UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA.

PROPUESTA TECNOLÓGICA

"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AEROGENERADOR DE BAMBÚ".

Propuesta tecnológica presentada previo a la obtención del Título de

INGENIEROS EN ELECTROMECÁNICA

Autores:

Zapata Tapia Douglas Paúl.

Zapata Tapia Evelyn Yessenia.

Tutor:

Msc. Ing. Cristian Fabián Gallardo Molina.

LATACUNGA – ECUADOR

MARZO 2021

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

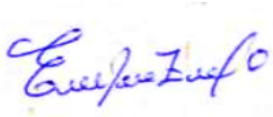
Nosotros, Zapata Tapia Douglas Paúl y Zapata Tapia Evelyn Yessenia, declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AEROGENERADOR DE BAMBÚ"**, siendo el MSc. Ing. Cristian Fabián Gallardo Molina tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

…….

Zapata Tapia Douglas Paúl

C.I. 050423573-0



……

Zapata Tapia Evelyn Yessenia

C.I. 055047199-9

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

"**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AEROGENERADOR DE BAMBÚ"**, de los señores Zapata Tapia Douglas Paúl y Zapata Tapia Evelyn Yessenia, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, marzo, 2021

El Tutor:

Ing. Fabián Gallardo Molina MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA); por cuanto, los postulantes: Zapata Tapia Douglas Paúl y Zapata Tapia Evelyn Yessenia con el título de Proyecto de titulación: "**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AEROGENERADOR DE BAMBÚ"** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Marzo, 2021

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

MSc. Ing. Luis Rolando Cruz Panchi

C.C. 050259517-6

Lector 2

PhD**.** Ing. Enrique Torres Tamayo

C.C. 175712194-0

Lector 3

PhD. Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso

C.C. 175836725-2

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi agradecimiento en primer lugar a Dios y a la virgen santísima del Cisne, por brindarme la salud y la vida para poder culminar con éxito esta etapa estudiantil.

A mis padres y hermanos quienes han sido el pilar fundamental y el apoyo que necesite en esta trayectoria universitaria, principalmente a mi hermana Evelyn Zapata que fue mi compañera de carrera y hoy compañera de tesis, ella ha sido esa persona que estuvo conmigo en cada triunfo, en cada adversidad que se me presentó en el trayecto de mi formación profesional.

A mi distinguida alma mater UTC, a mi querida carrera Ingeniería Electromecánica, a los docentes que conforman esta gran familia, por sus conocimientos impartidos en cada clase durante la trayectoria de formación académica.

A mi tutor de tesis Ing. Cristian Gallardo por poner a disposición su tiempo, su experiencia y sus conocimientos, para poder desarrollar de manera correcta este trabajo de titulación.

Paúl.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la virgencita del Cisne por la salud y las bendiciones que han derramado sobre mí.

A mi querida Universidad, a mi amada carrera de Ingeniería Electromecánica que me permitió conocer a grandes amigos con quienes compartí experiencias y momentos gratos.

A todos los distinguidos docentes de la familia Electromecánica por las enseñanzas y conocimientos impartidos, en especial a mi tutor Ing. Cristian Gallardo por ser nuestro guía durante el proceso del desarrollo de tesis.

A mis padres y hermanos que son un ejemplo de superación, por ser un pilar fundamental en mi vida, por inculcarme buenos valores y enseñarme a luchar para alcanzar mis sueños y metas.

A mi familia materna por el apoyo incondicional, por siempre estar presentes en cada paso que doy y por hacer de mis logros los suyos

Evelyn.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a Dios todo poderoso y a la virgen santísima del Cisne, por la sabiduría entregada para poder llegar hasta estas instancias de mi formación profesional.

A mis abuelitos Alonso Zapata y Medardo Tapia, que los recuerdo con cariño, cuando estuvieron conmigo me inculcaron principios y valores que me sirvieron para formarme como persona, ahora desde el cielo me cuidan y me envían su bendición, a mis abuelitas Eloísa Gallo y Susana Molina, por cada consejo de vida que me comparten día con día.

A mis padres Galo Zapata y Betty Tapia, y a mis hermanos, por el total apoyo brindado durante toda mi trayectoria como estudiante, por cada palabra de aliento, por cada consejo que me dieron para ser un buen estudiante, un buen hijo y sobre todo una buena persona.

A toda mi familia en general, en especial a mis tías maternas, por estar pendientes de mi desde cuando era niño, por cada mensaje de motivación, y a la vez regaño cuando era necesario para formar en mí una persona de bien, con metas y propósitos en la vida.

Paúl

DEDICATORIA

Dedicada a Dios, a la virgencita del Cisne y al Niño Doctor Gregorio por darme la sabiduría y la fortaleza que necesitaba para culminar con este proyecto y así permitirme llegar a cristalizar mi sueño.

Con amor dedico este triunfo a mis padres Galo y Betty por el apoyo brindado en mis estudios, por alentarme a seguir adelante a pesar de las adversidades o circunstancias, en especial a mi madre a esa mujer ejemplar y luchadora que se merece todo, por compartir conmigo mis alegrías y derrotas.

A mi hija Aliss por ser la razón que me levante día a día a esforzarme por el presente y por el mañana, por ser mi inspiración para ser una mejor persona y a la vez una mejor madre y por darme la fuerza necesaria para nunca rendirme.

A mi esposo que siempre estuvo para mí en toda mi trayectoria académica, estudiando conmigo de ser necesario para poder guiarme y ayudarme, hoy que he culminado con todo el proceso de mi formación profesional quiero dedicarle esta tesis y expresar mi deseo de compartir este y muchos logros más juntos.

Evelyn.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN iv
AGRADECIMIENTO v
AGRADECIMIENTO vi
DEDICATORIA vii
DEDICATORIA viii
RESUMEN xv
ABSTRACT xvi
AVAL DE TRADUCCIÓN xvii
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTAS TECNOLÓGICA 1
2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA 1
2.2. TIPO DE ALCANCE 2
2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO. 2
2.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA. 2
2.5. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN 3
2.5.1. Objeto de estudio 3
2.5.2. Campo de acción 3
2.6. SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA 3
2.6.1. Situación problémica 3
2.6.2. Problema 3
2.7. HIPÓTESIS 4
2.8. OBJETIVOS 4
2.8.1. Objetivo general 4
2.8.2. Objetivos específicos 4
2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS. 4
2.10. Matriz de operacionalización de variables 6
3. MARCO TEÓRICO 7
3.1. Trabajos Precedentes 7
3.1.1. Creaciones con la planta de bambú en Ecuador 7
3.1.2. Creaciones de generadores eólicos 8
3.2. Energías renovables 8

3.2.1. Tipos de energías renovables 8
3.3. Eficiencia energética en Ecuador. 9
3.4. Recurso Eólico. 9
3.4.1. Esquema de vientos generales 9
3.4.2. Circulaciones del viento a escala regional y local. 10
3.4.3. Velocidad del viento. 11
3.4.4. Dirección del viento 11
3.5. Energía eólica. 12
3.5.1. Historia y evolución de la energía eólica. 12
3.5.2. Descripción de la energía eólica. 12
3.5.3. Ventajas de la energía eólica. 13
3.5.4. Inconvenientes de la energía eólica. 14
3.6. Generadores eólicos. 14
3.6.1. Componentes básicos de un aerogenerador. 14
3.6.2. Modelo dinámico del aerogenerador 15
3.6.3. Tipos de aerogeneradores 16
3.7. Potencia y rendimiento de aerogeneración 18
3.8. Bambú 19
3.8.1. Descripción 19
3.8.2. Especies de Bambú en el Ecuador 19
3.8.3. Características del bambú 20
3.8.4. Propiedades del Bambú 21
3.9. Elementos para la transformación de la energía eólica 22
3.9.1. Generador eléctrico 22
3.9.2. Poleas 23
3.9.3. Banda 23
3.10. Softwares Computacionales 23
3.10.1. WRPLOT View 23
3.10.2. Software CAD SolidWorks 23
4. Metodología 24
4.1. Procesos de diseño 24
4.1.1. Definición de requisitos 24
4.2. Localización del lugar de instalación del sistema de aerogeneración 24
4.2.1. Determinación de los recursos eólicos locales 25
4.2.2. Medición de la velocidad y dirección del viento 25

4.3. Diseño conceptual 25
4.4. Dimensionamiento del Aerogenerador 25
4.5. Selección de componentes 27
4.5.1. Sistema mecánico 27
4.5.2. Sistema eléctrico 35
4.6. Estimación Teórica 35
4.6.1. Potencia disponible 35
4.6.2. Coeficiente de potencia 35
5.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 36
5.1. Localización del lugar de instalación del sistema de aerogeneración 36
5.1.1. Determinación de los recursos eólicos locales 36
5.1.2. Medición de la velocidad del viento 38
5.2. Diseño conceptual 38
5.3. Dimensionamiento del aerogenerador 39
5.4. Selección de componentes 39
5.4.1. Sistema mecánico 39
5.4.2. Sistema eléctrico 52
5.5. Estimación Teórica 52
5.5.1. Interpretación de la curva de potencia teórica 54
5.5.2. Interpretación de la Potencia disponible 54
5.5.3. Coeficiente de Potencia 55
6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS 55
6.1. Presupuesto para la implementación del aerogenerador de bambú 55
6.2. Análisis de impactos 56
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 57
7.1. CONCLUSIONES 57
7.2. RECOMENDACIONES 57
8. REFERENCIAS 58
9. ANEXOS 60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Descripción de actividades y tareas. 4
Tabla 2.2. Matriz de operacionalización de variables 6
Tabla 3.1. Esquema de los vientos. 9
Tabla 3.2. Propiedades de diseño de diversos materiales 21
Tabla 3.3. Resistencias obtenidas de pequeñas probetas 21
Tabla 4.1. Valores del exponente de Hellman en función de la rugosidad del terreno 26
Tabla 4.2. Valores de Kt en función al diseño del material 30
Tabla 4.3. Factores de confiabilidad aproximados 32
Tabla 4.4. Rangos de tamaño aproximados 32
Tabla 5.1. Cálculos generales del viento 39
Tabla 5.2. Características técnicas del aerogenerador Bóreas 40
Tabla 5.3. Valores de fuerza y coeficiente de sustentación 42
Tabla 5.4. Parámetros generales aplicados en las hélices 43
Tabla 5.5. Valores de las velocidades de giro 43
Tabla 5.6. Valores de momentos flectores 45
Tabla 5.7. Valores de fuerzas 45
Tabla 5.8. Parámetros del bambú para el análisis de esfuerzos 46
Tabla 5.9. Cuadro de resumen del análisis 47
Tabla 5.10. Propiedades del acero 49
Tabla 5.11. Parámetros para el cálculo del diámetro del árbol 50
Tabla 5.12. Parámetros del sistema de transmisión 50
Tabla 5.13. Dimensiones de la torre 51
Tabla 5.14. Tipos de pérdidas 52
Tabla 5.15. Tipos de pérdidas existentes en generadores eólicos 52
Tabla 5.16. Datos teóricos de potencia de entrada y salida 53
Tabla 6.1. Presupuesto total de la propuesta tenológica. 56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Anemómetro. 11
Figura 3.2. Veleta. 12
Figura 3.3. Partes del aerogenerador. 15
Figura 3.4. Aerogenerador Savonius 16
Figura 3.5. Aerogenerador Darrieus 17
Figura 3.6. Aerogenerador Giromill 17
Figura 3.7. Aeroturbina lenta 18
Figura 3.8. Aeroturbina Rápida 18
Figura 3.9. Planta de bambú 19
Figura 3.10. Partes del bambú 22
Figura 4.1. Requisitos para el diseño e implementación del sistema de aerogeneración. 24
Figura 4.2. Resistencia a la fatiga en función a la resistencia a la tensión 31
Figura 4.3. Límite de Betz 35
Figura 5.1. Localización sector Juan Pablo Segundo 36
Figura 5.2. Rosa de los vientos correspondiente al sector Juan Pablo Segundo 37
Figura 5.3. Velocidad del viento 38
Figura 5.4. Diseño conceptual del aerogenerador 39
Figura 5.5. Dimensiones del Aerogenerador Bóreas 40
Figura 5.6. Dimensionamiento de la hélice de Bambú 41
Figura 5.7. Curva de coeficiente de sustentación 42
Figura 5.8. Coeficiente de potencia en función de la velocidad específica 43
Figura 5.9. Centro de masa de la pala de Bambú 44
Figura 5.10. Fuerzas que actúan en el sistema de aerogeneración 45
Figura 5.11. Fuerza centrífuga en las hélices 46
Figura 5.12. Análisis de flexión de la hélice a la fuerza del viento 47
Figura 5.13. Análisis del flujo del viento (vista lateral) 47
Figura 5.14. Análisis del flujo del viento (vista en 3D) 48
Figura 5.15. Diseño del árbol y sus elementos acoplados 49
Figura 5.16. Diagrama de torsiones sobre el árbol 50
Figura 5.17. Representación de pérdidas en los elementos 52
Figura 5.18. Curva de Potencia teórica en el generador vs velocidad 54
Figura 5.19. Curva de potencia disponible vs velocidad 55

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec.(4.1) Ley exponencial de HELLMANN.....25
Ec.(4.2) Área del barrido del rotor 26
Ec.(4.3) Potencia útil 26
Ec.(4.4) Coeficiente de sustentación…….27
Ec.(4.5) Velocidad angular en condición de trabajo 28
Ec.(4.6) Velocidad angular en condición máxima 28
Ec.(4.7) Velocidad específica……..…28
Ec.(4.8) Número de hélices……...28
Ec.(4.9) Fuerza del viento.....28
Ec.(4.10) Momento flector en condición de trabajo.....29
Ec.(4.11) Momento flector en condición máxima.....29
Ec.(4.12) Fuerza centrífuga en condición de trabajo.....29
Ec.(4.13) Fuerza centrífuga en condición máxima.....29
Ec.(4.14) Diámetro del árbol de transmisión.....30
Ec.(4.15) Valor de la resistencia de la fatiga.....31
Ec.(4.16) Cálculo de rangos de tamaño.....32
Ec.(4.17) Cálculo de torsión 32
Ec.(4.18) Relación de transmisión.....33
Ec.(4.19) Velocidad en la polea conducida……..……33
Ec.(4.20) Perímetro.....33
Ec.(4.21) Longitud en el tramo a de la banda.....33
Ec.(4.22) Longitud en el tramo b de la banda 33
Ec.(4.23) Longitud en el tramo c de la banda.....33
Ec.(4.24) Longitud total de la banda 33
Ec.(4.25) Guiador del aerogenerador 34
Ec.(4.26) Potencia disponible.....35
Ec.(4.27) Coeficiente de potencia.....35

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: "DISEÑO E IMPEMENTACIÓN DE UN AEROGENERADOR DE BAMBÚ"

Autores:

Zapata Tapia Douglas Pául

Zapata Tapia Evelyn Yessenia

RESUMEN

El Ecuador es un país que cuenta con varias fuentes de energías renovables para la generación de electricidad pero actualmente en el mismo la generación de energía eléctrica es liderada por las centrales hidroeléctricas, este método es el más común y el más utilizado debido a la gran cantidad de afluentes en la mayoría del territorio nacional. Al realizarse un análisis del crecimiento poblacional y el asentamiento de las personas en sectores rurales y alejados del Sistema Nacional Interconectado (SNI) el cual se encarga de la distribución y comercialización de este servicio básico en el país, se puede estipular que el mismo no llega a cubrir todos estos sectores. Esto conlleva a buscar y plantear alternativas para la generación energética, impulsando de esta manera el desarrollo y utilización de energías renovables para la concepción de electricidad, un claro ejemplo de varios de los recursos naturales que brinda el territorio ecuatoriano para generación eléctrica es la energía eólica que se encuentra disponible en la mayoría de la zona ecuatoriana. Esta opción no ha sido explorada ni aprovechada en su totalidad debido a factores económicos y sociales que dificultan la implementación de estos sistemas. En la presente propuesta tecnológica se plantea el uso de esta energía renovable en combinación con un material de construcción no tradicional para el diseño e implementación de sistemas de generación como es la planta de bambú que se considera desde hace ya varios años atrás como el acero natural. Para la obtención de un alcance significativo de la propuesta tecnológica previamente se efectuaron estudios e investigaciones de campo acerca del comportamiento del viento y el material en el lugar de implementación del sistema dando como resultado el dimensionamiento de los componentes que conforman el aerogenerador su rendimiento y una comparación económica entre un aerogenerador de bambú y uno que se encuentra en el mercado.

Palabras clave: Centrales hidroeléctricas, energías renovables, aerogenerador, velocidad del viento.

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

APPLIED CIENCES AND ENGINEERING FACULTY

TITLE: "DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A BAMBOO WIND GENERATOR"

Authors:

Zapata Tapia Douglas Paúl

Zapata Tapia Evelyn Yessenia

ABSTRACT

Ecuador is a country that has several sources of renewable energy for the generation of electricity but currently in it the generation of electricity is led by hydroelectric plants, this method is the most common and the most used due to the large amount of tributaries in most of the national territory. When carrying out an analysis of population growth and the settlement of people in rural sectors and far from the National Interconnected System (SNI), which is responsible for the distribution and commercialization of this basic service in the country, it can be stipulated that it does not arrive to cover all these sectors. This leads us to seek and propose alternatives for energy generation, thus promoting the development and use of renewable energies for the conception of electricity, a clear example of several of the natural resources that the Ecuadorian territory provides for electricity generation is wind energy which is available in most of the Ecuadorian area. This option has not been explored or fully exploited due to economic and social factors that make it difficult to implement these systems. In this technological proposal, the use of this renewable energy in combination with a non-traditional construction material for the design and implementation of generation systems such as the bamboo plant that is considered for several years as natural steel. In order to obtain a significant scope of the technological proposal, field studies and investigations were previously carried out on the behavior of the wind and the material in the place of implementation of the system, resulting in the sizing of the components that make up the wind turbine its theoretical performance.

Keywords: Hydroelectric plants, renewable energies, wind turbine, wind speed.

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de la propuesta tecnológica al Idioma Inglés presentado por los estudiantes: **ZAPATA TAPIA DOUGLAS PAÚL** y **ZAPATA TAPIA EVELYN YESSENIA** egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS,** cuyo título versa **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AEROGENERADOR DE BAMBÚ",** lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimen conveniente.

Latacunga, marzo del 2021.

Atentamente,

MSc. Diana Karina Taipe Vergara
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 1720080934

1803027935 VICTOR HUGO ROMERO GARCIA
Firmado digitalmente por 1803027935 VICTOR HUGO ROMERO GARCIA
Fecha: 2021.03.11 09:02:59 -05'00'

1. INFORMACIÓN BÁSICA

PROPUESTO POR: Zapata Tapia Douglas Paúl; Zapata Tapia Evelyn Yessenia

TEMA APROBADO: "Diseño e implementación de un aerogenerador de bambú".

CARRERA: Ingeniería Electromecánica

DIRECTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA: MSc. Ing. Cristian Fabián Gallardo Molina.

EQUIPO DE TRABAJO:

MSc. Ing. Cristian Fabián Gallardo Molina

Douglas Paúl Zapata Tapia

Evelyn Yessenia Zapata Tapia.

LUGAR DE EJECUCIÓN: Región Sierra, provincia Cotopaxi, cantón Latacunga, Barrio Juan Pablo Segundo.

TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PROPUESTA: 6 meses

FECHA DE ENTREGA: marzo 2021

LÍNEA(S) Y SUBLINEAS DE INVESTIGACIÓN A LAS QUE SE ASOCIA EL PROYECTO:

Línea de investigación:

Procesos Industriales.

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Eficiencia Energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA: Desarrollo de materias primas en la transformación de la energía eólica en energía eléctrica.

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTAS TECNOLÓGICA

2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

"Diseño e implementación de un aerogenerador de bambú".

2.2. TIPO DE ALCANCE

a) **Multipropósito:** La generación de energía eléctrica mediante la utilización de fuentes renovables de energía, el aprovechamiento del potencial eólico, el estudio de nuevos materiales enfocados a la aerogeneración como una alternativa para nuevos sistemas de transformación de la energía y la disminución de la contaminación ambiental.

b) **Interdisciplinar:** El aprendizaje y conocimiento de la ingeniería en las ciencias básicas, profesionales y en la especialización, ha permitido adquirir destrezas y conocimientos en el área eléctrica, mecánica y electrónica entre otros, los cuales nos permiten realizar nuestro modelo de aerogeneración.

c) **Integrador**: La utilización de un material no convencional como el bambú permite a al desarrollo de la ingeniería tener la posibilidad de utilizar otros materiales para el desarrollo de aerogeneradores y transformar la energía mecánica en energía eléctrica

2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO.

Taller mecánico, resistencia de materiales, centrales de generación, energías renovables.

2.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.

El Ecuador es un país privilegiado al poseer una variedad de fuentes de energías renovables, las cuales podrían formar y aportar un potencial energético extraordinario en el país. Pese a esto la generación eléctrica es liderada por las centrales hidroeléctricas en la mayoría del territorio nacional, aun así los distintos tipos de energías no renovables existentes no han sido suficientes para poder llegar con este servicio básico a todos los sectores por las condiciones geográficas propias del Ecuador. Es por ello que se presenta la propuesta tecnológica definida como el diseño e implementación de un sistema de aerogeneración de bambú desde la torre, sus aspas y su veleta guiadora como una estructura sólida destinada a la generación eléctrica, para aprovechar el potencial eólico y la materia prima que disponemos en nuestro territorio. Este material que existe en gran abundancia en sectores del país posee varias características físicas y es considerado como el acero natural el cual presenta una resistencia a la torción, flexión y más propiedades mecánicas, lo que lo convierte en materia prima útil para la implementación de modelos de aerogeneración los mismos que pueden estar sometidos a velocidades altas del viento. Mediante la utilización de métodos experimentales y simulaciones se realiza la construcción de las hélices y la torre del sistema utilizando el bambú, pretendiendo de esta forma incidir directamente en la reducción de costos que genera la compra, mantenimiento y reemplazo de dichos elementos dando un alcance significativo a la propuesta tecnológica.

2.5.OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.5.1. Objeto de estudio

Sistema de aerogeneración, velocidad del viento.

2.5.2. Campo de acción

Generación de energía eléctrica.

2.6. SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA

2.6.1. Situación problémica

Varias son las causas que aportan al crecimiento del calentamiento global un fenómeno que ha atraído el interés de la población a nivel mundial, la generación eléctrica cuya característica es satisfacer las necesidades de las personas al permitir el funcionamiento de los diferentes electrodomésticos y equipos que facilitan la vida de las personas, aporta con un considerable porcentaje a este problema ya que la utilización de combustibles fósiles y la desviación de los caudales de agua de los diferentes afluentes que existen si bien son procesados y utilizados para generar y brindar un suministro de energía esto se deriva directamente en un alto nivel de impacto medio ambiental, en el Ecuador esto no podía ser una excepción ya que la demanda energética es cada vez mayor y las principales fuentes de generación eléctrica que aportan al sistema nacional interconectado son centrales térmicas y centrales hidroeléctricas. No obstante se presenta un problema adicional el cuál es el incremento poblacional y el asentamiento de las personas en lugares alejados de la red de suministro eléctrico el cual no puede cubrir este servicio debido a las condiciones geográficas de acceso a sectores específicos como es el caso del barrio Juan Pablo Segundo perteneciente a la parroquia Juan Montalvo que se encuentra ubicado en la parte oriental de la ciudad de Latacunga en donde si bien se puede utilizar el potencial eólico que se considera una fuente de energía natural la cual genera impacto ambiental y permite la generación eléctrica, la adquisición de este tipo de equipos en el mercado comercial representa un valor económico altamente significativo para sus moradores.

2.6.2. Problema

La falta de estudios y experimentación de modelos aerodinámicos con la utilización de materia prima alternativa en el desarrollo de nuevos sistemas de aerogeneración autónomos para la transformación de la energía eólica en eléctrica.

2.7. HIPÓTESIS

¿El estudio de nuevos recursos naturales como el bambú permitirá diseñar e implementar sistemas aerodinámicos autónomos en la transformación de la energía eólica en eléctrica en la provincia de Cotopaxi sector Juan Pablo Segundo?

2.8. OBJETIVOS

2.8.1. Objetivo general

- Diseñar las hélices y la torre de un aerogenerador de eje horizontal utilizando como material alternativo de construcción la planta de bambú.

2.8.2. Objetivos específicos

- Recopilar información acerca de las propiedades mecánicas del bambú y el potencial eólico en el lugar de implementación.
- Elaborar un modelo aerodinámico de hélices en el bambú.
- Seleccionar los componentes del sistema de aerogeneración.
- Implementar el sistema de aerogeneración.

2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS.

Tabla 2.1. Descripción de actividades y tareas.

