESCALA: 1:1

UNIDADES: cm



N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Soporte superior	1
2	Soporte inferior	1
3	Generador sincro (Alternador)	1
4	Rodamiento 6205	2
5	Eje Darrieus	1
6	Amplificador de RPM	1
7	Polea ϕ 12.5*2.5 cm	1
8	Polea ϕ 6.5*2.5 cm	1
9	Faja de transmisión RIB-ACE 6PK870	1
10	Perno ϕ 0.5*3 cm	12
11	Tuerca ϕ 0.5*0.6 cm	12
12	Álabe	3

EJECUTORES	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN 	FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA 	TESIS
------------	---	---	-------

BACH. EDIN TANTALEAN	EFICACIA DEL ÁNGULO DE ATAQUE DE ÁLABES, EN LA POTENCIA DE UN GENERADOR ELÉCTRICO FLUVIAL IMPLEMENTADO A PEQUEÑA ESCALA
BACH. SAMUEL SANTOS	
ASESOR: ING. LENIN NÚÑEZ	
FECHA: AGOSTO 2019	TURBINA DARRIEUS ESCALA: 1:1 UNIDADES: cm