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	MEDIO DE VERIFICACIÓN
Recopilar información acerca de las propiedades mecánicas del bambú y el potencial eólico en el lugar de implementación.	1. Revisión bibliográfica que sustente las propiedades del bambú.	Conocimiento de las propiedades del bambú	Cuadros de resumen
	2. Experimentación mecánica del bambú.	Determinación de las propiedades físico-mecánicas del material	Cuadros de resumen
	3. Determinación de las velocidades y dirección del viento en el lugar.	Velocidades máximas y mínimas del viento	Anemómetro Fotografías

Elaborar un modelo aerodinámico de hélices en el bambú.	1. Selección de un modelo aerodinámico de hélices.	Modelo aerodinámico	Figuras
	2. Simulación estática del bambú en las hélices	Análisis de esfuerzos sobre la hélice	Simulación
	3. Simulación de flujo del viento sobre las hélices	Análisis del flujo del viento sobre las hélices	Simulación
Seleccionar los componentes del sistema de aerogeneración.	1. Caracterización cualitativa y cuantitativamente de los elementos que intervienen en un sistema de aerogeneración	Obtención de materiales para el sistema de aerogeneración	Listado de materiales
	2. Diseño computacional de los elementos que intervienen en el sistema en el software SolidWorks.	Elementos del sistema	Planos
	3. Ensamble computacional de los elementos del sistema de generación eólica.	Isométrico del sistema de generación	Planos
Implementar el sistema de aerogeneración.	1. Determinación del lugar de colocación del sistema de generación.	Lugar para la colocación del sistema.	Fotografías
	2. Implementación final y pruebas de funcionamiento del sistema.	Correcto funcionamiento del sistema	Fotografías y videos
	3. Determinación del rendimiento teórico del aerogenerador	Efectividad teórica de sistema de generación eólica	Cálculo

2.10. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 2.2. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas	Instrumentos
Velocidad del viento.	Recurso natural	En metros por segundo	¿Cuál es la velocidad promedio del viento?	Medición	Anemómetro
Potencia disponible del viento.	Recurso eléctrico	Vatios (W)	¿Cuál es la potencia disponible en relación con la velocidad del viento?	Cálculo	
Potencia teórica estimada en el aerogenerador	Recurso eléctrico	Vatios (W)	¿Cuál es la potencia teórica en el generador en relación con la potencia disponible?	Cálculo	
Rendimiento teórico estimado del aerogenerador	Recurso eléctrico	En porcentaje	¿Cuál es el rendimiento teórico del aerogenerador?	Cálculo	

Fuente: Los postulantes

3. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta una investigación bibliográfica de los diferentes temas que sustenta el proyecto, mismos que fortalecerá los conocimientos previos para la ejecución de la propuesta tecnológica tales como: antecedentes y evolución de la generación eólica, un breve resumen de las energías renovables, generadores eólicos, características y propiedades del bambú, mismos que son indispensables para el diseño e implementación del aerogenerador, en el que se pretende trasformar la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire en energía eléctrica con la finalidad de energizar un sistema de iluminación de baja potencia.

3.1. Trabajos Precedentes

3.1.1. Creaciones con la planta de bambú en Ecuador

Publicado el: 27 de junio del 2020

Autor/a: Belén Maiztegui

El bambú se ha convertido en un material de construcción para los proyectos habitacionales especialmente para los sectores de bajos recursos de la región costa y Amazonia.

El señor Álvaro Cabrera coordinador de la Red Internacional de Bambú y Ratán (Inbar) menciona que*: el sector productivo, industrial y artesanal lo aprovechan, por lo que el Gobierno y las autoridades ven a esta especie como una fuente de desarrollo económico y sustentable en el tiempo, una propuesta que cuenta con el apoyo de organismos internacionales"* [1].

Ejemplos del uso de la planta de bambú son:

- Escuela Nueva Esperanza: en el año 2009 en Cabuyal
- Centro de Interpretación del Cacao: en el año 2014 en Archidona
- Casa convento: en el año 2014 en Chone
- Casa comunal Renacer de Chamanga: en el año 2016 en Chamanga
- Playa Man: en el año 2016 en Puerto Baquerizo Moreno
- Invernadero en Nayón: en el año 2017 en Nayón
- Comedor de Guadurnal: en el año 2018 en Esmeraldas
- Bicicleta de bambú: en el Azuay

También se ha registrado que el bambú ha sido utilizado para elaborar instrumentos musicales, muebles, andamios, entre otros, pero especialmente sirve como material de construcción habitacional.

Publicado el: 19 de marzo del 2020

Autor/a: Arq. Gabriela Mardones

Los países en desarrollo tienen la mayor demanda de hormigón reforzado con acero. Pero en la mayoría de los casos no tienen los medios para producir el acero y satisfacer la demanda. En lugar de subordinarse al mercado mundial dominado por los países desarrollados, Future Cities Laboratory de Singapur sugiere una alternativa a este problema: el bambú. Abundante, sostenible y muy resistente, el bambú tiene potencial para convertirse en un sustituto ideal en lugares donde el acero no puede ser producido fácilmente. [2]

3.1.2. Creaciones de generadores eólicos

Publicado el: junio del 2014

Autores: Molina Corrales Freddy Renan y Pacheco Cepeda Luis Andres

Construcción de un generador eólico de bajas revoluciones para la escuela fiscal mixta portoviejo ubicada en el sector de cuchitingue, parroquia aláquez, cantón Latacunga.[3]

3.2. Energías renovables

"Las energías renovables es aquella energía que proviene de una fuente natural e inagotable y son alternativas diferentes a las tradicionales que implican la quema de combustibles fósiles" [4].

El uso de fuentes de energía limpias como: energía solar, eólica, geotérmica, hidráulica, mareomotriz, biomasa, entre otros, han evolucionado significativamente en los últimos años debido a los grandes beneficios y ventajas que oferta esta fuente natural de energía tales como económicos y medio ambientales, mismas que tienen un importante respaldo de la comunidad internacional ya que compromete a reducir sus emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero [5].

3.2.1. Tipos de energías renovables

- **Energía solar:** Es la energía que se adquiere del sol. Las principales tecnologías que podemos encontrar dentro de esta energía son la solar fotovoltaica y la solar térmica.

- **Energía eólica:** Es aquella energía que se obtiene del viento y la podemos convertir en electricidad mediante un generador eléctrico.
- **Energía Geotérmica:** Es la energía calorífica almacenada en el interior de la tierra que se obtiene a través de yacimientos de alta temperatura.
- **Energía Hidráulica:** Es aquella que se obtiene principalmente del agua cuando se mueve a través de un cauce (ríos o corrientes de agua dulce).
- **Energía Mareomotriz:** Es la energía obtenida gracias al movimiento producido por las mareas.
- **Energía Biomasa:** Es la energía que se obtiene a través de la materia orgánica [6] [7].

3.3. Eficiencia energética en Ecuador.

El Ecuador posee recursos naturales que pueden ser aprovechados a gran escala en beneficio de la generación eléctrica como por ejemplo el viento, mismo que hoy en día ya es tomado en cuenta para la generación de electricidad. Por lo que la Ley Orgánica de Eficiencia Energética a través del art 1 de disposiciones fundamentales menciona que: "*se debe promover el uso eficiente, racional y sostenible de la energía en todas sus formas a fin de reducir los gases de efecto invernadero y la mitigación del cambio climático"* [8], favoreciendo así el consumo responsable de energía entre los ciudadanos.

La industria eólica en el Ecuador está promoviendo sus primeros proyectos, con la finalidad de aprovechar sus fuentes renovables de energía y suplir la demanda de energía de sus territorios. Actualmente en el ecuador la energía eólica se está aprovechando en la isla San Cristóbal con una capacidad de 2.4, en el cerro Villonaco con una potencia instalada de 16.5 MW, además se encuentra en construcción un proyecto en la isla Baltra con una capacidad de 2.25 MW [9].

3.4. Recurso Eólico.

Los movimientos de rotación y traslación de la tierra son los que originan el viento. Es decir, la radiación solar ocasiona diferencias de temperatura en la atmósfera lo que causa las diferencias de presión y el movimiento del aire.

3.4.1. Esquema de vientos generales

Tabla 3.1. Esquema de los vientos.

Entre 90ºN y 60ºN	Aire ártico (muy frío) (Circulación de Rossby)
Entre 60ºN y 40ºN	Aire polar (Frío)
Entre 40ºN y 5ºN	Aire tropical (templado)

Entre 5ºN y 5ºS	Aire ecuatorial (cálido)

Fuente: [10]

3.4.2. Circulaciones del viento a escala regional y local.

Las curvaturas de la tierra permiten que el sector tropical reciba una mayor parte de energía solar en semejanza a los sectores polares. Este calentamiento desigual de la superficie terrestre y la atmósfera impone el desarrollo de sistemas a diferentes sucesiones que posibilita distribuir la energía. Por lo tanto se puede considerar que los vientos vienen dirigidos por determinados centros de acción de la atmósfera, siendo lo más frecuente que su desplazamiento sea en sentido horizontal [10].

"El gradiente de velocidades es mayor cuanto mayor sea la diferencia de presiones y su movimiento viene influenciado por el giro de la tierra" [10]. Las principales causas del origen del viento son:

- La radiación solar que es más importante en el Ecuador que en los Polos
- La rotación de la Tierra que provoca desviaciones hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur
- Las perturbaciones atmosféricas [10].

Sin embargo, la comprensión de los vientos generales no es suficiente para una adecuada utilización y ubicación de máquinas accionadas por el viento, por cuanto existen factores que modifican el régimen general y que deben ser conocidos para realizar un proyecto de este tipo.[10]

3.4.2.1. Vientos regionales.

Los vientos regionales son determinados por la distribución de tierras y mares, así como por los grandes relieves continentales. Entre ellos se destacan los siguientes:

- Monzones
- Huracanes

3.4.2.2. Vientos locales.

Los vientos locales son modulaciones de la circulación general de la atmósfera que se desarrollan a menores escalas, estos son los determinados vientos dominantes. Pese a esto hay que considerar algunos factores locales que influyen directamente con las representaciones de intensidad y periodicidad de las corrientes del aire. Entre los cuales se pueden detallar los siguientes:

- Brisas marinas y terrestres
- Brisas de valle
- Brisas de montaña [11]

3.4.3. Velocidad del viento.

"Es una magnitud vectorial y ésta varía de forma aleatoria tanto en módulo como en dirección y sentido" [12], los valores promedios de la velocidad del viento están comprendidos entre 3 y 5 m/s. Sin embargo, estos valores pueden cambiar dependiendo de la altitud y topografía del lugar.

La velocidad del viento puede variar de muy diversas formas tales como:

- Variaciones estacionales
- Variaciones diarias
- Variaciones en períodos muy cortos (ráfagas)

El instrumento que se usa para la medición de la velocidad del viento es el anemómetro, este instrumento es el encargado de medir la componente horizontal de la velocidad del viento, lo cual es un parámetro crucial para los sistemas de elección de emplazamiento [12].

Figura 3.1. Anemómetro.

Fuente: [12]**.**

3.4.4. Dirección del viento.

Es el indicador sobre la orientación del viento. La referencia suele realizarse a través del uso de sistemas cartesianos o a su vez en función de la circunferencia en grados.

Para determinar la dirección del viento es común utilizar la veleta como instrumento de medición, la cual da lectura de la dirección del viento mediante la posición de un potenciometro [12].

Figura 3.1. Veleta.

Fuente: [12].

3.5.Energía eólica.

3.5.1. Historia y evolución de la energía eólica.

La energía eólica es una de las más antiguas utilizadas por la humanidad y ha sido de gran relevancia desde entonces. Así, la primera aplicación que se dio gracias al viento fue como velas para propulsar barcos a lo largo del Río Nilo [13].

No obstante, años más tarde en países como China, Grecia y Egipto se dio uso a la energía eléctrica para fines agrícolas, pues era utilizado como molinos de viento para moler granos y bombear agua.

Posteriormente los molinos de viento ayudaron a Holanda a convertirse en uno de los países más industrializados, siendo este el impulso que dio inicio al uso de los molinos y al aprovechamiento del viento para promover el trabajo [14].

En 1887 el científico estadounidense Charles F. Brush construyó la primera turbina eólica para producir electricidad con un rotor de 17 metros y 144 palas, misma que tuvo una duración de 20 años. En 1957 el ingeniero danés Johannes Juul fabrica el primer aerogenerador apto para corriente alterna [15].

Con la primera crisis del petróleo, se tomó conciencia debido a la necesidad de modificar el modelo energético y despertó el interés de usar alternativas limpias mismas que nos proporciona la naturaleza.

3.5.2. Descripción de la energía eólica.

Hoy en día la energía eólica está creciendo significativamente en todo el mundo gracias a los avances tecnológicos y al incremento de la competitividad en términos económicos [16].

En la actualidad una de las energías renovables más competitivas es la energía eólica que se ha convertido en una de las pioneras dentro de la generación de electricidad clave para el modelo energético ya que es una fuente limpia y sostenible, que no contamina y que ayuda a sustituir la energía producida mediante los combustibles fósiles.

La energía eólica es aquella que utiliza la fuerza del viento para generar energía eléctrica, el principal medio para obtenerla son los aerogeneradores, los cuales mueven una turbina consiguiendo así transformar la energía cinética del viento en energía mecánica [17].

El aire como cualquier otro gas se mueve desde las zonas de alta presión a las de baja presión lo que produce así el viento. Por lo que se debe considerar variables como la situación geográfica, las características del clima locales, la topología de la zona, entre otros aspectos importantes [18].

3.5.3. Ventajas de la energía eólica.

El uso de la energía eólica nos proporciona múltiples ventajas y beneficios a continuación se cita alguna de ellas.

- Es una fuente de energía inagotable; pues el viento es una fuente natural que existe en abundancia en la mayoría de los lugares del mundo.
- Ocupa poco espacio; este campo eólico requiere de menos espacio en comparación con un campo fotovoltaico. también es un sistema adaptable a casi cualquier espacio y puede instalarse en distintas zonas.
- No contamina; ya que es una de las fuentes de energía más limpias y sostenibles. Además de que su proceso de operación no lleva implícito un proceso de combustión, por lo cual no emite gases tóxicos al medio ambiente.
- Bajo coste; debido a que las turbinas eólicas y el mantenimiento de la misma es relativamente baja.
- Es compatible con otras actividades; puesto que las personas que se dedican a las actividades agrícolas y ganaderas pueden convivir armoniosamente con la presencia de estos aerogeneradores, al mismo tiempo genera una nueva fuente de riqueza [19].
- Impacto menos agresivo en el suelo; su generación no tiene impactos agresivos sobre la constitución del suelo, por lo que cumple un rol muy significativo cuando se trata de la contaminación del suelo.

- No altera la composición del agua; la energía eólica al no hacer uso del agua durante la transformación de energía y no causar residuos o vertidos sobre los acuíferos no produce alteraciones sobre las fuentes de agua.
- Su potencial es enorme; si se logra obtener y aprovechar todo su potencial la energía que genera sería 20 veces más que la demanda energética de toda la población.
- Su crecimiento va en aumento; cabe recalcar que en el año 2010 solo se suponía un 2.5% de la producción eléctrica mundial, sin embargo ha crecido un 25% cada año desde entonces [20].

3.5.4. Inconvenientes de la energía eólica.

Este sistema eólico también cuenta con inconvenientes o desventajas las cuales son:

- Falta de seguridad en la existencia del viento; este sería un motivo el cual impide que la energía eólica se use como única fuente de energía eléctrica. Sin embargo, esto se podría remediar utilizando elementos de almacenamiento de energía.
- La velocidad no puede exceder un límite; esto se refiere a que si la velocidad del viento es superior a lo que puede soportar la turbina, causaría daños en el eje como en la producción [21].

3.6. Generadores eólicos.

Un generador eólico o turbina eólica es una máquina que transforma la energía cinética del viento en energía mecánica disponible en el eje de la aeroturbina y esta a su vez en energía eléctrica [4]. Para que un aerogenerador inicie su trabajo útil se requiere de un valor mínimo o velocidad de conexión del viento para así vencer los rozamientos, sin la cual no es posible que entre en funcionamiento, cuya velocidad debe estar comprendida entre los 3-5 m/s. la electricidad que produce este sistema puede ser almacenada en baterías o utilizarla directamente [22]. "*Debido a que la velocidad del viento aumenta con una altura respecto a la superficie, se ubica al aerogenerador tan alto como sea posible"* [17].

3.6.1. Componentes básicos de un aerogenerador.

Un aerogenerador está constituido principalmente por las siguientes partes:

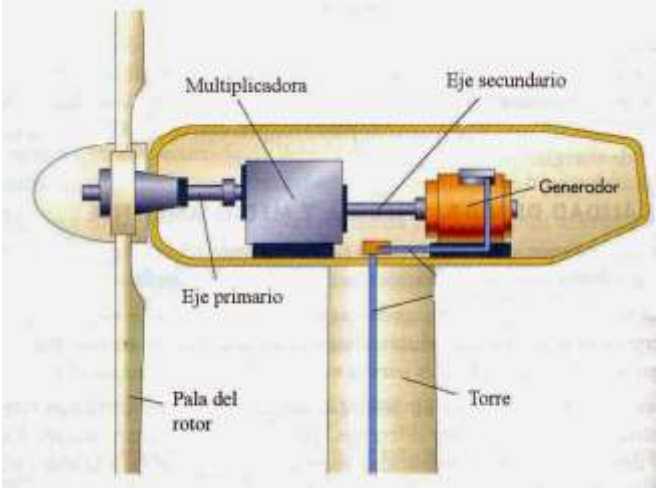


Figura 3.2. Partes del aerogenerador.

Fuente: [23]

3.6.1.1.Hélice o palas

Las hélices se encuentran acopladas al rotor y a su vez conectado al eje, es la encargada de remitir la energía de rotación al generador eléctrico.

3.6.1.2. El generador eléctrico

Transforma la energía mecánica en energía eléctrica.

3.6.1.3. Ejes de baja velocidad

Este eje se encuentra entre el buje y el multiplicador

3.6.1.4. Multiplicador

Se encuentra situado entre los dos ejes

3.6.1.5. Eje de alta velocidad

Gira aproximadamente a una velocidad de 1500 rpm, lo que le permite al generador eléctrico que entre en funcionamiento.

3.6.1.6. La Torre

Es el soporte de todo el aerogenerador [24].

3.6.2. Modelo dinámico del aerogenerador

El aerogenerador está compuesto por 3 grupos de partes que se modelizan como sólidas rígidas; el primer grupo que radica en las palas y el rotor del generador, el segundo grupo que consta del estator del generador y dispositivo que permite la ubicación vertical del aerogenerador y finalmente la veleta de orientación. La torre se modeliza como sólido flexible con su extremo inferior rígido incorporada a la base.

La veleta y el rotor se sitúan sobre el soporte y este sobre el mástil lo que da acceso a los 3 grados de libertad del sistema: rotación del rotor en relación con el soporte para la generación de electricidad, rotación de la veleta en relación del soporte para el control de la velocidad de rotación de las palas y rotación de todo el grupo en relación del suelo para la orientación hacia el viento. Estas 3 posibles rotaciones se modelizan como pares cinemáticos de revolución (articulaciones).

Sobre estos 3 sólidos actúan fuerzas y momentos, tanto externos como internos, que hay que modelizar: el peso, las fuerzas de enlace, las fuerzas aerodinámicas sobre las palas y la cola, las fuerzas de rozamiento en las articulaciones y los pares provocados por el generador eléctrico [25].

3.6.3. Tipos de aerogeneradores

La clasificación general de los aerogeneradores se basa en la posición de su eje principal, por lo cual existe dos tipos de eje vertical y de eje horizontal.

3.6.3.1. Aerogeneradores de eje vertical

Son aquellos cuyos ejes principales están ubicados de forma perpendicular al suelo. Es decir el la rendimiento de los aerogeneradores de eje vertical se encuentra por debajo de la mitad que el correspondiente a aerogeneradores de eje horizontal [26].

A los generadores de eje vertical se los puede subdividir en los siguientes tipos:

3.6.3.1.1. Savonius

Es aquel aerogenerador de modelo más simple del rotor, posee cilindros huecos desplazados respecto con su eje, de tal forma que ofrecen la parte cóncava al empuje del viento [27].

Figura 3.3. Aerogenerador Savonius

Fuente: [27].

3.6.3.1.2. Darrieus o de catenaria

Este tipo de aerogenerador de eje vertical es el modelo más popular. Este fue creado por la necesidad de evitar la construcción de palas sofisticadas como las que utilizan en las turbinas eólicas de eje horizontal [27].

Figura 3.4. Aerogenerador Darrieus

Fuente: [27]

3.6.3.1.3. Giromill o ciclogiro

Este molino vertical de palas o ciclogiro es un tipo de aerogenerador derivado del Darrieus y consta de 2 y 6 palas [27].

Figura 3.5. Aerogenerador Giromill

Fuente: [27]

3.6.3.2. Aerogeneradores de eje horizontal

Son aerogeneradores en los cuales el eje de rotación se encuentra paralelo al suelo. Este tipo de tecnología de aerogeneradores ha sido creado por su eficiencia, confiabilidad y capacidad de adaptarse a diferentes potencias. [27]

Estos aerogeneradores se pueden clasificar en dos tipos que son:

3.6.3.2.1. Aeroturbinas lenta

"Suelen tener entre 6 y 24 hélices lo que les confiere elevados pares de arranque y reducida velocidad de giro"[28].

Figura 3.6. Aeroturbina lenta

Fuente: [28]**.**

3.6.3.2.2. Aeroturbina rápida

"Estas suelen tener entre 2 y 3 palas, siendo estas últimas los más frecuentes con un adecuado perfil aerodinámico"[28].

Figura 3.7. Aeroturbina Rápida

Fuente: [28]**.**

3.7. Potencia y rendimiento de aerogeneración

"El rendimiento de los aerogeneradores depende de la intensidad del viento: a igualdad de diámetro de las palas, al aumentar la velocidad del viento, la potencia teóricamente extraíble aumenta de manera más que proporcional"[29].

3.8. Bambú

3.8.1. Descripción

Originario del Asia, de las regiones de China e India, el bambú crece de forma natural en todos los continentes, con excepción de Europa y los polos. Se encuentra hoy en diversas regiones del mundo, con énfasis en Asia y África, aunque con gran presencia en América y Australia. Ha sido utilizado por el hombre desde tiempos remotos [30].

Figura 3.8. Planta de bambú

Fuente: [30].

Perteneciente a la familia de las gramíneas, este pasto, en numerosas ocasiones de altura comparable a la de cualquier árbol, ofrece múltiples alternativas aprovechables para el ser humano.

Desde años anteriores, el bambú ha sido asociado en la construcción de edificios, sobre todo en las regiones tropicales. Este material es considerado el acero vegetal debido a su alta resistencia y su comportamiento antisísmico. La aplicación del bambú está siendo valorada por varios arquitectos gracias a sus grandes propiedades y beneficios, pues les permite construir edificaciones completamente sustentables a un bajo costo[30].

3.8.2. Especies de Bambú en el Ecuador

En las cuatro regiones del Ecuador que son: Costa, Sierra, Amazonía y Galápagos abarca una extensa variedad de bambúes en el marco de su diversidad biológica, mismas que se muestra a continuación:

- Guadua superba
- Guadua latifolia
- Guadua angustifolia
- Guadua amplexifolia

No obstante, el Ecuador contiene un amplio escenario de especies de bambú, en las que encontramos las siguientes:

- Bambusa vulgaris (bambú chino amarillo-verde),
- Bambusa tulda (bambú de la India),
- Bambusa ventricosa,
- Bambú gigante,
- Bambú moso de China, entre otros.

Sin embargo, el género Guadua angustifolia Kunth sobresale entre los bambúes leñosos por su importancia social, económica, y cultural, ha sido considerada nativa de los países como Colombia, Venezuela y Ecuador, además esta especie ha sido seleccionada como una de las 20 mejores del mundo por sus excelentes propiedades físico-mecánicas y por su utilización en la industria de la construcción, alcanza hasta 30m de altura y 25cm de diámetro [31].

3.8.3. Características del bambú

- La velocidad de retención y firmeza del CO2.
- Para su procesamiento la utilización de recursos energéticos es mínima comparado con otros materiales como el metal, el ladrillo y la madera .
- Es resistente y duradero
- Recuperación de espacios naturales para favorecer la biodiversidad.
- Generación de nuevas fuentes de empleo en las zonas de cultivo.
- Es un material muy flexible y ligero, por lo que puede ser utilizado en estructuras sismo-resistentes, y en el diseño de elementos decorativos.
- Su costo como materia prima es bajo y económico. Se ha comprobado que puede reducir el costo de una vivienda hasta en un 50 o 60%.
- Es un material rápidamente renovable, natural, ecológico y sostenible. Su recolección no produce deforestación de bosques.
- Su uso es idóneo en climas cálidos y húmedos, pues favorece la ventilación y evita que se acumule el calor.

- Las cañas delgadas pueden utilizarse como tubería para instalación hidráulica o desagües pluviales.
- Crece entre 30 cm. y 1 metro por día
- Está a la cabeza en materia ecológica (vuelve a crecer dentro de 5 años)[32].

3.8.4. Propiedades del Bambú

Las dimensiones del bambú varían con su altura por la forma acuminada del tallo. Como promedio se puede estimar lo siguiente:

- Altura de 18 a 30m dependiendo de la especie y edad.
- Diámetro entre 20 y 8 cm en la base, y 3 cm en su extremo superior.
- Espesores entre 2 y 2,5 cm en la base, y 1 cm en el extremo superior.
- Distancia entre nudos de 7 a 10 cm en la base, separándose con la altura entre 25 a 35 cm [33].

Tabla 3.2. Propiedades de diseño de diversos materiales

Propiedades de diseño de diversos materiales – Janssen (1980)- Variedad Bambusa Oldhamii				
	Bambú	Madera	Acero	Hormigón
R: Resistencia de diseño (Kg/cm2)	102	76	1630	82
M: Masa por volumen (Kg/cm2)	600	600	7800	2400
R/M: Relación de resistencia (Kg/cm2)	0.170	0.127	0.209	0.032
E: Módulo de elasticidad (Kg/cm2)	203000	112000	214000	127400
E/M: Relación de rigidez (Kg/cm2)	340	187	276	53

Fuente: [33].

Tabla 3.3. Resistencias obtenidas de pequeñas probetas

Resistencias obtenidas de pequeñas probetas – Janssen (1980) – Variedad Bambusa Blumeada en condición seca	
Compresión (Kg/cm2)	825
Flexión (Kg/cm2)	856
Módulo de elasticidad (Kg/cm2)	203873
Cortante (Kg/cm2)	23
Tracción paralela a la fibra (Kg/cm2)	2038-3058

Fuente: [33].

La estructura física de la caña se debe principalmente a la elevada resistencia en relación con el peso: de sección redonda, hueca y con un tabique rígido transversal que le permite curvarse sin romperse. El valor elevado de la resistencia en relación con la masa depende directamente del esfuerzo natural que se encuentra más cercano al acero. De hecho, debido a esas características “el bambú requiere solo el 57% de su masa cuando es usado como viga y solo un 40% cuando es usado como columna” [34].

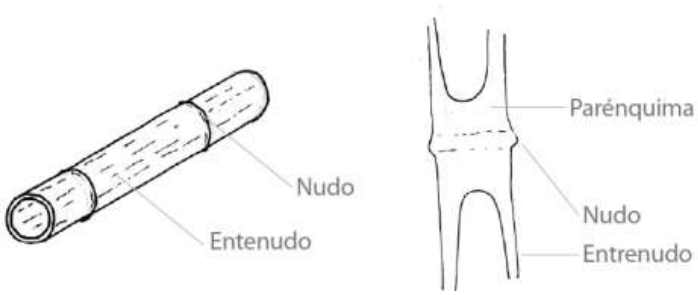


Figura 3.9. Partes del bambú

Fuente: [34].

“La mejor propiedad mecánica que posee el bambú es sin duda su alta resistencia a tracción al producirse de forma paralela a la fibra (200-300 N/mm2), pudiendo llegar a ser cuatro veces más fuerte que en compresión para una misma especie” [35]. La resistencia en referencia a la tracción es superior a la flexión, en conjunto con la resistencia a la compresión. No obstante es recomendable que el diseño de estructuras de bambú esté dimensionadas para trabajar en relación a la flexión y compresión debido a que realiza uniones a tracción.

La capacidad de resistencia a las tensiones es mucho más elevada en la corteza del bambú que en su anillo interior. Por ello, resulta curioso que las cañas de menor sección suelen presentar mejores prestaciones a flexión en comparación con otras barras más gruesas. La respuesta está en la proporción de fibras de la corteza exterior en relación con la totalidad de la sección, un valor que disminuye con el grosor de la barra [36].

3.9. Elementos para la transformación de la energía eólica

3.9.1. Generador eléctrico

Es una máquina rotativa capaz de producir energía eléctrica mediante la transformación de energía mecánica, habitualmente la energía eléctrica es producida a partir de energías de otra naturaleza como la hidráulica, eólica, vapor, entre otros.

3.9.2. Poleas

Consiste en una rueda de metal que gira alrededor de un eje con un canal en su borde por donde pasa una cadena o correa que transmite el movimiento en un mecanismo.

3.9.3. Banda

Elemento mecánico flexible para transmitir potencia cuando exista poleas unidas o ejes.

3.10. Softwares Computacionales

3.10.1. WRPLOT View

Es un programa para Windows, en el que nos permite construir gráficas de rosa de los vientos y graficas para múltiples formatos de datos meteorológicos. Una rosa de los vientos proporciona análisis de frecuencias de ocurrencia de los vientos en cada una de las direcciones del viento así como las clases de velocidades para tiempo y lugar específicos. [37]

3.10.2. Software CAD SolidWorks

Es un software de diseño CAD, que permite modelar y ensamblar piezas en 3D y planos en 2D, este software ofrece múltiples opciones para diseño, creación, fabricación, simulación, y gestión de datos de proceso de diseño, mismas que dan solución a los aspectos que implican en el proceso de desarrollo del proyecto.

4. Metodología

Para el diseño e implementación de un sistema de aerogeneración de energía eléctrica se ven inmiscuidos varios aspectos y métodos de investigación los mismos que nos permiten obtener una determinación de todas las variables que inciden dentro del proceso. Estas variables serán obtenidas de manera cualitativa y cuantitativa mediante investigaciones bibliográficas, investigaciones de campo y ensayos determinados los cuales proporcionaran información acerca del material de construcción que será utilizado en la propuesta tecnológica, obteniendo de tal manera un sistema de aerogeneración óptimo que dará un alcance significativo de la propuesta tecnológica.

4.1. Procesos de diseño

4.1.1. Definición de requisitos

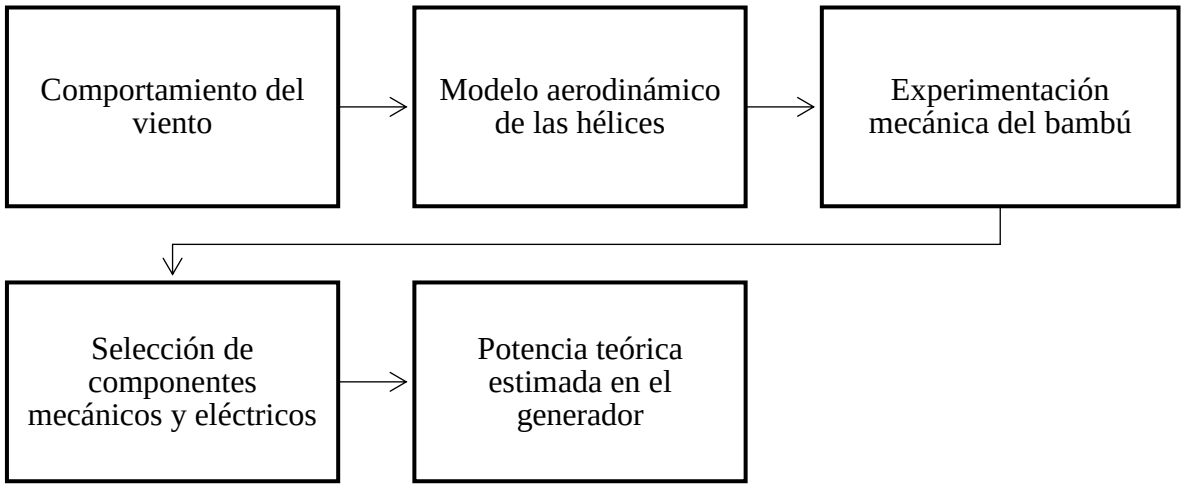


Figura 4.1. Requisitos para el diseño e implementación del sistema de aerogeneración.

Fuente: Los postulantes

En la figura 4.1., se expresa el contexto de los requisitos para la generación de energía eléctrica mediante un sistema eólico fundamentales para la correcta realización de la propuesta tecnológica.

4.2. Localización del lugar de instalación del sistema de aerogeneración

Para la determinación del lugar exacto de implementación de la propuesta tecnológica se utilizó el programa informático Google Earth, el cual me permite tener una ubicación exacta del lugar donde se tomarán los datos de la velocidad y dirección del viento.

4.2.1. Determinación de los recursos eólicos locales

Para la valoración de los recursos eólicos locales se acudió a un Software computacional que nos permite realizar la rosa de los vientos, en el cual se puede visualizar las velocidades y dirección del viento del lugar donde se realizó la toma de datos.

4.2.2. Medición de la velocidad y dirección del viento

Para la obtención de las variables velocidad y dirección del viento se realizará mediciones con el instrumento denominado anemómetro por un período de 4 meses en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, parroquia Juan Montalvo, sector Juan Pablo Segundo.

4.3. Diseño conceptual

La información para la investigación está relacionada a la revisión bibliográfica de trabajos relacionados a los sistemas de aerogeneración de eje horizontal y los elementos que constituyen el sistema.

4.4. Dimensionamiento del Aerogenerador

A continuación, se muestran las ecuaciones a utilizar para el dimensionamiento del aerogenerador, aprovechando el potencial eólico que se encuentra accesible en la zona donde se implementará el proyecto para la generación de energía eléctrica.

Una vez obtenida la velocidad del viento a una determinada altura, podemos conseguir la velocidad a cualquier altura mediante la ecuación de Ley exponencial de Hellmann que hace una relación a las velocidades de dos alturas distintas.

Ley exponencial de HELLMANN

$$\frac{v}{v_o} = \left[\left(\frac{h}{h_o}\right)\right]^{\propto} \qquad \text{Ec.(4.1)}$$

Donde:

$v = Velocidad\ del\ viento\ a\ la\ altura\ final$

$v_o = Velocidad\ del\ viento\ a\ la\ altura\ de\ medición\ inicial$

h = Altura final de la torre

$\alpha = Exponente\ de\ Hellman$

Tabla 4.1. Valores del exponente de Hellman en función de la rugosidad del terreno

Lugares llanos con hielo o hierba	$\boldsymbol{\alpha}$ = 0,08 ÷ 0,12
Lugares llanos (mar, costa)	α = 0,14
Terrenos poco accidentados	α = 0,13 ÷ 0,16
Zonas rústicas	α = 0,2
Terrenos accidentados o bosques	α = 0,2 ÷ 0,26
Terrenos muy accidentados y ciudades	α = 0,25 ÷ 0,4

Fuente: [10]

En la tabla 4.1., se puede apreciar los valores del exponente de Hellman en función de la rugosidad del terreno, por lo que en nuestro proyecto se acoge el valor perteneciente a las zonas rústicas que equivale a α = 0,2.

Área de barrido del rotor

Para encontrar el área de barrido se aplica la siguiente ecuación:

$$A = \pi * \frac{D^2}{4} \qquad \text{Ec.(4.2)}$$

Donde:

$A = área\ de\ barrido\ del\ rotor$

$D = diámetro\ del\ rotor$

Potencia útil

$$P_{útil} = \frac{8\ \rho\ A\ v^3}{27} \qquad \text{Ec.(4.3)}$$

Donde:

$\rho = Densidad$ del aire

$v = Velocidad\ del\ viento$

$A = Área\ de\ barrido$

4.5.Selección de componentes

4.5.1. Sistema mecánico

4.5.1.1 Hélices

Para el proceso de diseño de las hélices principalmente se realizó una investigación bibliográfica y de sitios web acerca de los aerogeneradores disponibles en el mercado especialmente los de baja potencia, por lo que se realizará un prototipo de hélices en base al aerogenerador de la marca Bóreas.

- **Coeficiente de sustentación**

Determina una parte de la fuerza resultante sobre la hélice, misma que convierte en fuerza de sustentación, la cual actúa sobre la misma con el fin de generar un movimiento en el sentido de rotación.

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} * \rho * v^2 * A} \qquad \text{Ec.(4.4)}$$

- **Ángulo de ataque**

Es importante seleccionar el ángulo de ataque adecuado para aprovechar de mejor manera el potencial del viento para empezar el funcionamiento, el ángulo de ataque para generadores eólicos depende del coeficiente de sustentación, es decir que se toma en cuenta el coeficiente de sustentación más alto para determinar el ángulo necesario en el que se ubicara las hélices.

- **Selección del material de la hélice**

Para el diseño de las hélices el material a utilizar es la planta de bambú (caña de guadua angustifolia Kunth), ya que se representa como una alternativa ante materiales más costosos y gracias a sus grandes propiedades y beneficios. Por lo que en este apartado se verificará si el bambú cumple con las condiciones mecánicas a las que el sistema de aerogeneración será sometido.

A continuación, se calculan las fuerzas que intervienen en las hélices, teniendo en cuenta las siguientes variables.

$A_{hélice} = Área\ de\ ataque\ de\ una\ hélice$

$r = radio\ total\ de\ la\ hélice, criterio\ de\ diseño$

$m_{Total} = masa\ total\ de\ las\ hélices$

$v = velocidad\ promedio\ del\ viento\ en\ condición\ de\ trabajo$

$v_{máx} = velocidad\ máxima\ del\ viento\ en\ condición\ máxima$

$\rho_{aire} = densidad\ del\ aire\ a\ temperatura\ ambiente$

La velocidad angular del rotor en condición de trabajo se calcula con la siguiente ecuación:

$$\omega = \frac{v}{r} \qquad \text{Ec.(4.5)}$$

Donde:

$\omega = velocidad\ angular\ del\ rotor\ en\ condición\ de\ trabajo$

$v = velocidad\ promedio\ del\ viento$

$r = radio\ en\ un\ punto\ cualquiera\ de\ la\ hélice$

Velocidad angular en condición máxima

$$\omega_{máx} = \frac{v_{máx}}{r} \qquad \text{Ec.(4.6)}$$

- **Velocidad específica**

La velocidad específica se la cálcula mediante la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{\omega * r}{v} \qquad \text{Ec.(4.7)}$$

Donde:

$\omega = velocidad\ angular\ en\ condición\ máxima$

$r = radio\ en\ un\ punto\ cualquiera\ de\ la\ hélice$

$v = velocidad\ promedio\ del\ viento$

- **Número de hélices**

Para determinar el número de hélices de un aeroegenrador se aplica la siguiente ecuación:

$$n = \frac{4\pi}{\lambda} \qquad \text{Ec.(4.8)}$$

Donde:

$\lambda = Velocidad\ específica$

- **Centro de masa de la hélice**

El centro de masa de la hélice se determinó mediante el Software CAD en plano XY.

- **Fuerza del viento**

$$F_V = \frac{1}{2} * \rho_a * A * v^2 \qquad \text{Ec.(4.9)}$$

Donde:

$F_V = fuerza\ del\ viento$

$\rho_{aire} = densidad\ del\ aire$

$A = área\ de\ ataque\ de\ un\ hélice$

$v = velocidad\ promedio\ del\ viento\ para\ condición\ de\ trabajo$

- **Momento flector**

$$M_x = Fv * rZ \qquad \text{Ec.(4.10)}$$

Donde:

$Fv = fuerza\ del\ viento$

$rZ = punto\ de\ centro\ de\ masa$

Momento flector para condición máxima en una hélice respectivamente:

$$M_{x\,máx} = F_{v\,máx} * rZ \qquad \text{Ec.(4.11)}$$

- **Fuerza centrífuga**

La fuerza centrífuga para condición de trabajo

$$F_C = m_{Total} * rZ * \omega^2 \qquad \text{Ec.(4.12)}$$

Donde:

$m_{Total} = masa\ total\ de\ una\ hélice$

$rZ =\ punto\ de\ centro\ de\ masa$

$\omega = velocidad\ angular\ del\ rotor\ para\ condición\ normal$

Fuerza centrífuga para condición máxima

$$F_{C(máx)} = m_{Total} * r_{GX} * {\omega_{máx}}^2 \qquad \text{Ec.(4.13)}$$

- **Análisis de esfuerzos en la hélice**

Posteriormente se analizará las fuerzas que actúan en la hélice como la fuerza del viento que genera flexión en la hélice y fuerza centrífuga.

Para este análisis se utilizará el simulador de un Software CAD que nos permitirá visualizar los esfuerzos presentes en la hélice.

- **Análisis del flujo del viento sobre las hélices**

Con la aplicación de un Software CAD se realizará la simulación del flujo del viento sobre las hélices del aerogenerador, en donde se podrá visualizar el comportamiento de las hélices frente a una determinada corriente de viento.

4.5.1.2. Árbol de transmisión

El árbol es uno de los componentes esenciales para el sistema de aerogeneración, pues es el que transmite el movimiento desde las hélices hasta el generador eléctrico. Cabe mencionar que para el dimensionamiento del árbol se utilizó el libro de diseño de elementos para máquinas del autor Robert L. Mott, en el cual podemos encontrar las fórmulas a utilizar para la selección del diámetro del árbol.

$$D = \left[\frac{32 * N}{\pi} * \sqrt{(Kt * \frac{M_f}{s\prime n})^2 + \frac{3}{4} * [\frac{T}{S_y}]^2}\right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec.(4.14)}$$

Donde:

$Kt = concentración\ de\ esfuerzos\ que\ se\ producen\ por\ variaciones\ geométricas$

Tabla 4.2. Valores de Kt en función al diseño del material

Chaflán agudo	$\boldsymbol{Kt = 1}$
Redondeado	$Kt = 1.5$
Anillos de retención	$Kt = 3$
Cuñeros de trineo	$Kt = 1.6$
Cuñeros de perfil	$Kt = 2$

Fuente: Diseño de elementos para máquinas de Robert L. Mott

La tabla 4.2., indica los valores de concentración de esfuerzos que se producen por variaciones geométricas, por lo que para nuestro proyecto se selecciona el valor de Kt = 1 equivalente a chaflán agudo.

$N = factor\ de\ diseño$

Se usa el valor de 2 para el factor de diseño N dado que según proyectos técnicos el autor del libro Robert L. Mott en donde el autor sugiere valores de 2 a 2.5 para diseñar elementos que conformarán las máquinas en base a cargas dinámicas con tolerancia promedio en sus datos de diseño para proporcionar mayor seguridad.

$S'n = valor\ de\ resistencia\ a\ la\ fatiga\ según\ el\ material\ seleccionado$

$M = momento\ flexionante$

$T = torque\ al\ que\ se\ ve\ sometido\ el\ eje$

$S_y = esfuerzo\ de\ fluencia$

El valor referente a la resistencia de la fatiga es indispensable para obtener el diámetro real del eje de transmisión mediante cálculo, pero este coeficiente contiene algunas variables por lo que posteriormente se calcula con la siguiente fórmula:

$$S'n = S_n(C_m)(C_{st})(C_R)(C_s) \qquad \text{Ec.(4.15)}$$

Donde:

$S'n = valor\ de\ la\ resistencia\ real\ a\ la\ fatiga$

$C_m \coloneqq factor\ de\ material$

$C_{st} = \ factor\ de\ tipo\ de\ esfuerzo$

$C_R = factor\ de\ confiabilidad$

$C_s = \ factor\ de\ tamaño$

En el dato de S_n participa el esfuerzo mayor y el tipo de acabado superficial que tendrá el eje, en este caso está establecido un acabado de laminado en caliente pues los metales forjados se acostumbran a laminar o estirar consiguiendo alta resistencia a la fatiga que los metales colados.

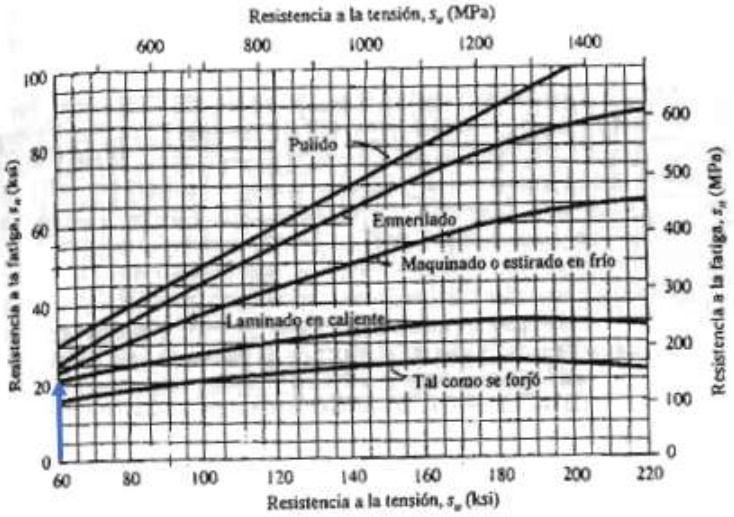


Figura 4.2. Resistencia a la fatiga en función a la resistencia a la tensión

Fuente: diseño de elementos para máquinas de Robert L. Mott

Manteniendo el criterio antes mencionado se establece que la resistencia a la fatiga es de aproximadamente 20 Ksi.

Para el diseño de elementos de máquinas para aceros forjados se establece un factor $C_m = 1$ y para esfuerzos flexionantes un factor de $C_{st} = 1$

El factor de confiabilidad se establece a través de la siguiente tabla:

Tabla 4.3. Factores de confiabilidad aproximados

Factores de confiabilidad aproximados C_R	
Confiabilidad deseada C_R	
0.50	1.0
0.90	0.90
0.99	0.81
0.999	0.75

Fuente: Diseño de elementos de máquinas de Robert L. Mott

Para determinar el grado de confiabilidad para el sistema se requiere que tenga un valor de confiabilidad deseada de 0.99 con un factor $C_R = 0.81$.

Tabla 4.4. Rangos de tamaño aproximados

Unidades del Sistema Estadounidense Tradicional	
Rango de tamaño	Para D en pulgadas
$\boldsymbol{D \leq 0.30}$	$C_s = 1.0$
$\boldsymbol{0.30 < D \leq 0.20}$	$C_s = (D/0.3)^{-0.11}$
$\boldsymbol{2.0 < D < 10.0}$	$C_s = 0.859 - 0.02125\ D$

Unidades SI	
Rango de tamaño	Para D en mm
$\boldsymbol{D \leq 7.62}$	$C_s = 1.0$
$\boldsymbol{7.62 < D \leq 50}$	$C_s = (D/7.62)^{-0.11}$
$\boldsymbol{50 < D < 250}$	$C_s = 0.859 - 0.000837\ D$

Fuente: Diseño de elementos para máquinas de Robert L. Mott

La tabla 4.4., muestra los rangos de tamaño, para este caso de análisis se establece un rango de $7.62 < D \leq 50$, por lo tanto la ecuación a utilizar sería la siguiente:

$$C_s = \left(\frac{D}{7.62}\right)^{-0.11} \qquad \text{Ec.(4.16)}$$

- **Cálculo de torsión**

Se trata de la capacidad de una fuerza para hacer girar un objeto, en este caso el viento proporciona la fuerza para girar las hélices, por lo que se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$T = F\ x\ d \qquad \text{Ec.(4.17)}$$

Donde:

$F = Fuerza$

$d = distancia\ entre\ el\ punto\ de\ aplicación\ de\ la\ fuerza\ y\ el\ punto\ de\ giro$

En este caso se aplica la fuerza frontal que ocasiona el viento, y la distancia se toma como referencia al centro de masa en las hélices.

4.5.1.3. Sistema de transmisión

El sistema de transmisión consta de dos poleas de diferente diámetro que están situadas a cierta distancia y que giran a la par, transmitiendo así el movimiento desde las hélices hasta el generador conducido mediante una banda.

Para la determinación de la relación de transmisión se tiene la siguiente ecuación:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2} \qquad \text{Ec.(4.18)}$$

Donde:

$i = relación\ de\ transmisión$

$n_2 = velocidad\ de\ salida$

$n_1 = velocidad\ de\ entrada$

$D_1 = diámetro\ de\ la\ rueda\ de\ entrada$

$D_2 = diámetro\ de\ la\ rueda\ de\ salida$

- **Velocidad de la polea conducida**

$$n_2 = \frac{n_1 * D_1}{D_2} \qquad \text{Ec. (4.19)}$$

- **Longitud de la banda**

Para calcular la longitud de la banda se realizará de la siguiente manera:

$$P = 2\pi r \qquad \text{Ec. (4.20)}$$

$$L_a = \frac{2\pi r_1}{2} = \pi r_1 \qquad \text{Ec. (4.21)}$$

$$L_b = \frac{2\pi r_2}{2} = \pi r_2 \qquad \text{Ec. (4.22)}$$

$$L_c = \sqrt{(r_1 - r_2)^2 + d^2} \qquad \text{Ec. (4.23)}$$

$$L_{TB} = L_a + L_b + 2L_c \qquad \text{Ec. (4.24)}$$

Donde:

$P = perímetro$

$r = radio$

$L_a = longitud\ en\ el\ tramo\ a$

$L_b = longitud\ en\ el\ tramo\ b$

$L_c = longitud\ en\ el\ tramo\ c$

$d = distancia\ entre\ los\ centros\ de\ las\ poleas$

$L_{TB} = longitud\ total\ de\ la\ banda$

4.5.1.4. Torre

Para el diseño estructural de la torre se utilizará la planta de bambú, el mismo que reemplazará a los materiales de construcción frecuentes como el acero. La torre es el soporte de todos los elementos del sistema de aerogeneración, mismo que se sitúa al sistema a la altura idónea.

4.5.1.5.Veleta

El direccionamiento correcto del aerogenerador se logra gracias a la implementación de una veleta, el rotor tomará la dirección predominante de la corriente de viento produciendo un máximo de revoluciones por minuto (rpm).

4.5.1.6. Gabinete Eléctrico

El dimensionamiento del gabinete eléctrico se realizará tomando en cuenta todos los dispositivos de conexión, protección, señalización y distribución.

4.5.1.7. Guiador del aerogenerador

El guiador permitirá la libre rotación del sistema, el eje se seleccionará en función de la fuerza axial ejercida por el aerogenerador.

$$\sigma = \frac{P}{A} \qquad \text{Ec. (4.25)}$$

Donde:

$\sigma = Esfuerzo\ axial$

$P = Fuerza\ axial$

$A = Área\ sobre\ la\ que\ se\ aplica\ la\ fuerza\ axial$

4.5.2. Sistema eléctrico

4.5.2.1. Generador

El generador debe ser seleccionado en base al voltaje, potencia y velocidad de giro con el que se pretenderá trabajar.

4.6. Estimación Teórica

Para determinar la potencia teórica en el generador se considerará una estimación de pérdidas en el sistema de aerogeneración.

Límite de Betz

El límite de Betz establece que la potencia máxima teórica que se puede extraer de una corriente de viento con un aerogenerador ideal no puede superar el 16/27 (59.3%) de la potencia disponible del viento incidente.

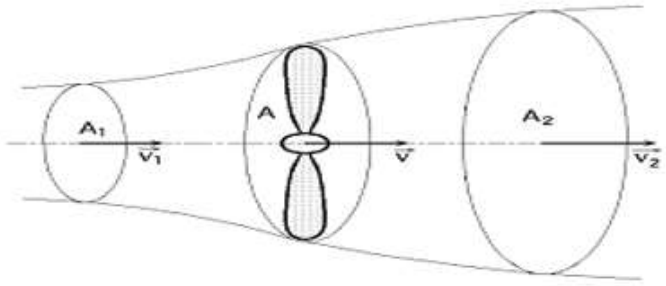


Figura 4.3. Límite de Betz

Fuente: [10]

4.6.1. Potencia disponible

$$P_d = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 \qquad \text{Ec.(4.26)}$$

Donde:

$\rho = densidad\ del\ aire$

$A = área\ de\ barrido$

$v = velocidades\ del\ viento$

4.6.2. Coeficiente de potencia

$$C_p = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} \qquad \text{Ec.(4.27)}$$

5.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se indicará todos los resultados obtenidos de los componentes e instrumentos a utilizar en el aerogenerador, en el cual se tomará en cuenta parámetros y puntos críticos de ser necesario para la ejecución de los cálculos correspondientes que se encuentren directamente relacionados con los datos obtenidos. Mientras que los resultados serán útiles para determinar los elementos o partes del sistema de aerogeneración. El objetivo de este capítulo es obtener resultados coherentes y precisos que aporten de manera segura la ejecución de la propuesta tecnológica.

5.1. Localización del lugar de instalación del sistema de aerogeneración

Mediante la aplicación Google Earth se pudo obtener la localización del lugar donde va a ser implementada la propuesta tecnológica, la cual nos arrojó los siguientes parámetros: 3673 metros sobre el nivel del mar, coordenadas 0°54'44"S 78°30'28"W.

Figura 5.1. Localización sector Juan Pablo Segundo

Fuente: Google Earth

5.1.1. Determinación de los recursos eólicos locales

Para la elaboración de la rosa de los vientos se utilizó el software WRPLOT View, que es un programa de libre acceso y sirve para representar rosas de los vientos.

Antes de iniciar con el análisis del gráfico, se debe considerar el número total de horas en los que se ha tomado la muestra y el porcentaje de vientos suaves o tranquilos.

Este tipo de gráficos se utiliza para observar la distribución de la velocidad del viento y la dirección del viento en el lugar en el que se realiza la medición, es decir, se pueden responder las preguntas de dónde viene el viento y con qué intensidad.

En resumen, este gráfico nos permite conocer cuál es la dirección predominante desde la que sopla el viento con cualesquiera de las magnitudes posibles, y con qué frecuencia ha ocurrido.

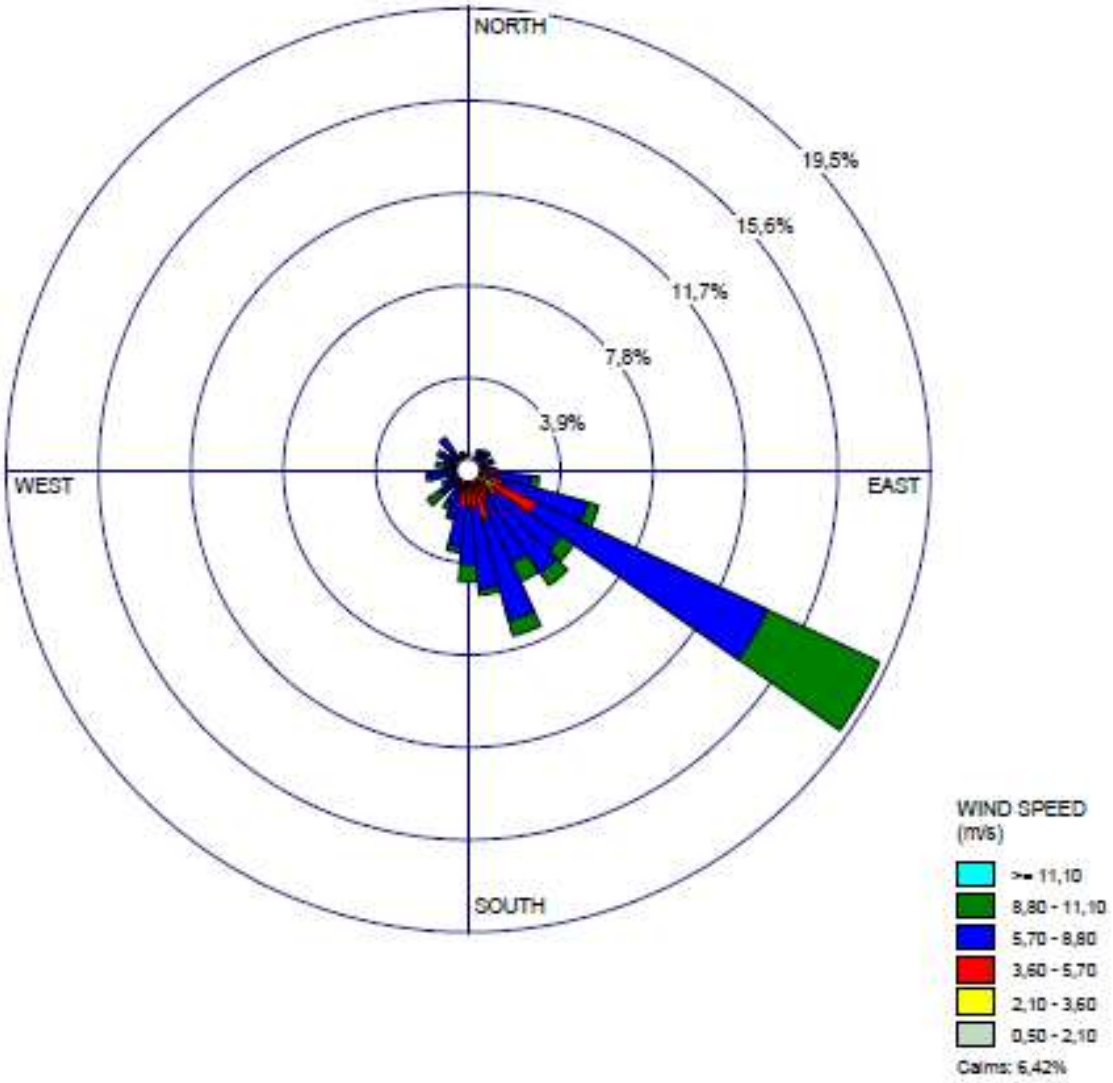


Figura 5.2. Rosa de los vientos correspondiente al sector Juan Pablo Segundo

Fuente: Los postulantes

Sabiendo que se ha tomado una medición total de 1230 horas, la figura 5.2. muestra que el 6,42% del tiempo, es decir, 78,97 horas se obtuvieron vientos calmados.

Se concluye también que el viento viene desde el sureste del punto de medición, con una velocidad máxima que oscila entre 8,80 y 11,10 m/s . Este viento se ha presentado cerca del 19,5% del tiempo, es decir, 239,85 horas.

El viento que representa el 19,5% del tiempo total, está formado también por distintas velocidades, observando que la velocidad que más se repite es la comprendida entre 5,70 y 8,80 m/s.

5.1.2. Medición de la velocidad del viento

Mediante investigación de campo realizado por un período de 4 meses en el lugar de implementación de la propuesta tecnológica se pudo obtener la medición de la velocidad del viento, misma que se realizó con un anemómetro digital de marca HoldPeak, a continuación, se presenta un gráfico de barras donde se evidencia los valores de velocidades máximas y velocidades promedio correspondientes a cada mes.

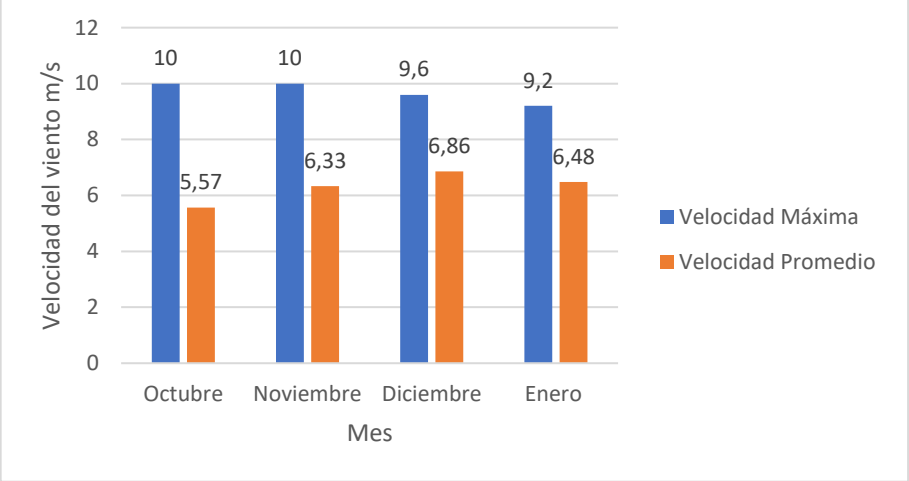


Figura 5.3. Velocidad del viento

Fuente: Los postulantes

5.2. Diseño conceptual

El diseño y ensamblaje de los componentes del aerogenerador se realizó en el Software CAD denominado SolidWorks, como se muestra en la figura 5.4.

Figura 5.4. Diseño conceptual del aerogenerador

Fuente: Los postulantes

5.3. Dimensionamiento del aerogenerador

En la tabla 5.1., se presentan los valores obtenidos mediante cálculos de los parámetros generales del viento que son importantes para iniciar con el dimensionamiento de los componentes del aerogenerador.

Tabla 5.1. Cálculos generales del viento

Ley exponencial de Hellmann	$\boldsymbol{v = 7.58\ m/s}$
Área de barrido del rotor	$A = 2.19\ m^2$
Potencia útil	$P_{útil} = 346.19\ W$

Fuente: Los postulantes

5.4. Selección de componentes

5.4.1. Sistema mecánico

5.4.1.1. Hélices

Para el diseño de las hélices se establece mantener un modelo guía el cual se basa en aerogeneradores fabricados por distintas marcas, a fin de obtener potencias bajas.

Según la marca Bóreas de manera general posee los siguientes datos:

Los Aerogeneradores Bóreas Marinos son prototipos de generadores eólicos con alta demanda de venta en el mundo. Este aerogenerador dispone una potencia de 120W en un cuerpo pequeño y ligero con regulador incorporado. Estos generadores eólicos son recomendados para sectores con vientos moderados.

- **Dimensiones del Aerogenerador Bóreas 120w**

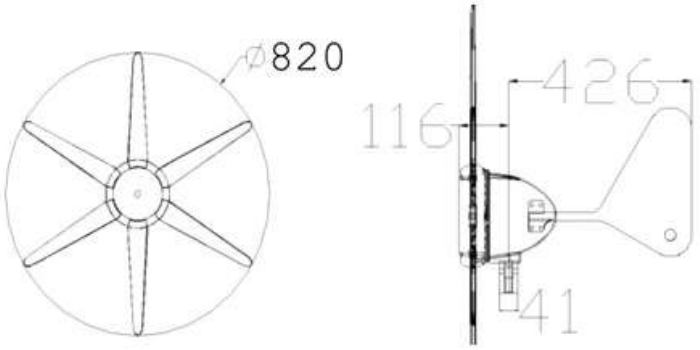


Figura 5.5 Dimensiones del Aerogenerador Bóreas

Fuente: Opitra chile

- **Características técnicas del aerogenerador**

A continuación, se muestra la ficha técnica del aerogenerador de la marca Bóreas, el cual nos indica los datos generales de la misma para su respectiva instalación, bajo estos parámetros nosotros hemos diseñado un modelo de hélices para aerogeneración con características similares aplicadas a la planta de bambú.

Tabla 5.2. Características técnicas del aerogenerador Bóreas

Marca	Bóreas
Tipo	Generador Eólico
Aplicación	Iluminación - Producción Eléctrica
Potencia Peak	120w
Potencia Nominal	110w
Voltaje	12v
Tipo de Corriente	DC
Cantidad de Aspas	6
Diámetro de las Aspas	83 cm
Tipo de Motor	Rotativo

Profundidad	60 cm
Regulador de Carga	Integrado
Cables DC	1 positivo y 1 Negativo
Velocidad Optima del Viento	12 m/s
Velocidad Máxima del Viento	25 m/s
Altura Optima	6 metros
Diámetro para Soporte	4.3 cm

Fuente: Opitra chile

Mediante el método experimental realizamos ensayos con distintas longitudes de hélices y así poder establecer una adecuada longitud para la ruptura de la inercia, iniciando con una longitud de 43 cm, obteniendo como resultado una velocidad de viento de 4 a 5m/s para iniciar la rotación, posteriormente se aumentó la longitud de la hélice hasta 68cm, obteniendo como resultado una velocidad de viento de 1.8 m/s para iniciar la rotación de las hélices, por lo que se llegó a la conclusión que la longitud de 68cm es la adecuada para iniciar con la generación eléctrica de nuestro aerogenerador.

Se establece el uso de materiales alternos para el diseño de las hélices como lo es el bambú, por lo cual se procede a realizar el análisis de fuerza y el trabajo al que va a estar expuesto. Es importante señalar que el área de trabajo en la mayoría de bambú se basa en el diámetro del mismo y en gran parte el largo que va a poseer la hélice.

Para mantener un área de arrastre del sistema según el análisis anterior mencionado se induce los siguientes datos:

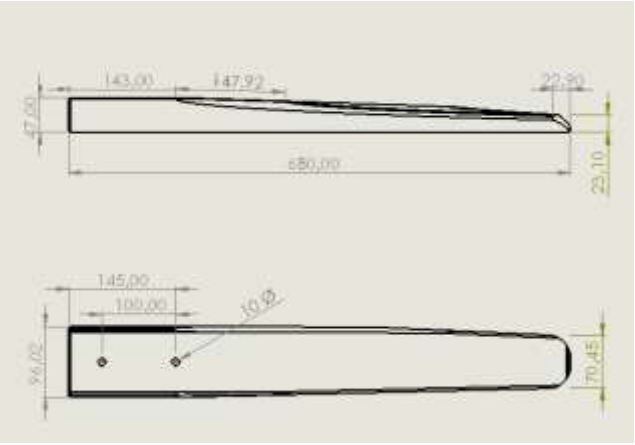


Figura 5.6. Dimensionamiento de la hélice de Bambú

Fuente: Los postulantes

- **Coeficiente de sustentación**

Se procedió a someter a la hélice a una simulación de fuerzas a una determinada dirección y velocidad de viento en el software SolidWorks, variando los ángulos desde 0 hasta 60º , para determinar la fuerza de sustentación y posteriormente mediante una fórmula determinar los coeficientes que se requiere para definir el ángulo de ataque, dando como resultado un coeficiente máximo de 3.06 a 45º siendo este valor el más alto y el que necesita las hélices para aprovechar el potencial eólico para su funcionamiento, ya que a 60º el coeficiente tiende a descender como se muestra en la tabla 5.3.

Tabla 5.3. Valores de fuerza y coeficiente de sustentación

Ángulo (º)	F_L (N)	C_L
0	0,01	0,00
15	5,81	1,45
30	9,09	2,27
45	12,24	3,06
60	9,88	2,47

Fuente: Los postulantes

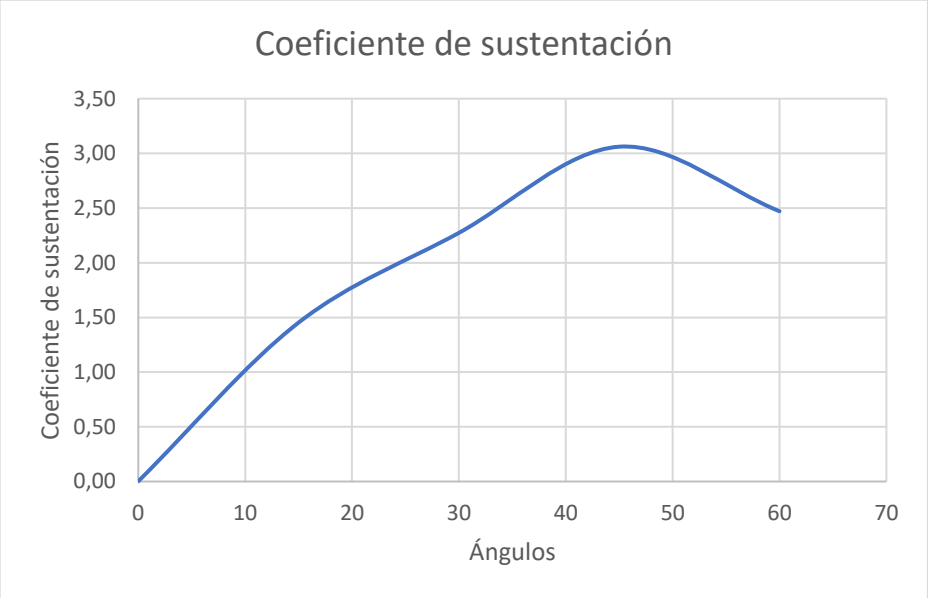


Figura 5.7. Curva de coeficiente de sustentación

Fuente: Los postulantes

- **Ángulo de ataque**

Mediante el criterio anteriormente mencionado se determina que el ángulo de ataque del aerogenerador de bambú es de 45º.

- **Selección del Material**

La tabla 5.4., se muestra los valores generales que se requiere para el cálculo de los parámetros generales de las hélices.

Tabla 5.4. Parámetros generales aplicados en las hélices

Área de ataque de una hélice	$\boldsymbol{A = 0.06528\ m^2}$
Radio total de la hélice	$r = 0.68\ m$
Masa total de una hélice	$m_{Total} = 0.428\ kg$
Velocidad promedio del viento	$v = 7.58\ m/s$
Velocidad máxima del viento	$v_{máx} = 10\ m/s$
Densidad del aire a temperatura ambiente	$\rho_a = 1.225\ kg/m^3$

Fuente: Los postulantes

- **Velocidad angular**

A continuación, en la tabla 5.5., se presenta los valores de velocidades angulares en condición de trabajo y condición máxima.

Tabla 5.5. Valores de las velocidades de giro

Velocidad angular en condición de trabajo	$\boldsymbol{11.15\ \frac{rad}{s}}$
Velocidad angular en condición máxima	$14.71\ \frac{rad}{s}$

Fuente: Los postulantes

- **Velocidad específica**

La velocidad específica se determinó con la ecuación (4.7) con lo que se obtuvo un valor de $\lambda = 1.94$.

- **Número de hélices**

Es necesario determinar el número de hélices para el adecuado funcionamiento del aerogenerador ya que es importante para el aprovechamiento del viento en un porcentaje máximo.

El número de hélices se determina en base a la velocidad específica, por lo que realizando la operación matemática de la ecuación (4.8) se obtuvo un resultado de $n = 6.4\ \approx 6$ hélices.

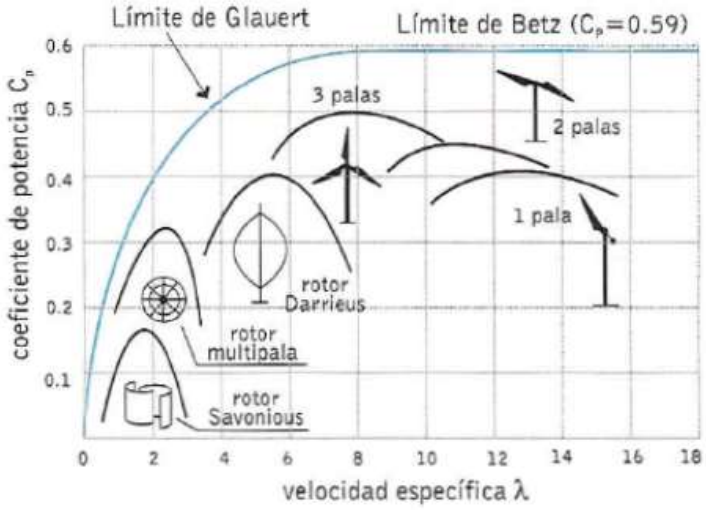


Figura 5.8. Coeficiente de potencia en función de la velocidad específica

Fuente: [4]

La figura 5.8. hace referencia al rendimiento de diferentes tipos de rotores eólicos en función a la velocidad específica.

- **Centro de masa de la hélice**

El centro de masa se obtuvo mediante el Software CAD denominado SolidWorks, el cual nos proporcionó los puntos de centro de masa que se indica a continuación.

Figura 5.9. Centro de masa de la pala de Bambú

Fuente: Los postulantes

$$rX = 46.73\,mm = 0.0467\,m$$

$$rY = 31.00\,mm = 0.031\,m$$

$$rZ = 372.71\,mm = 0.372\,m$$

- **Momento flector**

En la tabla 5.6., se muestran los valores del momento flector en condición de trabajo y condición máxima.

Tabla 5.6. Valores de momentos flectores

Momento flector en condición de trabajo	$\boldsymbol{M_x = 0.854\ N.m}$
Momento flector en condición máxima	$M_{x(máx)} = 1.487\ N.m$

Fuente: Los postulantes.

- **Fuerza centrífuga**

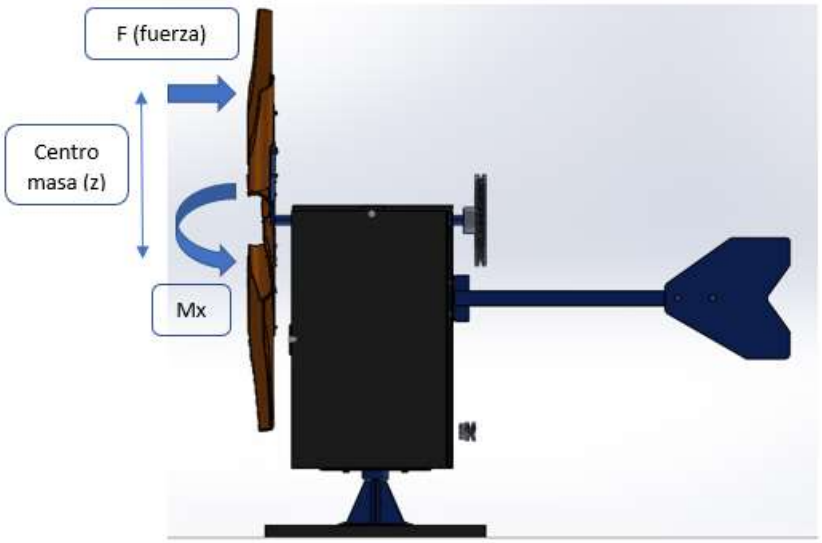


Figura 5.10. Fuerzas que actúan en el sistema de aerogeneración

Fuente: Los postulantes.

La tabla 5.7., indica los valores de las fuerzas centrífugas en condición de trabajo y en condición máxima que actúan sobre la hélice.

Tabla 5.7. Valores de fuerzas

Fuerza centrífuga en condición de trabajo	$Fcent = 19.79\ N$
Fuerza centrífuga en condición máxima	$Fcent = 34.45\ N$

Fuente: Los postulantes

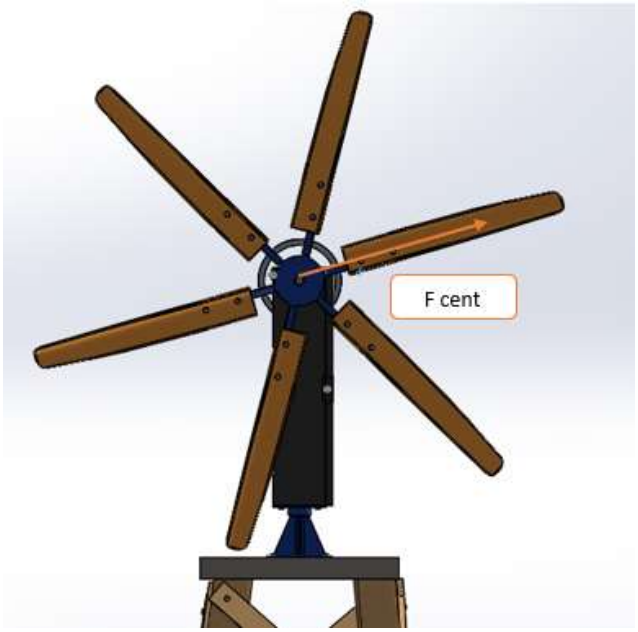


Figura 5.11. Fuerza centrífuga en las hélices

Fuente: Los postulantes.

Análisis de esfuerzos en la hélice

A continuación, se muestra el análisis de los esfuerzos que actúan en la hélice, simulando con la fuerza máxima del viento obtenida mediante la ecuación (4.13) y las propiedades mecánicas del bambú tomadas en referencia a ensayos precedentes sometidos al material, como indica la tabla 5.8.

Tabla 5.8. Parámetros del bambú para el análisis de esfuerzos

Densidad	607.65 kg/m^3
Módulo cortante	5.605 MPa
Módulo elástico	9.500 MPa
Resistencia a la Flexión	7.481 MPa

Fuente: [38]

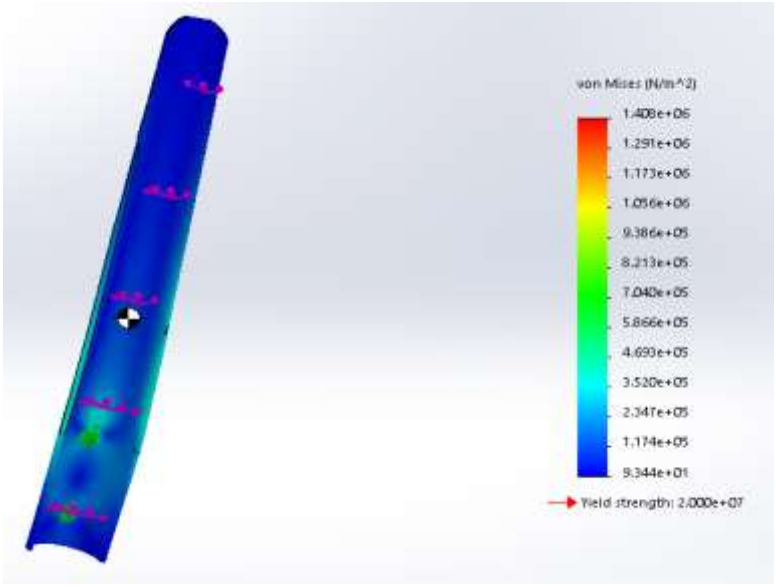


Figura 5.12. Análisis de flexión de la hélice a la fuerza del viento

Fuente: Los postulantes.

La tabla 5.9., presenta un cuadro de resumen del análisis estático realizado a la hélice donde indica los valores mínimos y máximos de la fuerza ejercida por el viento, además los nodos del mallado.

Tabla 5.9. Cuadro de resumen del análisis

Nombre	Tipo	Min	Max
Análisis estático	VON: von Mises Stress	1.165e+01 N/m^2 Node: 16104	4.125e+05 N/m^2 Node: 160

Fuente: Los postulantes.

Análisis del flujo del viento sobre las hélices

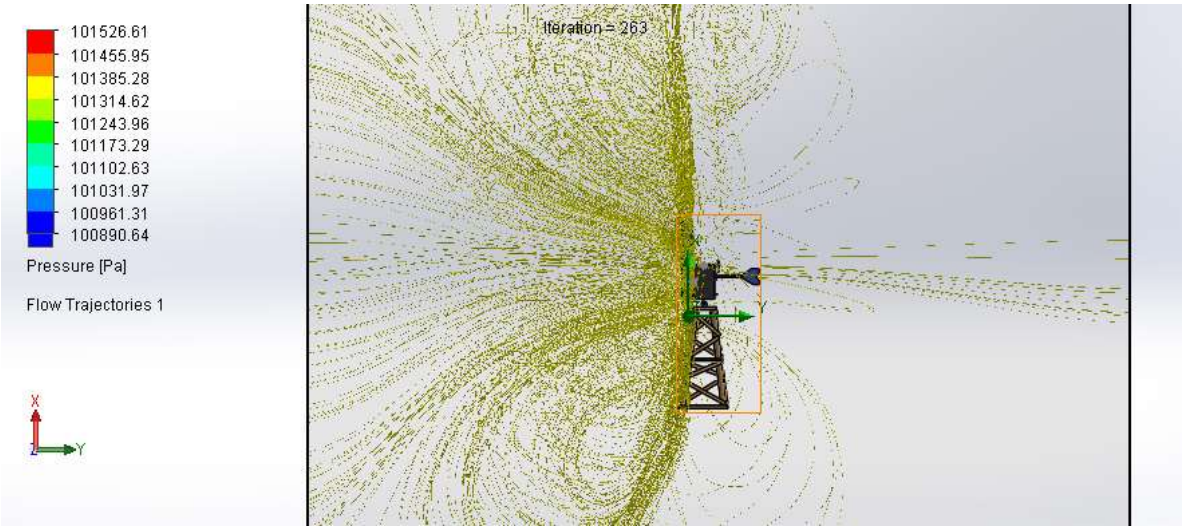


Figura 5.13. Análisis de flujo de aire (vista lateral)

Fuente: Los postulantes.

En la figura 5.13., se puede observar el flujo del viento sobre las hélices del aerogenerador, permitiéndonos visualizar el desplazamiento de la velocidad del viento en cada una de las hélices, provocando así la ruptura de la inercia y posteriormente la transformación de la energía cinética en energía mecánica, a la vez se observa también que el viento una vez que realiza el trabajo de generar el movimiento a las hélices, tiende a salir del área de barrido por todos lados formando un pequeño remolino entre sí, para luego desplazarse nuevamente a la atmósfera, mientras que ese porcentaje mínimo que no ingresó al área de giro continuó su camino de manera normal.

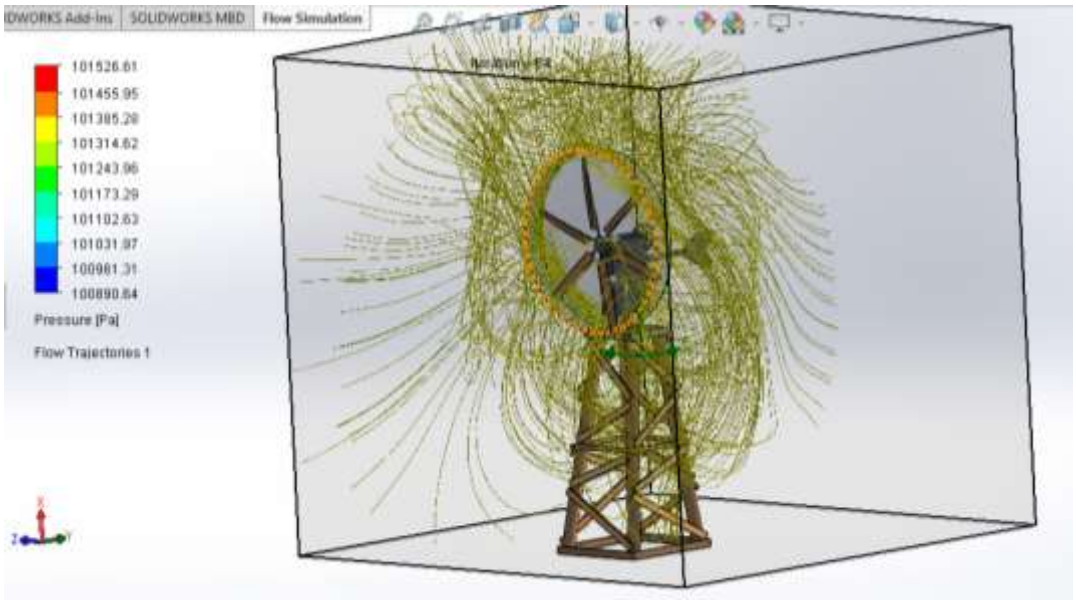


Figura 5.14. Análisis del flujo del aire (vista en 3D)

Fuente: Los postulantes.

En la figura 5.14., se puede observar de mejor manera el comportamiento del viento netamente sobre el área de giro de las hélices, su dirección adecuada para generar el movimiento entre ellas, y posterior a ello su dirección de evacuación hacia la atmósfera.

5.4.1.2. Árbol de transmisión

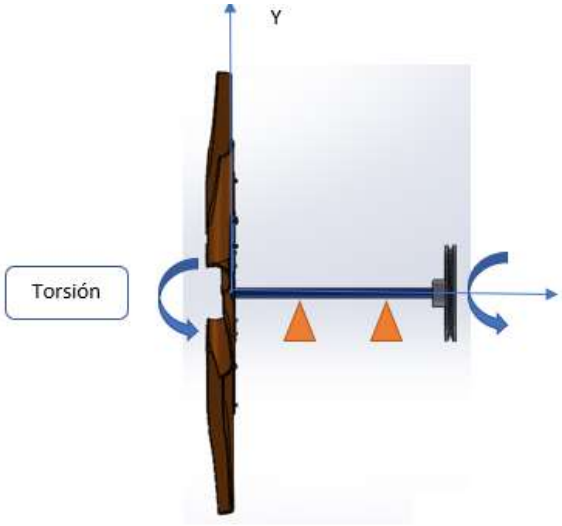


Figura 5.15. Diseño del árbol y sus elementos acoplados

Fuente: Los postulantes.

Se analiza el sistema mediante el movimiento que genera el viento sobre las hélices provocando un movimiento circular y de transmisión mediante el árbol hacia una polea, el árbol tendrá dos soportes (chumaceras).

El material que utilizaremos en el estudio es un acero de ingeniería AISI 1020 debido a que este material es de fácil adquisición y a la vez es un acero bastante económico siendo un metal que se utiliza con más frecuencia para la construcción de elementos de máquinas.

Sus propiedades mecánicas son las siguientes:

Tabla 5.10. Propiedades del acero

Dureza	111 HB
Esfuerzo de fluencia (Sy)	29.7 Ksi
Esfuerzo máximo	55.1 Ksi
Elongación	25 %
Reducción de área	50 %
Módulo de elasticidad	29.7 Ksi
Maquinabilidad	72%

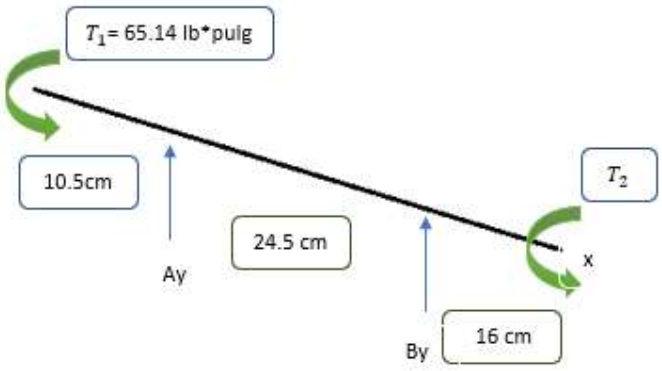
Fuente: Cía. General de Aceros (AISI 1020)

Tabla 5.11. Parámetros para el cálculo del diámetro del eje

Cálculo de la resistencia a la fatiga real	$\boldsymbol{S'n = 13.17\ Ksi}$
Factor de tamaño	$Cs = 0.813$
Torsión	$T = 65.14\ lb * pulg$

Fuente: Los postulantes.

Torsiones sobre el árbol



$$T_1 = T_2$$

Figura 5.16. Diagrama de torsiones sobre el árbol de transmisión

Fuente: Los postulantes.

Las torsiones que se ejecuta en el primer extremo (hélices) es igual al extremo final porque se transmite el mismo movimiento, y al no contar con ninguna fuerza exterior no existe reacciones externas.

Diámetro del árbol

$$D\ = 0.98\ in = 1\ in = 25.4\ mm$$

5.4.1.3. Sistema de transmisión

La tabla 5.12., muestra los valores del dimensionamiento del sistema de transmisión realizados previamente, lo que nos dio de resultado una relación de transmisión de 1 a 5.

Tabla 5.12. Parámetros del sistema de transmisión

Relación de transmisión	5.1 vueltas = 5 vueltas
Velocidad de la polea conducida	780.3 rpm
Longitud de la cuerda	163.85 cm ≈ 164 cm

Fuente: Los postulantes.

5.4.1.4. Torre

La torre está construida con una base de cañas de bambú, bajo parámetros establecidos por la norma NEC-SE-BAMBÚ que se refiere a la construcción de estructuras de bambú, para evitar que se produzca vibraciones o que la torre se incline hacia un costado se aseguró con 4 tensores elaborados bajo norma ASTM A-475, INEN 2599 sujetados con mordazas en los extremos de las cañas de bambú, tendiendo como resultado una altura final de la torre incluido el sistema de aerogeneración de 5 metros, la cual es idónea para el aprovechamiento del potencial eólico en la zona. Los soportes de la torre fueron sujetados mediante pernos tirafondos de 2in de longitud con cabeza hexagonal seleccionados de catálogo.

Tabla 5.13. Dimensiones de la torre

Dimensiones de la torre	
Altura de los bambú principales	195 cm c/u
Longitud del soporte horizontal intermedio	82 cm c/u
Longitud del soporte horizontal inferior	106 cm c/u
Longitud del soporte inclinado superior	63 y 77 cm respectivamente
Longitud del soporte inclinado inferior	86 y 104 cm respectivamente
Cubierta metálica	50 x 60 cm
Altura final de la torre	200 cm

Fuente: Los postulantes.

5.4.1.5. Veleta

En la construcción de la veleta se utilizó tubo galvanizado rectangular de 74 cm de longitud para la estructura de soporte, mientras que para el cuerpo de la veleta se utilizó lamina de aluminio de 3 mm de grosor, los elementos fueron ensamblados al gabinete eléctrico por 2 pernos hexagonales de ½ x 1in ½ seleccionados de catálogo bajo la norma ASTM F3125.

5.4.1.6. Gabinete eléctrico

El gabinete eléctrico está diseñado en base al espacio requerido por los componentes eléctricos como: generador, regulador de carga, inversor y protecciones, tomando en cuenta una distancia adecuada entre los elementos que conforman el sistema de generación eléctrica. Teniendo como resultado una longitud de 70 cm x 43.5 cm respectivamente, sujetado al guiador mediante 4 pernos hexagonales de ½ x 1in ½ seleccionados de catálogo bajo la norma ASTM F3125.

5.4.1.7. Guiador del aerogenerador

El esfuerzo normal ejercido sobre el eje vertical se calculó con la ecuación (4.25) dándonos un valor de 0.774 N/mm^2 para una sección transversal de 1 in. Se seleccionó la barra de acero construida bajo la norma AISI 1020 que es ideal para fabricación de piezas estructurales de mediana resistencia como ejes, eslabones, bujes, entre otros, sujetado a la torre mediante 4 pernos hexagonales G2 de ¾ x 1in ½ seleccionados de catálogo bajo la norma ASTM F3125.

5.4.2. Sistema eléctrico

5.4.2.1. Generador Eólico

Este elemento es seleccionado de catálogo en función a la potencia teórica del generador y de la velocidad de giro. El generador es de marca Pedal Power Generator de 12 y 24 V con una potencia de 300W. Especificaciones del elemento se puede visualizar en la sección anexos.

5.5. Estimación Teórica

Para obtener los valores de la potencia en el generador se estimó posibles pérdidas en los elementos que conforman el sistema de aerogeneración, para lo cual se realizó una investigación bibliográfica de pérdidas de potencia que afectan directamente en el rendimiento del sistema, donde se encontró que las más comunes son:

Tabla 5.14. Tipos de pérdidas existentes en generadores eólicos

Tipo de Pérdida	*Porcentaje*	*Descripción*
Energía no Aprovechable	**42%**	Ley de Betz: $P_{captada} = 0.59\, P_{viento}$
Pérdidas Aerodinámicas	**21%**	Con un coeficiente aerodinámico: $\eta = 0.65\%$
Pérdidas Mecánicas	**4.5%**	Principalmente en la caja de engranajes
Pérdidas en el Generador	**2% ~ 5.5%**	Con rendimientos del generador: $\eta = 0.93\% \sim \eta = 0.98\%$
Pérdidas Totales	**≈ 72%**	Pérdidas totales promedio

Fuente: [39]

En la tabla 5.15. se muestran los valores de las pérdidas estimadas que seleccionamos en función a la investigación realizada previamente.

Tabla 5.15. Tipos de pérdidas

TIPO DE PÉRDIDA	PORCENTAJE	DESCRIPCIÓN
Energía no Aprovechable	41%	$Ley\ de\ Betz\ P_{captada} = 59.3\%$
Pérdidas Aerodinámicas	26%	Rendimiento de la hélice 85%
Pérdidas Mecánicas	5%	Principalmente en sistemas de transmisión en poleas por tensado de la correa. Rendimiento del 95%
Pérdidas en el Generador	20%	Rendimiento del generador 80%

Fuente: Los postulantes

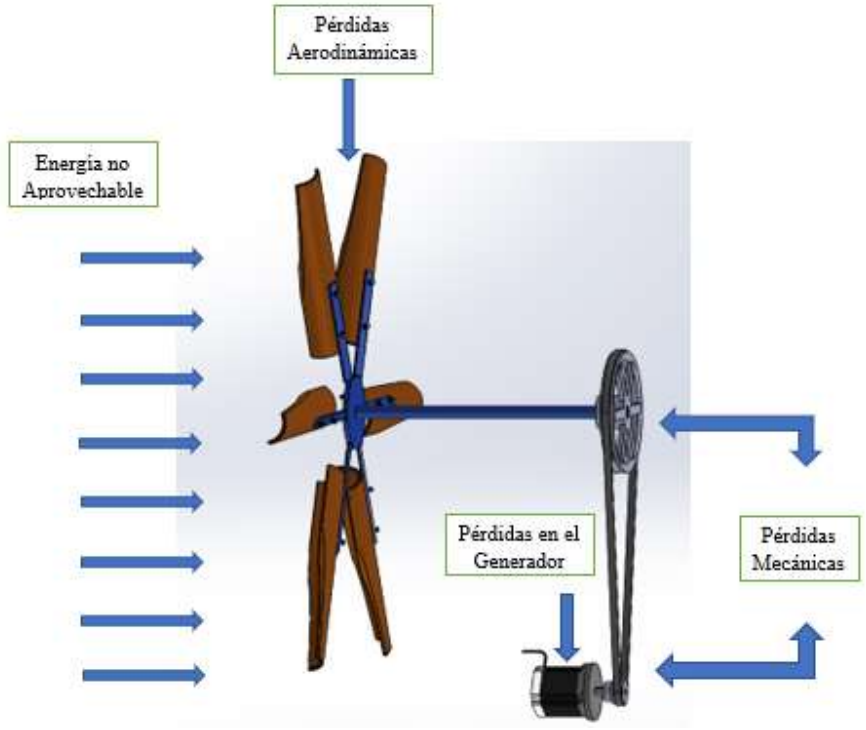


Figura 5.17. Representación de pérdidas en los elementos

Fuente: Los postulantes

En la tabla 5.14., se ilustra los datos estimados para la realización de las curvas características del sistema.

Tabla 5.16 Datos teóricos de potencia de entrada y salida

Velocidad del Viento (m/s)	Potencia disponible del viento (W)	Potencia de la turbina (W)	Potencia en el generador (W)
0,5	0	0	0
1,4	0	0	0
1,8	5,18	2,10	1,68
3	23,98	9,74	7,79

4,1	61,21	24,85	19,88
5,5	147,76	59,99	48,00
6,2	211,67	76,64	68,76
6,8	279,25	113,38	90,71
7,8	421,46	171,12	136,90
8,5	545,42	221,46	177,17
9,2	691,57	280,79	224,64
10	888,13	360,61	288,49

Fuente: Los postulantes.

5.5.1. Interpretación de la curva de potencia teórica

En el gráfico 5.16. podemos visualizar la curva de potencia resultante que hace referencia a la potencia del generador en función de la velocidad del viento, para determinar la potencia necesaria del generador se procedió a analizar las pérdidas existentes en el sistema de generación eólica y operar con la potencia de entrada que es la potencia disponible del viento

Bajo este criterio se obtuvo los siguientes resultados, observando que la potencia va de manera ascendente, es decir que mientras sube la velocidad, también sube la potencia respectivamente hasta alcanzar un máximo de 288.49W con una velocidad máxima del viento de 10m/s como se muestra en la figura 5.18.

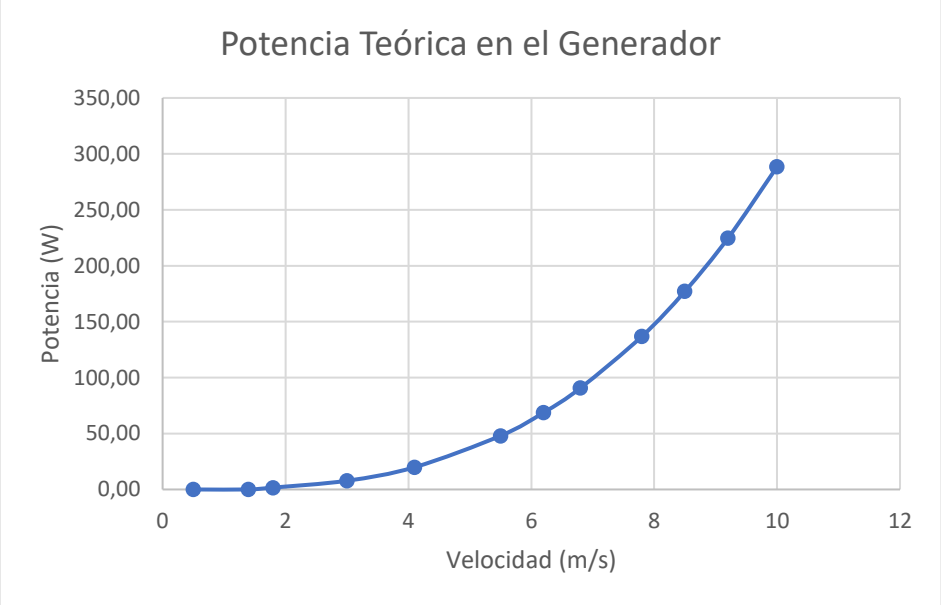


Figura 5.18. Curva de Potencia estimada en el generador vs Velocidad

Fuente: Los postulantes

5.5.2. Interpretación de la Potencia disponible

Para la realización de la potencia disponible se consideró los parámetros tales como la densidad del aire, el área de barrido y las diferentes velocidades que inciden en el aerogenerador, la cual

nos indica que la potencia disponible también sube en función de la velocidad del viento, se observa que la generación de potencia inicia a una velocidad de 1.8m/s obteniendo una potencia disponible de 5.18 W y una potencia disponible del viento máxima de 888.13 W a una velocidad de 10 m/s, como se muestra en la figura 5.19.

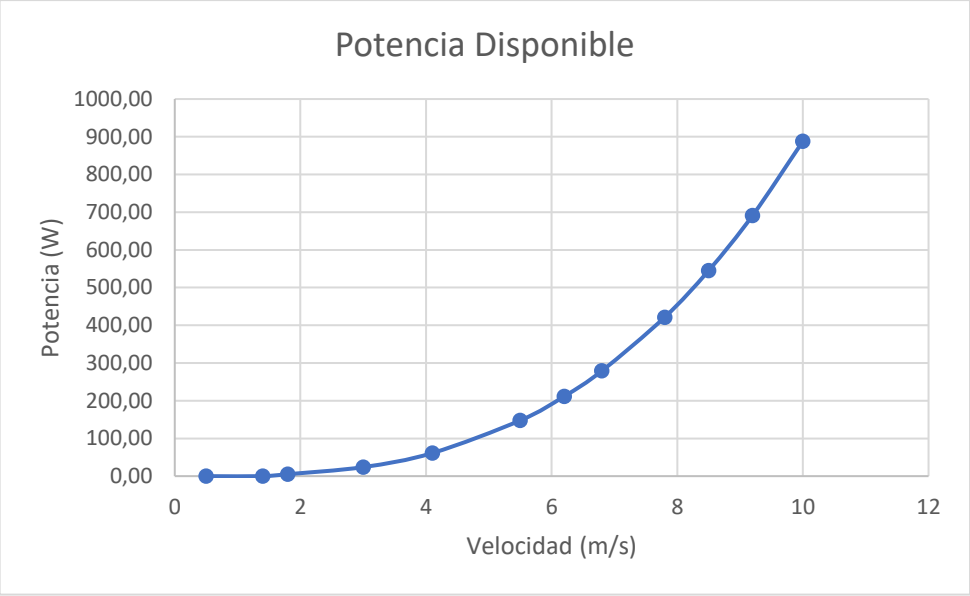


Figura 5.19. Curva de potencia disponible vs velocidad

Fuente: Los postulantes

5.5.3. Coeficiente de Potencia

Es importante determinar el coeficiente de potencia del aerogenerador que es definido por la potencia de salida sobre la potencia de entrada, por lo que se determinó un rendimiento teórico medio de 32.48%, este rendimiento es admisible ya que el límite de Betz indica que el rendimiento aerodinámico máximo de una máquina eólica por más sofisticada que sea no puede exceder del 59.3%.

6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

6.1. Presupuesto para la implementación del aerogenerador de bambú

En la tabla 6.1 se resume todos los costos de materiales y suministros que se requiere para la implementación del sistema de aerogeneración, cabe mencionar que los materiales fueron adquiridos de manera directa por lo tanto los costos son reales, para detalles más específicos se puede visualizar en la sección anexos.

Tabla 6.1. Presupuesto total de la propuesta tecnológica

RUBRO	VALOR
Costos Directos	428.25
Costos Indirectos	43.00
Mano de obra	1040.00
INVERSIÓN TOTAL	**$ 1511.25**

6.2. Análisis de impactos

- **Impacto Ambiental**

La propuesta tecnológica que estamos presentando es netamente amigable con el medio ambiente, ya que la implementación de este sistema no necesita la quema de líquidos combustibles para la generación eléctrica, evitando así la emisión de gases contaminantes para su generación como: (Dióxido de sulfuro SO2, Monóxido de carbono CO, Dióxido de carbono CO2) en comparación con las centrales térmicas, de la misma forma no necesita de alteraciones al caudal de fuentes fluviales de esta manera se obtiene un método de generación a base de energías limpias y sin alteración del entorno.

- **Impacto económico**

En relación con implementaciones de aerogeneradores eléctricos que se encuentran en el mercado, la propuesta tecnológica representa un gran porcentaje de ahorro económico en cuanto a costos de implementación y mantenimiento ya que la utilización de materiales que son de bajo costo, y de fácil adquisición, determinan una obtención igual o superior para la obtención de potencia eléctrica, a un precio módico y accesible para todas aquellas personas que requieran el servicio.

- **Impacto social**

Este tipo de proyectos son innovadores, ya que generalmente los aerogeneradores son de materiales estandarizados para su fabricación, los mismos que la gente no conoce o no está relacionado con ellos, es por eso que la propuesta tecnológica busca y aplica alternativas que logren la generación de energía eléctrica, utilizando una fuente renovable existente en cualquier parte del Ecuador como es la energía eólica, y a la vez haciendo uso de materiales propios de nuestro país como es el bambú, aprovechando así sus propiedades físicas y mecánicas para el

dimensionamiento de los elementos esenciales para la generación eléctrica mediante la fuerza del viento.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- El bambú es un material altamente resistente, por lo cual se determinó que puede ser utilizado para este tipo de sistemas, ya que no presenta fisuras o daños del mismo al ser sometido a altas velocidades de viento entre 7 y 10 m/s.
- Mediante la realización de pruebas experimentales sobre las hélices del aerogenerador, se pudo obtener como resultado una longitud final de 68 cm rompiendo la inercia con una velocidad de 1.8 m/s.
- Mediante la potencia disponible y una estimación de pérdidas existentes en los elementos que conforman el sistema de aerogeneración, se logró obtener una potencia máxima de 288.49 W a una velocidad máxima de 10 m/s.
- Se determinó el coeficiente de potencia que se encuentra comprendido entre la potencia disponible y la potencia en el generador a la velocidad máxima del viento, dándonos como resultado un rendimiento medio de 32.48 %, siendo un valor de rendimiento aceptable en función al principio de Betz para aerogeneradores.

7.2. RECOMENDACIONES

- Hacer uso de los recursos naturales existentes y disponibles en el país para la implementación de nuevos sistemas de generación eléctrica, y de esta manera evitar la contaminación ambiental y los cambios climáticos.
- Investigar acerca de materiales alternativos que pueden ser utilizados para el diseño y construcción de nuevos sistemas, y disminuir la utilización de materiales tradicionales como el acero.
- Obtener el rendimiento real del aerogenerador de bambú, mediante un sistema de adquisición de datos.
- Realizar un estudio en el cual se pueda determinar las pérdidas reales del aerogenerador de bambú mediante la instalación de este sistema a una demanda de carga.

8. REFERENCIAS

[1] E. Telégrafo. "La versatilidad del Bambú abre fuentes de empleo en Ecuador " (accessed.

[2] C. Walker. "Bambú: ¿Una alternativa viable para reforzar el concreto ?" https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-367829/bambu-una-alternativa-viable-para-reforzar-el-concreto (accessed.

[3] F. Molina and L. Pacheco, "Construcción de un generador eólico de bajas revoluciones para la escuela fiscal mixta Portoviejo ubicada en el sector de Cuchitingue parroquia Aláquez canton Latacunga ", Universidad técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2014.

[4] D. Cevallos and R. Guacho, "Diseño y contrucción de un prototipo de generador eólico para una potencia de 200 watts," Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2013.

[5] A. I. d. l. Energía. "Argumentos a favor de las energías renovables-Sostenibilidad para todos " (accessed.

[6] V. V. Olave and I. N. Fuentes. "Tipos de Energías Renovables " https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/costosernc/Quienes_Somos.html (accessed.

[7] O. Salazar, J.L, M. H. Badii, A. Guillen, and O. L. Serato, "Historia y Uso de Energías Renovables ", UANL, Mexico 2015.

[8] H. D. P. Barrezueta. "Suplemento " (accessed.

[9] M. Noristz. "Ecuador aprovecha responsablemente la energía eólica " (accessed.

[10] P. F. Díez, "Energía eólica ": Universidad de Cantabria 1993.

[11] L. A. T. Jaya and E. M. A. Ruiz, "Implementación de un sistema híbrido eólico-solar para la generación eléctrica en la hacienda Barrancas de la Empresa Novopan del Ecuador S.A de la proviencia de Cotopaxi ", Universidad Técnica de Cotopaxi Latacunga, 2018.

[12] L. A. Sola and J. Z. Gabasa, "Diseño de un aerogenerador de eje vertical tipo savonius para electrificación rural ", Escuela Técnica superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación Panplona 2012.

[13] L. V. C. Monar, "Diseño y construcción de un generador eólico de eje vertical tipo savonius para producir 20 watts ", Escuela Politécnica Nacional Quito 2015.

[14] C. d. E. Renovables, D. N. d. Promoción, and S. d. E. Eléctrica, *Energías Renovables-Energía Eólica* 2008.

[15] S. G. M. Urgiles, "Analisis técnico del mini-parque eólico de la Universidad de Cuenca: comparación de aerogeneradores de eje horizontal y vertical.," Universidad de Cuenca Cuenca 2018.

[16] I. Mártil. "Historia de la energía eólica: del origen a la II guerra mundial " https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/innovacion/historia-de-la-energia-eolica-del-origen-a-la-ii-guerra-mundial/ (accessed.

[17] D. A. M. Rivera and D. X. J. Toromoreno, "Ubicación de un parque de Energía Eólica en la Costa Ecuatoriana ", Unibversidad San Francisco de Quito Quito 2008.

[18] I. Montalvo and J. Cabezas, "Diseño de Prototipo de Aerogenerador con almacenamiento de energía, monitoreado por un sistema SCADA," Universidad San Francisco De Quito, Quito, 2011.

[19] D. D. B. Figueroa, "Implementacion de proyectos de generación eólica en el Ecuador ", Escuela Politécnica Nacional Quito 2005.

[20] Twenergy. "Ventajas de la energía eólica " (accessed.

[21] P. A. M. Cortés, "Energía Eólica: ventajas y desventajas de su utilizaciónen Colombia," Instituto de Posgrados de Ingeniería Bogotá 2013.

[22] P. C. Rodriguez and N. J. Simón, "Aerogeneradores (I): funcionamiento y marco normativo de prevención de riesgos laborales," Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo 2014.

[23] D. Sanz. "Componenetes de un aerogenerador " https://energiasrenovadas.com/componentes-de-un-aerogenerador/ (accessed.
[24] F. J. L. Menjivar, F. J. O. Ramos, and E. B. V. Gómez, "Diseño y construcción de un prototipo de aerogeneradir de baja potencia ", Universidad de El Salvador Ciudad Universitaria 2017.
[25] D. C. Costa, T. S. Campos, and C. D. Vásquez, "Modelo de un Aerogenerador de Baja Potencia y Bajo Coste ", Universidad Politécnica de Catalunya España
[26] J. C. A. Nuñez, "Diseño y construcción de un Prototipo de Generador Eólico de Eje Vertical ", Universidad de Chile Santiago de Chile 2004.
[27] E. J. C. Santander and P. E. C. Pujota, "Diseño y construcción de un dispositivo aerogenerador de eje vertical con capacidad mínima de 500 vatios de energía eléctrica ", Universidad Politécnica Salesiana Quito, 2013.
[28] F. Gonzalez, "Energía Eólica " in *Sistemas de Generación Distribuida* 2008.
[29] M. F. T. d. l. Vega, "Modelamiento de un micro aerpgenrador en sistemas de generación distribuida para el sector residencial. ," Universidad Politécnica Salesiana Quito 2015.
[30] S. M. García, "Bambú como material estructural: Generalidades, aplicaciones y modelización de una estructura tipo," Universitat Politécnica de Valencia Valencia 2015.
[31] M. Añazco and S. Rojas. "Estudio de la cadena desde la producción al consumo del bmabú en ecuador con énfasis en la especie Guadua angustifolia." (accessed.
[32] A. C. J, C. I. J, R. V. B, J. S. J, and C. B. L, "Sistemas de Producción de Bambú enla Sierra Nororiental de Puebla, Mexico ", Colegio de Postgraduados Campus Puebla Mexico 2018.
[33] A. l. Tegola, L. O. Y. Roca, W. V. M. Ortiz, and P. L. C. Alcívar, "DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA CAÑA GUADUA," Universidad Católica se Santiago de Guayaquil Guayaquil, 2015.
[34] E. Y. T. Franco, "Bambú, una cultura y una evolución cuatro conceptos-tres arquitecturas ", Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, 2017.
[35] O. d. L. Bugallo, "Desarrollo de la comunidad de hueytamalco puebla méxico a través del bambú como material industrial," Universidad Autónoma de Nuevo León Nuevo León, 2014.
[36] E. C. G. Enríquez, "Proyecto de factibilidad para la creación de una empresa productora y comercializadora de pisos de bambú en la ciudad de quito," Universidad Politécnica Salesiana Quito, 2012.
[37] E. Ramirez and S. Vivanco, "Análisis de parámetros meteorológicos utilizando el modelo de la rosa de los vientos ", Universidad Autónoma de Nuevo León 2007.
[38] J. R. M. Molina and M. L. C. Puentes, "Determición de las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth," Facultad de Ingeniería, Universidad católica de Colombia Bogotá, 2018.
[39] J. M. G. Alvarez and J. C. G. Tangarona, "Generación eólica empleando distintos tipos de generadores considerando su impacto en el sistema de potencia " *Scielo*, Artículo Científico 2011.

9. ANEXOS

Anexo A	**Mediciones de Velocidad del viento tomados en el sector Juan Pablo Segundo** **Promedio de datos correspondientes al mes de octubre del 2020**	1/4

Fecha	Velocidad promedio al día	Velocidad mínima al día	Velocidad máxima al día	Dirección del viento	Velocidad promedio al mes
01/10/2020	6,8	2,2	9,3	79	5,57
02/10/2020	5,4	1,1	9,1	78	5,57
03/10/2020	5,7	0	10	131	5,57
04/10/2020	5,1	1,5	8,8	166	5,57
05/10/2020	6,2	0	8,3	111	5,57
06/10/2020	5,7	0,4	7,6	294	5,57
07/10/2020	4,9	0	8	298	5,57
08/10/2020	5,1	0,7	8,7	24	5,57
09/10/2020	4,7	0	8,9	124	5,57
10/10/2020	5,1	0,4	9,9	333	5,57
11/10/2020	5,9	0,9	9,1	335	5,57
12/10/2020	4,8	0,3	9,7	343	5,57
13/10/2020	5,1	1,5	8,8	348	5,57
14/10/2020	7	0,5	9,2	205	5,57
15/10/2020	5,2	1,1	9,4	112	5,57
16/10/2020	4,1	1,3	9,5	60	5,57
17/10/2020	4,9	0,3	8,6	71	5,57
18/10/2020	6,3	0	8,1	72	5,57
19/10/2020	5,8	1,2	9,3	52	5,57
20/10/2020	5,3	0,4	8,1	21	5,57
21/10/2020	5,4	0,7	8,9	262	5,57
22/10/2020	6,7	0	9,5	341	5,57
23/10/2020	5,8	0,8	10	298	5,57
24/10/2020	7,1	0	9,6	276	5,57
25/10/2020	6,9	0,5	8,5	138	5,57
26/10/2020	5,5	1,5	9,7	25	5,57
27/10/2020	5,8	0,4	9,4	28	5,57
28/10/2020	4	0,6	8,6	226	5,57
29/10/2020	5,5	1,6	10	319	5,57
30/10/2020	4,5	0,9	9,6	340	5,57
31/10/2020	6,4	0,3	8,8	341	5,57

Anexo B	**Mediciones de Velocidad del viento tomados en el sector Juan Pablo Segundo** **Promedio de datos correspondientes al mes de noviembre del 2020**	2/4

Fecha	Velocidad promedio al día	Velocidad mínima al día	Velocidad máxima al día	Dirección del viento	Velocidad promedio al mes
01/11/2020	5,9	0,3	10	120	6,33
02/11/2020	6,9	0,9	7,9	121	6,33
03/11/2020	6,7	2,2	8,1	120	6,33
04/11/2020	7,2	0	9,3	119	6,33
05/11/2020	7,8	0,8	8,9	119	6,33
06/11/2020	5,3	2,1	8,2	119	6,33
07/11/2020	6,1	0	8,8	118	6,33
08/11/2020	5,5	0,6	8	119	6,33
09/11/2020	7	0,4	9,1	118	6,33
10/11/2020	6,4	0,8	8,9	159	6,33
11/11/2020	6,2	2,5	8,7	154	6,33
12/11/2020	6,6	0	9	283	6,33
13/11/2020	7,1	1,3	9,7	323	6,33
14/11/2020	5,1	1,1	7,4	258	6,33
15/11/2020	6,9	0,4	9	187	6,33
16/11/2020	7,4	0,9	10	98	6,33
17/11/2020	6,2	2,4	9	289	6,33
18/11/2020	5,8	0,5	8,8	133	6,33
19/11/2020	7	1,2	8,7	131	6,33
20/11/2020	5,5	0,4	8,3	157	6,33
21/11/2020	6,8	1,8	8,9	174	6,33
22/11/2020	4,7	0,8	8,3	169	6,33
23/11/2020	6,9	0,7	10	126	6,33
24/11/2020	5,1	1,2	9	110	6,33
25/11/2020	6,7	0,4	8,4	106	6,33
26/11/2020	4,9	0	8,6	108	6,33
27/11/2020	6,4	0,5	9,1	181	6,33
28/11/2020	7,1	1,1	9,8	224	6,33
29/11/2020	6,9	0	10	234	6,33
30/11/2020	5,7	0,9	8,4	222	6,33

Anexo C	**Mediciones de Velocidad del viento tomados en el sector Juan Pablo Segundo** **Promedio de datos correspondientes al mes de diciembre del 2020**	3/4

Fecha	Velocidad promedio al día	Velocidad mínima al día	Velocidad máxima al día	Dirección del viento	Velocidad promedio al mes
01/12/2020	6,9	0,7	8,7	121	6,86
02/12/2020	7,3	1,1	8,9	130	6,86
03/12/2020	8	0,9	8,5	151	6,86
04/12/2020	5,9	0,4	8	155	6,86
05/12/2020	6,5	1,4	9	165	6,86
06/12/2020	7,2	0,4	7,9	201	6,86
07/12/2020	6,9	0,3	9,1	152	6,86
08/12/2020	8,3	0	8,4	141	6,86
09/12/2020	6,1	0	8,7	126	6,86
10/12/2020	5,6	1,5	8,3	144	6,86
11/12/2020	6,3	0	9,1	234	6,86
12/12/2020	7,9	0,9	8,9	342	6,86
13/12/2020	6,5	0	7,8	358	6,86
14/12/2020	5,8	2,1	8	353	6,86
15/12/2020	7,3	0,9	8,9	236	6,86
16/12/2020	6,2	0,6	9,6	244	6,86
17/12/2020	8,2	0,8	9,3	266	6,86
18/12/2020	6,4	0	8,8	311	6,86
19/12/2020	7,3	1,3	8,1	300	6,86
20/12/2020	4,9	0	8,2	276	6,86
21/12/2020	6,6	0,7	9,3	120	6,86
22/12/2020	8,5	0,7	9,4	177	6,86
23/12/2020	6,9	0,6	8,1	145	6,86
24/12/2020	5,3	0,5	8,4	137	6,86
25/12/2020	6,7	0,7	9,4	150	6,86
26/12/2020	6,8	2,8	9,6	167	6,86
27/12/2020	6,9	0,5	9	176	6,86
28/12/2020	7,1	0,5	9,4	176	6,86
29/12/2020	6,8	2	8,2	164	6,86
30/12/2020	7,5	0,4	9,1	161	6,86
31/12/2020	8,1	0	9,3	84	6,86

Anexo D	Mediciones de Velocidad del viento tomados en el sector Juan Pablo Segundo Promedio de datos correspondientes al mes de enero del 2021	4/4

Fecha	Velocidad promedio al día	Velocidad mínima al día	Velocidad máxima al día	Dirección del viento	Velocidad promedio al mes
01/01/2021	6,8	0,4	9,3	102	6,48
02/01/2021	5,4	1,1	9,1	102	6,48
03/01/2021	7,4	0	10	174	6,48
04/01/2021	6,6	1,5	8,8	175	6,48
05/01/2021	7,2	0	8,3	210	6,48
06/01/2021	6,7	0,9	7,6	213	6,48
07/01/2021	6,1	0	8	179	6,48
08/01/2021	5,1	1,1	8,7	209	6,48
09/01/2021	5,4	0	8,9	172	6,48
10/01/2021	7,2	1,6	9,9	147	6,48
11/01/2021	5,9	0	9,1	156	6,48
12/01/2021	6,8	0,7	9,7	161	6,48
13/01/2021	6,5	0	8,8	161	6,48
14/01/2021	7	0,5	9,2	166	6,48
15/01/2021	5,2	1,1	9,4	154	6,48
16/01/2021	7,1	1,3	9,5	146	6,48
17/01/2021	4,9	0,3	8,6	125	6,48
18/01/2021	6,3	0	8,1	123	6,48
19/01/2021	6,7	1,5	9,3	131	6,48
20/01/2021	5,9	0,4	8,1	130	6,48
21/01/2021	7	0,7	8,9	123	6,48
22/01/2021	6,7	2,1	9,5	131	6,48
23/01/2021	8	0	10	130	6,48
24/01/2021	7,1	1,8	9,6	135	6,48
25/01/2021	6,9	0	8,5	139	6,48
26/01/2021	6,5	0,8	9,7	146	6,48
27/01/2021	5,8	0,4	9,4	142	6,48
28/01/2021	6,8	1,9	8,6	152	6,48
29/01/2021	5,5	1,2	10	160	6,48
30/01/2021	7,9	0,5	9,6	143	6,48
31/01/2021	6,4	0,3	8,8	141	6,48

Anexo E	MEMORIA DE CÁLCULO	1/1

- **Ley exponencial de Hellmann**

$$\frac{v}{v_o} = \left(\frac{\mathrm{h}}{h_o}\right)^{\propto}$$

$$\frac{v}{6.31} = \left(\frac{5}{2}\right)^{0.2}$$

$$\boldsymbol{v = 7.58\ m/s}$$

- **Área de barrido del rotor**

$$A = \pi * \frac{D^2}{4}$$

$$A = \pi * \frac{(167)^2}{4}$$

$$A = 21903.9\ cm = \boldsymbol{2.19\ m^2}$$

- **Potencia útil máxima**

$$P_{útil\ máx} = \frac{8\ \rho\ A\ v^3}{27}$$

$$P_{útil\ máx} = \frac{8\ (1.225)(2.19)\ (7.58)^3}{27}$$

$$\boldsymbol{P_{útil}\ = 346.19\ W}$$

- **Coeficiente de sustentación**

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} * \rho * v^2 * A_h}$$

$$C_L = \frac{12.24}{\frac{1}{2} * 1.225 * 10^2 * 0.06528}$$

$$\boldsymbol{C_L = 3.06}$$

- **Velocidad angular**

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$\omega = \frac{7.58\ m/s}{0.68\ m} = \boldsymbol{11.15\ \frac{rad}{s}}\ (condiciones\ de\ trabajo)$$

$$\omega = \frac{10\ m/s}{0.68\ m} = \boldsymbol{14.71\ \frac{rad}{s}}\ (condiciones\ máximo)$$

- **Velocidad específica**

$$\lambda = \frac{\omega * r}{v}$$

$$\lambda = \frac{14.71 * 0.68}{10}$$

$$\boldsymbol{\lambda = 1.943}$$

- **Número de hélices**

$$n = \frac{4\pi}{\lambda}$$

$$n = \frac{4\pi}{1.943}$$

$$\boldsymbol{n = 6.4}\ Hélices$$

- **Fuerza del viento**

$$Fv = \frac{1}{2} * \rho_a * A * v^2$$

$$Fv = \frac{1}{2}(1.225)(0.06528)(7.58)^2$$

$$\boldsymbol{Fv = 2.297\ N}$$

- **Momento flector**

$$Mx = Fv * rZ$$

$$Mx = (2.297\ )(0.372)$$

$$\boldsymbol{Mx = 0.855\ N.m}\ \textit{(condición de trabajo)}$$

$$M_{x(máx)} = \frac{1}{2} \cdot \rho a \cdot A \cdot {v_{máx}}^2 \cdot rZ$$

$$M_{x(máx)} = \frac{1}{2}(1.225)(0.06528)(10)^2(0.372)$$

$$\boldsymbol{M_{x(máx)} = 1.487\ N.m}\ \textit{(condición máxima)}$$

- **Fuerza centrífuga**

$$F_C = m_{Total} * rZ * \omega^2$$

$$F_C = (0.428)(0.372) * (11.15)^2$$

$$\boldsymbol{F_C = 19.79\ N}\ (\textit{condición de trabajo})$$

$$F_{C(máx)} = m_{Total} * r_{GX} * {\omega_{máx}}^2$$

$$F_{C(máx)} = (0.428)(0.372)(14.71)^2$$

$$\boldsymbol{F_{C(máx)} = 34.45\ N}\ \textit{(condición máxima)}$$

- **Diámetro del Árbol**

$$\mathrm{D} = \left[\frac{32 * \mathrm{N}}{\pi} * \sqrt{(\mathrm{Kt} * \frac{\mathrm{M_f}}{\mathrm{s'n}})^2 + \frac{3}{4} * [\frac{\mathrm{T}}{\mathrm{S_y}}]^2}\right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = \left[\frac{32 * 2.5}{\pi} * \sqrt{(1 * \frac{57.44}{1317})^2 + \frac{3}{4} * [\frac{65.14}{29700}]^2}\right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 0.98\ in = 1\ in = \boldsymbol{25.4\ mm}$$

- **Cálculo de la resistencia real a la fatiga**

$$S'n = S_n(C_m)(C_{st})(C_R)(C_s)$$

$$S'n = 20\,Ksi(1)(1)(0.81)(0.813)$$

$$\boldsymbol{S'n = 13.17\,Ksi}$$

- **Factor de tamaño**

$$C_s = \left(\frac{D}{7.62}\right)^{-0.11}$$

$$Cs = \left(\frac{50}{7.62}\right)^{-0.11}$$

$$\boldsymbol{Cs = 0.813}$$

- **Cálculo de torsión**

$$T = F\ x\ d$$

$$T = 19.79\ x\ 0.372$$

$$T = 7.36\ N.m = \boldsymbol{65.14\ lb * pulg}$$

Sistema de transmisión

- **Relación de transmisión**

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2}$$

$$i = \frac{25.5}{5}$$

$$\boldsymbol{i = 5.1\ (vueltas)}$$

- **Velocidad de la polea conducida**

$$n_2 = \frac{n_1 * D_1}{D_2}$$

$$n_2 = \frac{153 * 25.5}{5}$$

$$\boldsymbol{n_2 = 780.3\ rpm}$$

- **Longitud de la banda**

$$L_a = \frac{2\pi r_1}{2} = \pi r_1 = \pi * 12.5\ cm = 39.27\ cm$$

$$L_b = \frac{2\pi r_2}{2} = \pi r_2 = \pi * 2.5\ cm = 7.85\ cm$$

$$L_c = \sqrt{(r_1 - r_2)^2 + d^2} = \sqrt{(12.5 - 2.5)^2 + (57.5)^2} = 58.36\ cm$$

$$L_{TB} = L_a + L_b + 2L_c$$

$$L_{TB} = 39.27 + 7.85 + 2(58.36)$$

$$\boldsymbol{L_{TB} = 163.85\ cm}$$

- **Guiador del aerogenerador**

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{392\ N}{506.7\ mm^2}$$

$$\boldsymbol{\sigma = 0.774\ N/m^2}$$

Anexo F	**PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**	1/1

COSTOS DIRECTOS

Descripción	**Cantidad**	**Unidad**	**Valor por unidad**	**Valor total**
Generador eólico	1	U	200.00	200.00
Cañas de bambú	2	9 m c/u	7.00	14.00
Medias duelas de eucalipto	8	U	1.25	10.00
Tol de 2 mm	1/2	Planchas	35.00	35.00
Tol de 4 mm	1/2	Planchas	70.00	70.00
Platina	1	U	5.00	5.00
Ángulo	1	U	5.00	5.00
Chumaceras	2	U	5.00	10.00
Ruliman	1	U	8.00	8.00
Árbol	1	U	18.00	18.00
Polea de transmisión de 25.5 cm	1	U	6.00	6.00
Polea de transmisión de 5 cm	1	U	2.20	2.20
Banda	1	U	5.00	5.00
Chapa	1	U	0.25	0.25
Bisagras	4	U	0.50	2.00
Pintura	1	Litro	10.00	10.00
Barniz	1	Litro	19.00	19.00
Pernos, tuercas, rodelas	22	U	0.20	4.40
Tornillos cabeza hexagonal	48	U	0.05	2.40

Vidrio de suelda	1	U	0.50	0.50
Electrodos 6011	1	Libra	1.50	1.50
TOTAL				**428.25**

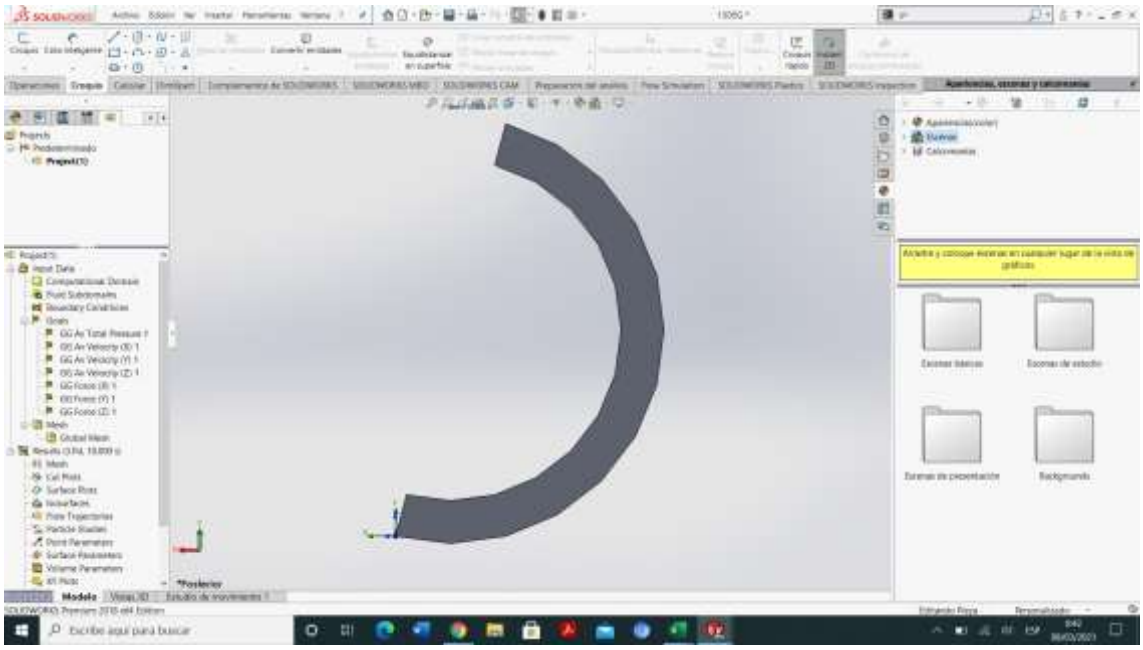
COSTOS INDIRECTOS				
Descripción	Cantidad	Unidad	Valor por unidad	Valor total
Transporte	20	U	20.00	20.00
Hojas de papel bon	1	Resmas	3.00	3.00
Imprevistos				20.00
TOTAL				**$ 43.00**

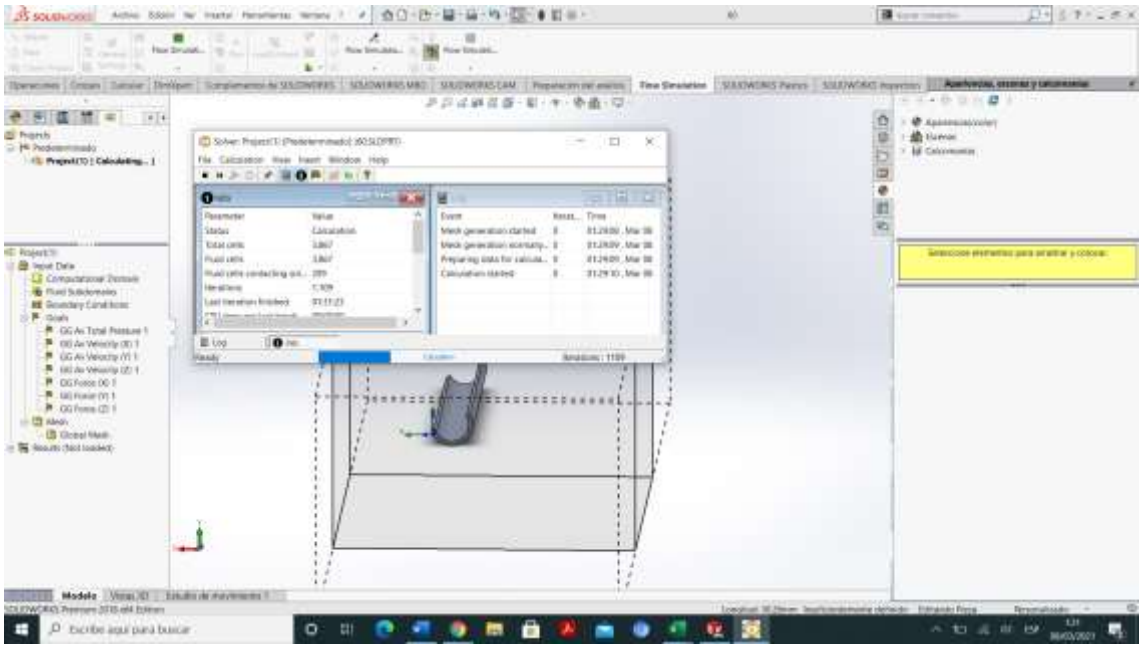
MANO DE OBRA				
Rubro	Cantidad	Unidad	Valor por unidad	Valor total
Tornero	3	Horas	10.00	30.00
Carpintero	1	Hora	10.00	10.00
Mano de obra	1	Mes	500.00	1000.00
TOTAL				**$ 1040.00**

Anexo G	**ESPECIFICACIONES DEL GENERADOR**	1/1

ESPECIFICACIONES	
Marca	Pedal Power Generador
Modelo	Mns-300-DC
Dimensiones del articulo	10x5x7 pulgadas
Peso del articulo	8 libras
Color	Black
Potencia de salida	300W
Voltaje de salida	12 – 24 V DC
Corriente nominal	15 – 20 A
Rpm Máx.	2000 rpm
Orificios de montaje	6mm

Anexo H	CAPTURAS DE ANÁLISIS DE FUERZA DE SUSTENTACIÓN	1/1





Anexo I	FOTOGRAFÍAS	1/1

Latacunga, 10 de marzo del 2021

ACTA DE ENTREGA

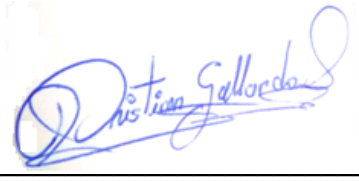
Nosotros: **Zapata Tapia Douglas Paúl** con C.C. **050423573-0** y **Zapata Tapia Evelyn Yessenia** con C.C. **055047199-9**, alumnos del DÉCIMO CICLO de la carrera de **INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**, hacemos la correspondiente entrega del prototipo denominado **" DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AEROGENERADOR DE BAMBÚ**" al docente tutor de la propuesta tecnológica: MSc. Ing. Cristian Fabián Gallardo Molina con C.C. 175836725-2, propuesta que se ha venido desarrollando bajo la tutoría académica y recomendaciones del docente encargado.

Entregan:

Zapata Tapia Douglas Paúl
C.C. 050423573-0
Cel. 0999940712

Zapata Tapia Evelyn Yessenia
C.C. 055047199-9
Cel. 0987755193

Recibe:



MSc. Ing. Cristian Fabián Gallardo Molina
C.C. 050284769-2
Cel. 0984698851

Toerancia	Peso	Material	
---	-- gr	---	
	Fecha	Nombre	
Dibujo	27/10/2020	Zapata P y Zapata E	
Revis	11/03/2021	ing Gallardo C	
Aprob	11/03/2021	ing Gallardo C	
U.T.C			
Edicion	Modificacion	Nombre	Fecha

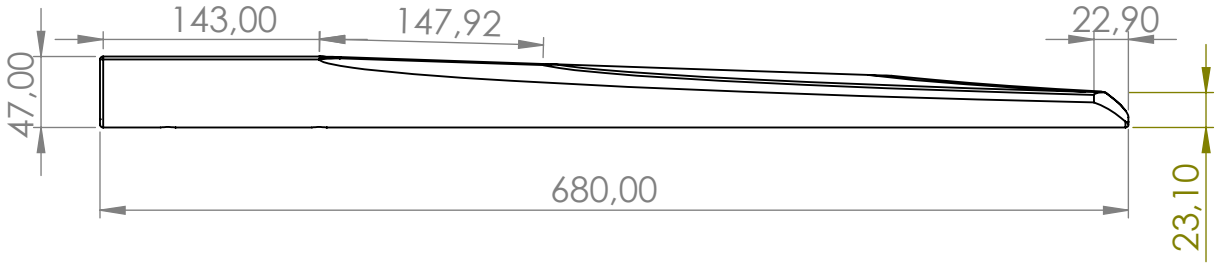
Titulo: Vista general

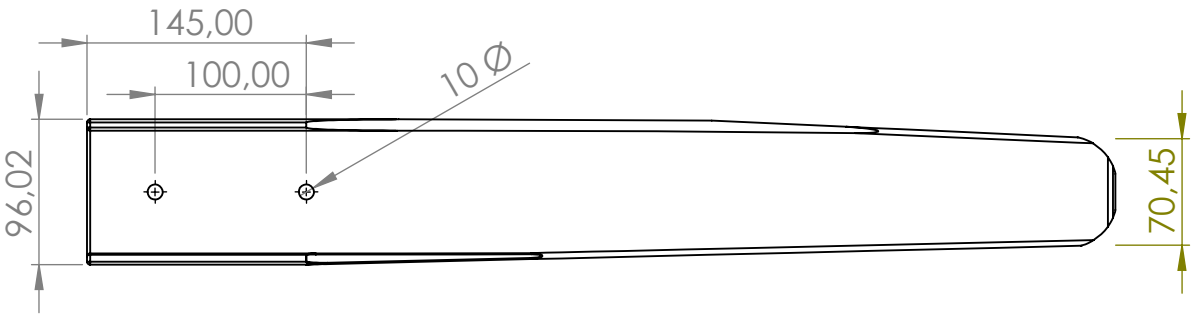
Escala: 3 1

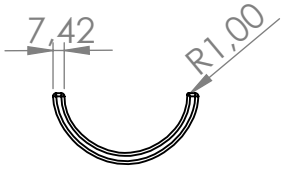
Numero de Lamina: --

Sustitucion

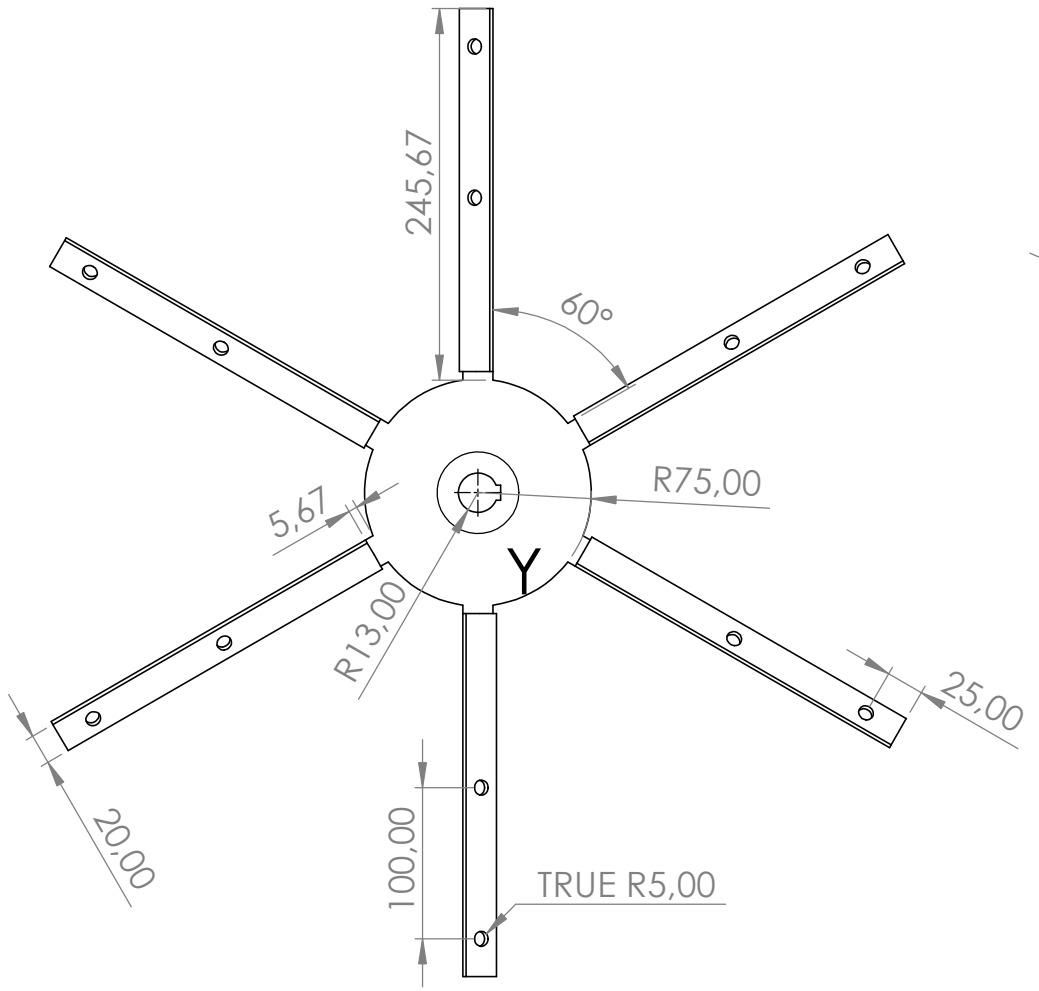
Registro

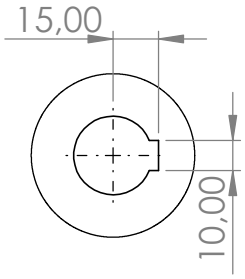






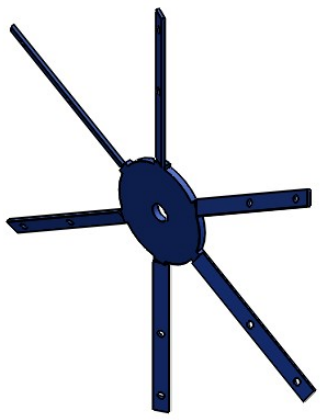
				Tolerancia	Peso	Material:	
				---	-- gr	Bambú	
					Fecha	Nombre	Titulo:
				Dibujó	27/10/2020	--	Pala
				Revisó	20/2/2021	Ing.	
				Aprobo	20/2/2021	Ing.	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	U.T.C		Número de lámina: 01	Escala: 3:1
						Sustitución	Registro:





Detalle Y

SCALE 2 : 5

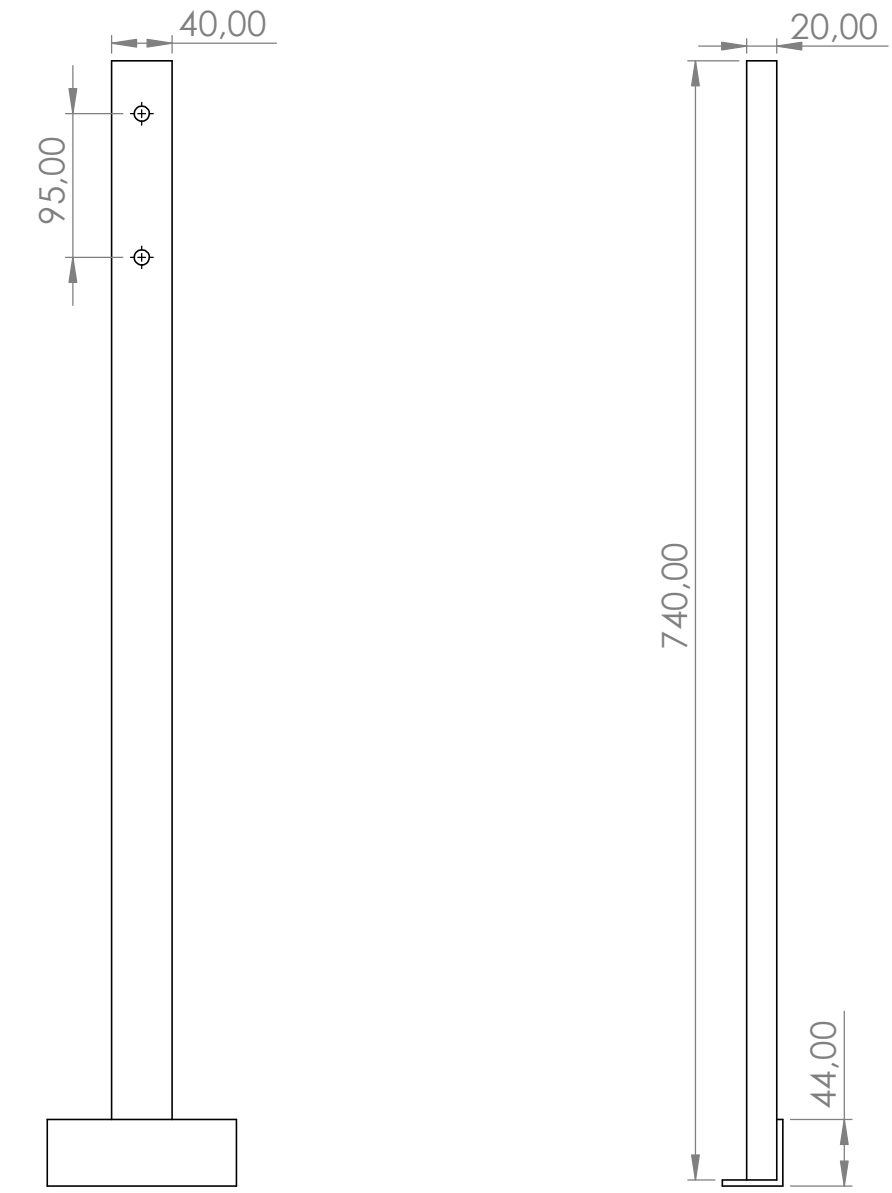


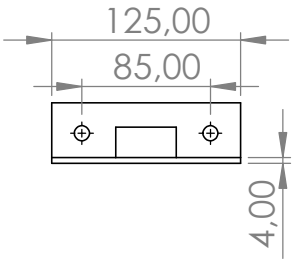
				Toerancia: ---	Peso: -- gr
					Material: AST MA36
				Fecha	Nombre
				Dibujo: 27/10/2020	Zapata P y Zapata E
				Revisó: 01/03/2021	ing Gallardo C
				Aprobó: 01/03/2021	ing Gallardo C
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	U.T.C	Número de Lámina: 02
					Sustitución

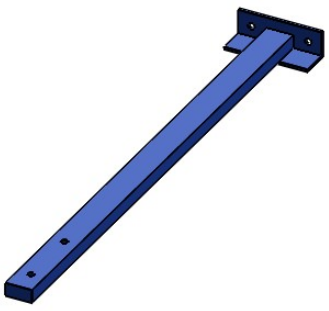
Título: Base para

Escala: 3 1

Registro







				Toleranca	Peso
				---	-- gr
					Fecha	Nombre
				Dibu	27/10/2020	Zapata P y Zapata E
				Revs	1/03/2021	ng Gallardo C
				Aprob	1/03/2021	ng Gallardo C
Edic on	Modf cac on	Nombre	Fecha			

Material: AST MA36

Titulo: Brazo aleta

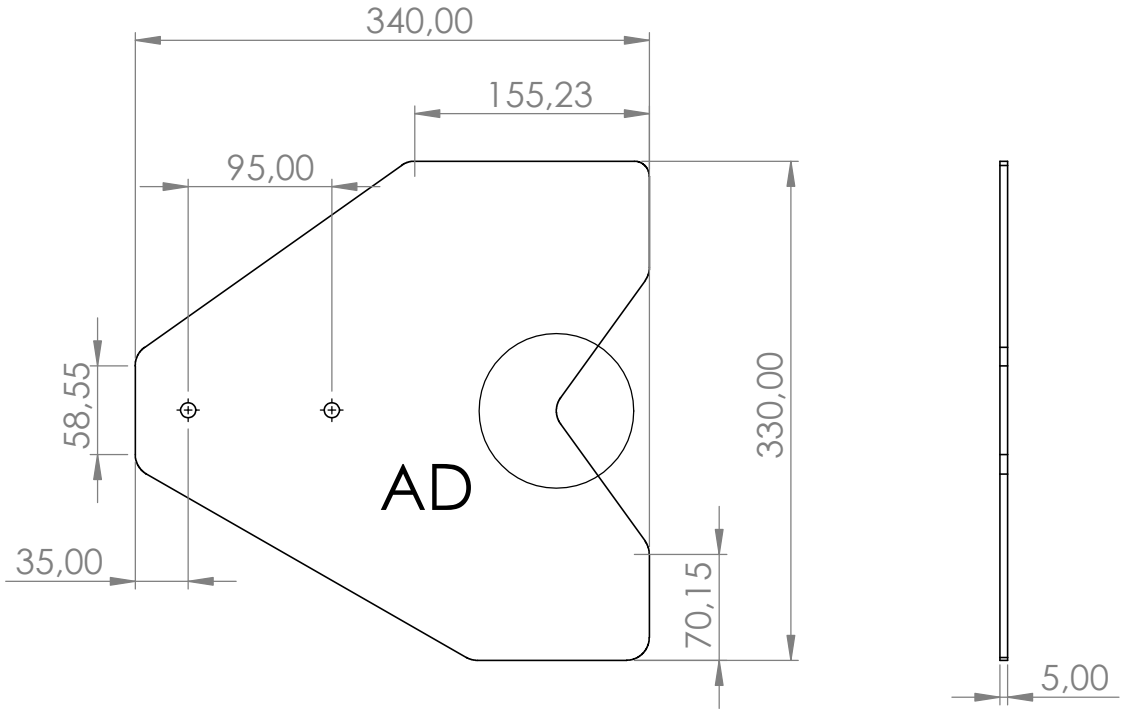
Escala: 3 1

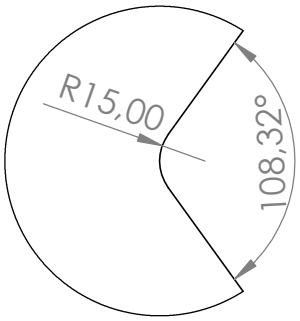
U.T.C

Numero de lamina: 07

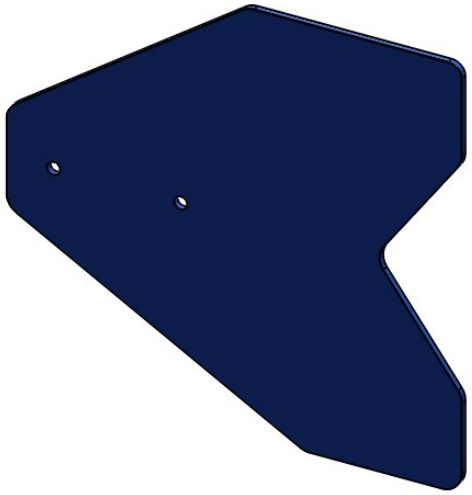
Sustitucion

Registro





Detalle AD
SCALE 2 : 5

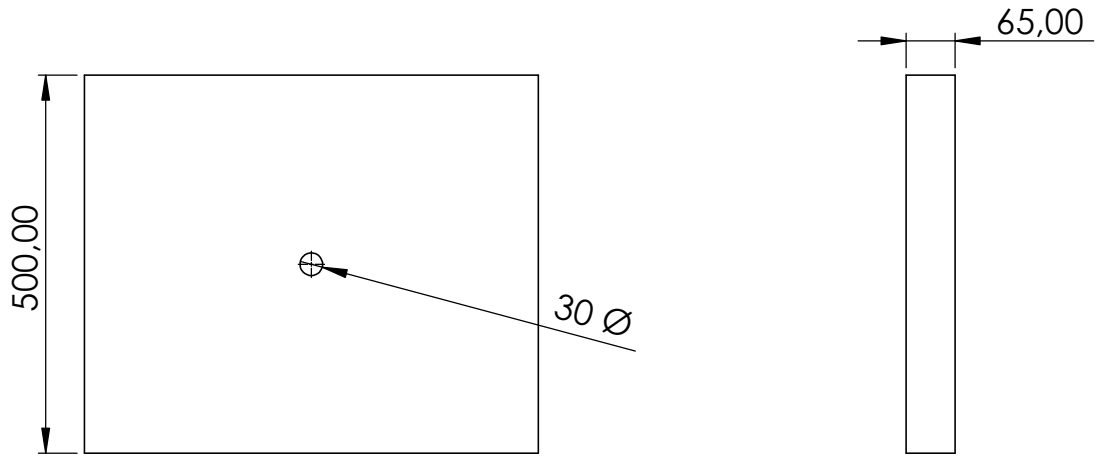


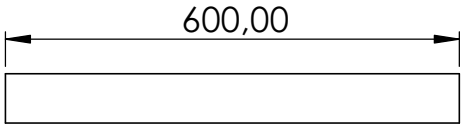
				Toleranca: ---	Peso: -- gr
				Material: AST MA36	
				Fecha	Nombre
				Dibujo: 27/10/2020	Zapata Py Zapata E
				Revisó: 01/03/2021	ing Gallardo C
				Aprobó: 01/03/2021	ing Gallardo C
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	U.T.C	Número de Lámina: 17
					Sustitución

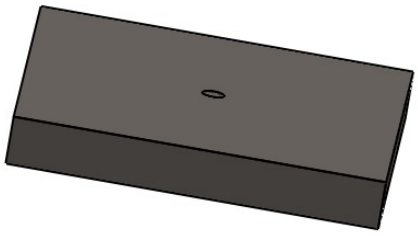
Título: Aleta

Escala: 3:1

Registro







				Toerancia: ---	Peso: -- gr
					Materia: AST MA36
				Fecha	Nombre
				Dibu: 27/10/2020	Zapata P y Zapata E
				Revs: 01/03/2021	ng Gardo C
				Aprob: 01/03/2021	ng Gardo C
Edic on	Modf cac on	Nombre	Fecha	U.T.C	

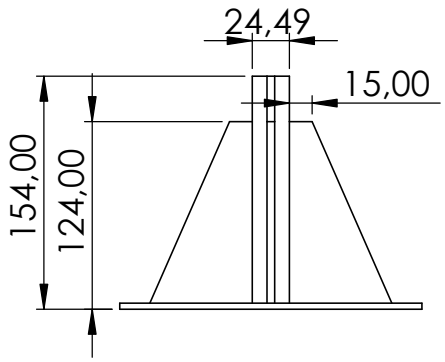
Tituo: **Base**

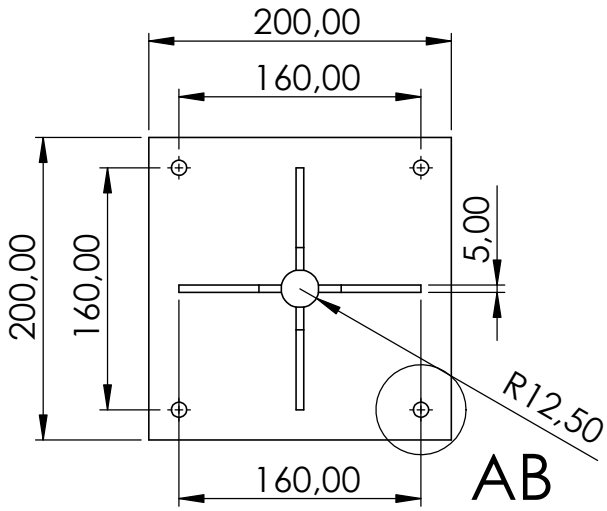
Escala: 31

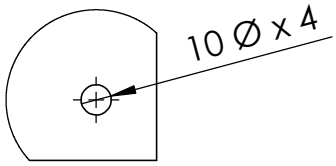
Numero de omna: 10

Sustituc on

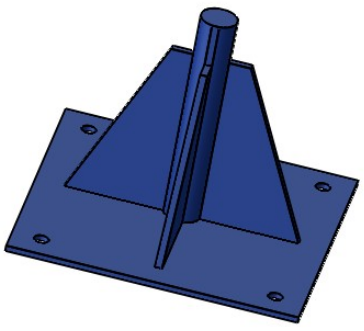
Registro



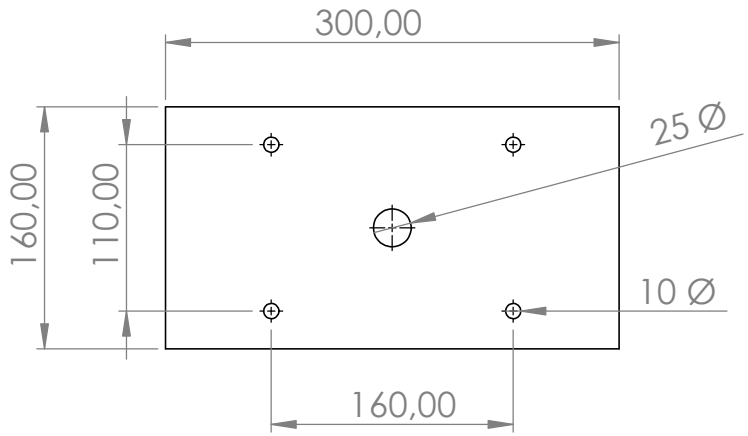


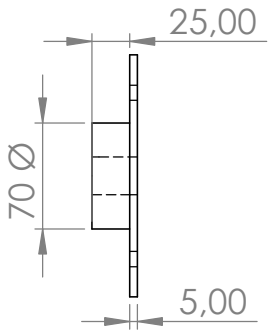


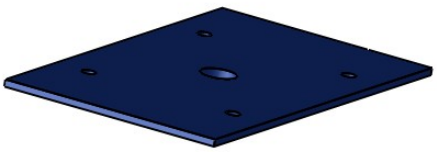
Detalla AB
SCALE 2 : 5



Toleranca	Peso	Material	
---	-- gr	AST MA36	
	Fecha	Nombre	Titulo
Dibu	27/10/2020	Zapata P y Zapata E	Base grator a
Revs	01/03/2021	ing Gerardo C	Escala 3 1
Aprob	01/03/2021	ing Gerardo C	
U.T.C			Numero de lamina 09
Edic on	Modf cac on	Nombre	Fecha
			Sust tuc on
			Registro



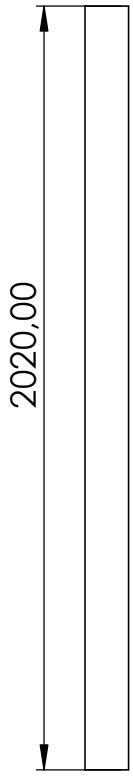


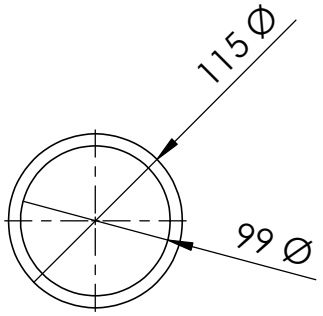


Toleranca	Peso	Material	
---	-- gr	AST MA36	
	Fecha	Nombre	
Dibujo	27/10/2020	Zapata P y Zapata E	
Revis	11/03/2021	ing Gallardo C	
Aprob	11/03/2021	ing Gallardo C	
U.T.C		Numero de lamina 08	Registro
Edicion	Modificacion / Nombre / Fecha	Sustitucion	

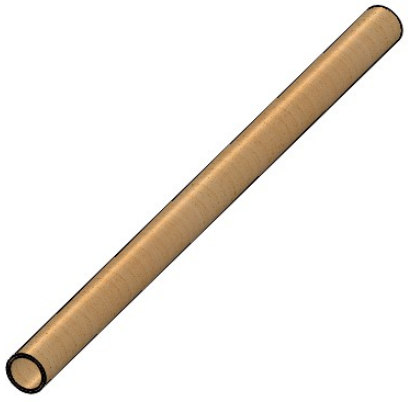
Titulo: Acopegratorio

Escala 3:1

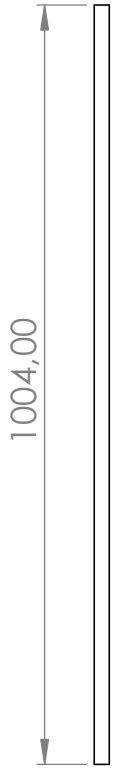


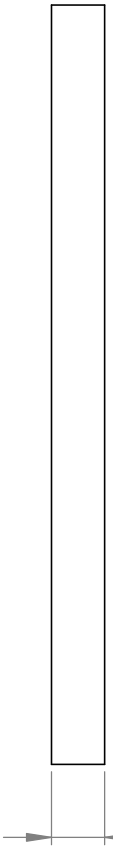


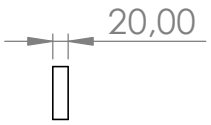
Escala 1:5

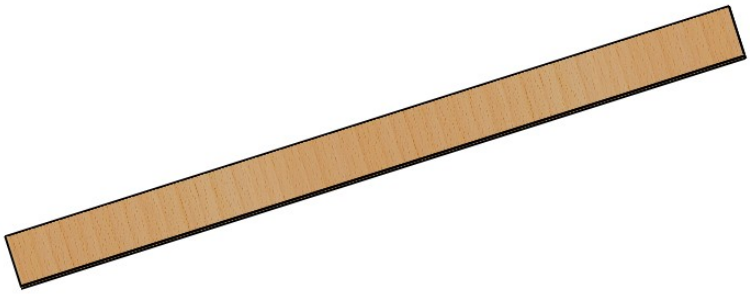


Toerancia	Peso	Material	
---	-- gr	Bambú	
	Fecha	Nombre	Titulo
Dibujó	27/10/2020	Zapata Py Zapata E	Base bambú
Revisó	1/03/2021	ing Gardo C	Escala 1:1
Aprobó	1/03/2021	ing Gardo C	
U.T.C			Número de lámina 13
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución		Registro

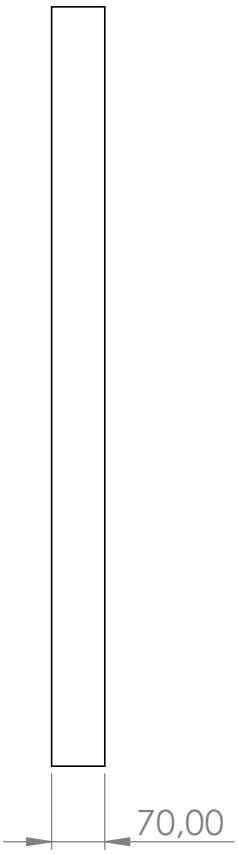


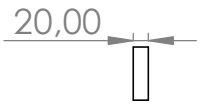


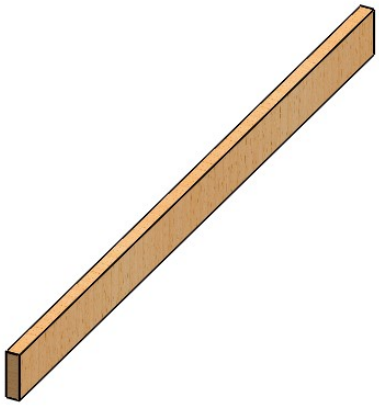




Toleranca	Peso	Material	
---	-- gr	Pino	
	Fecha	Nombre	Titulo
Dibujo	27/10/2020	Zapata Py Zapata E	Apoyo madera 1
Revisó	1/03/2021	ing Gallardo C	Escala 3 1
Aprobó	1/03/2021	ing Gallardo C	
U.T.C			Número de lámina 13
			Registro
Edición	Modificación	Nombre	Fecha
			Sustitución







				Toerancia	Peso	Material
				---	-- gr	Pino
					Fecha	Nombre
				Dibu	27/10/2020	Zapata P y Zapata E
				Revs	1/03/2021	ing Gerardo C
				Aprob	1/03/2021	ing Gerardo C
Edic on	Modf cac on	Nombre	Fecha	U.T.C		

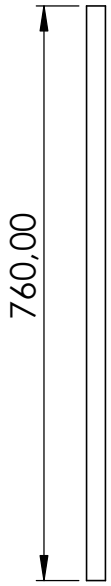
Titulo: Apoyo madera 2

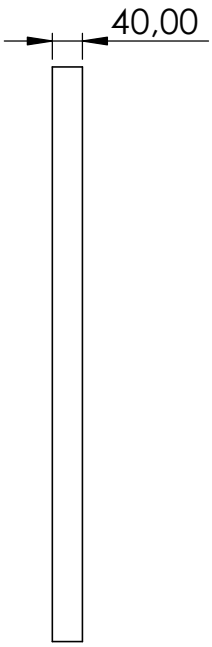
Escala: 3 1

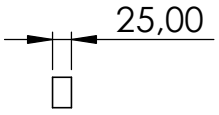
Numero de lamina: 14

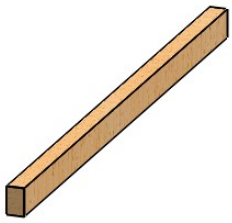
Sustitucion

Registro

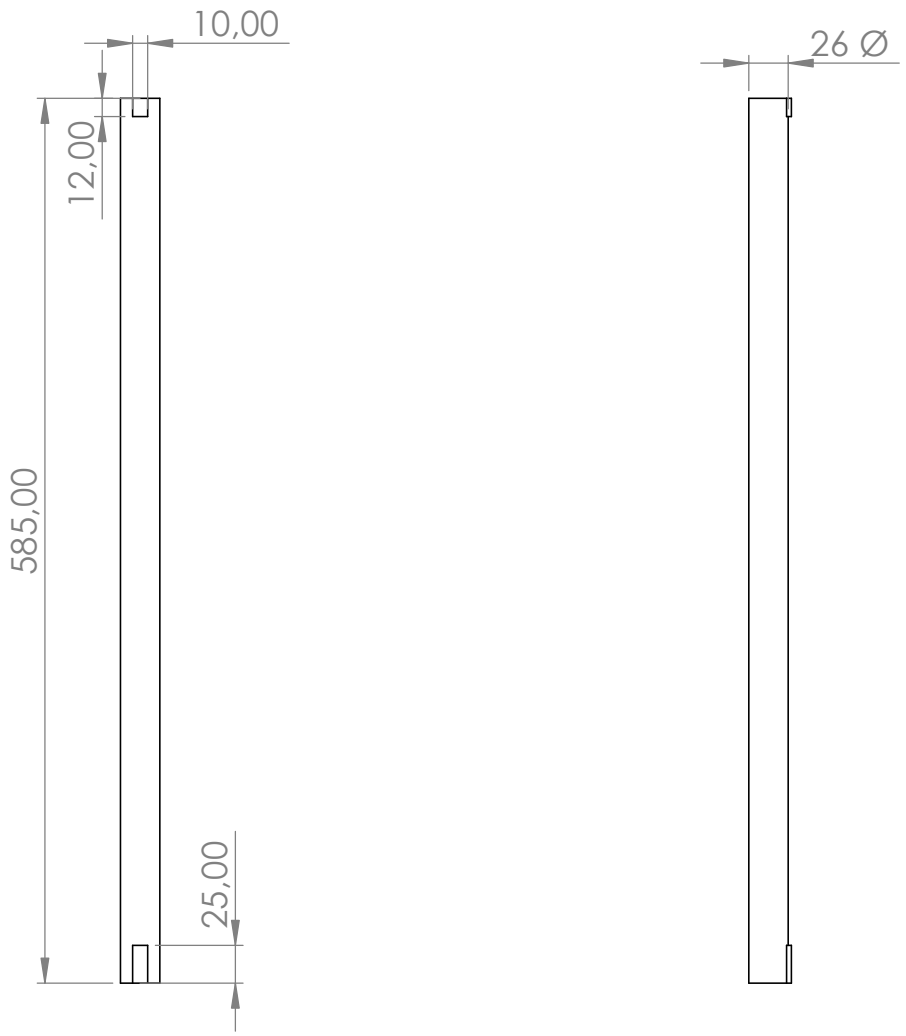


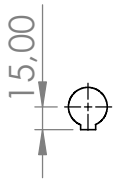






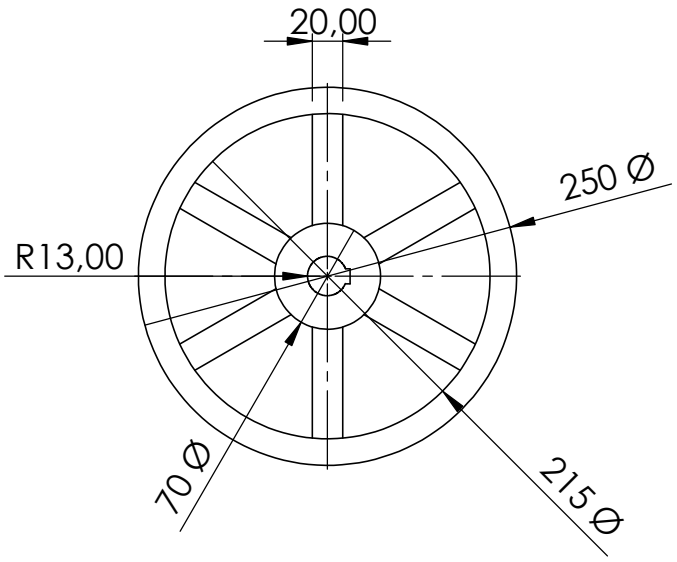
Toleranca	Peso	Material	
---	-- gr	Pino	
	Fecha	Nombre	Titulo
Dibujo	27/10/2020	Zapata Py Zapata E	Apoyo madera 3
Revisó	1/03/2021	ing Gallardo C	Escala 3 1
Aprobó	1/03/2021	ing Gallardo C	
U.T.C			Número de lámina 16
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución	Registro

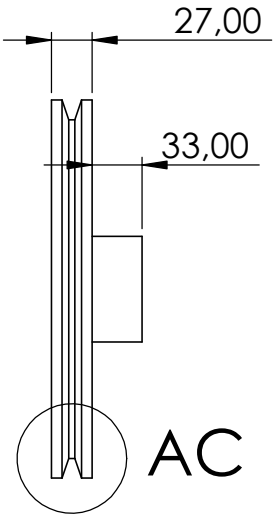


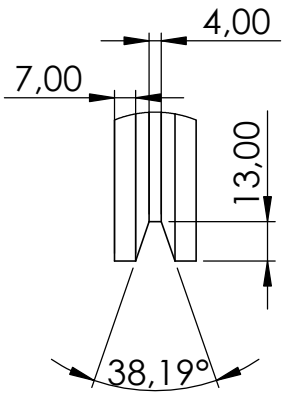


Edic ón	Modf cac ón	Nombre	Fecha	Toleranca ---	Peso -- gr	Mater a AST MA36
					Fecha	Nombre
				Dibu o	27/10/2020	Zapata P y Zapata E
				Revs o	1/03/2021	ng Ga ardo C
				Aprob o	1/03/2021	ng Ga ardo C

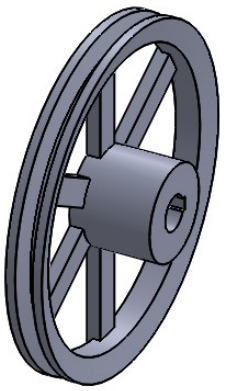
U.T.C	Ttuo E e	Esca a 3 1
	N mero de omna 06	Regstro
	Sust tuc ón	





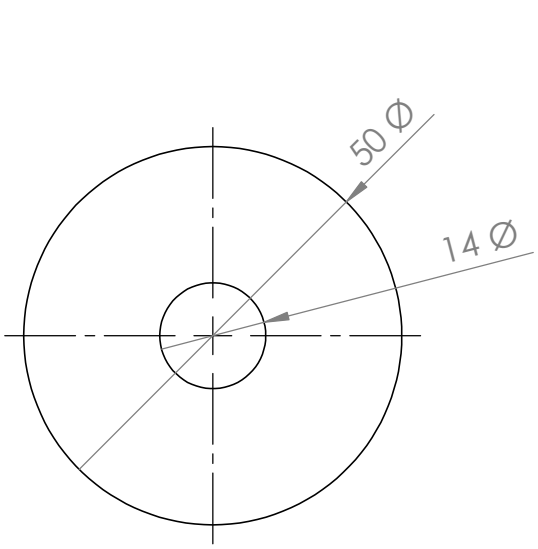


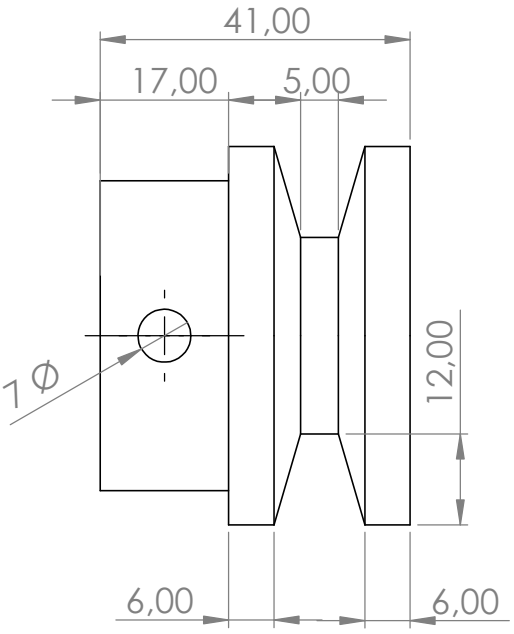
Detalle AC
SCALE 2 : 5

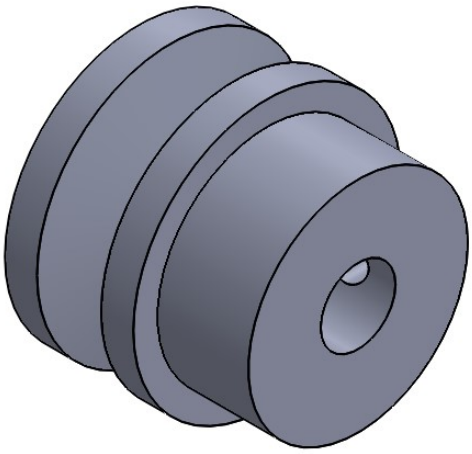


Toerancia	Peso	Materia	
---	-- gr	Aeacón de aumino	
	Fecha	Nombre	Ttuo
Dibu	27/10/2020	Zapata P y Zapata E	Poea G
Revs	1/03/2021	ng Gardo C	Escaa 31
Aprob	1/03/2021	ng Gardo C	
U.T.C			Número de ámina 11
			Sustitución
Edición	Modificación	Nombre	Fecha

Registro

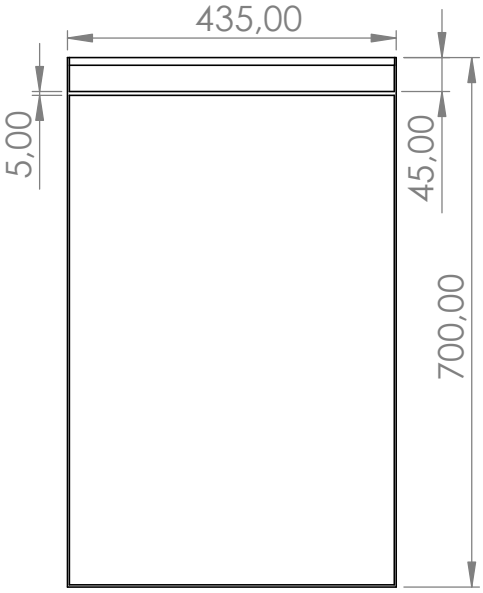


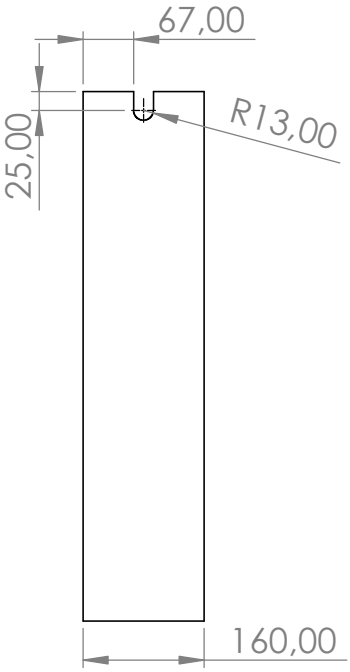


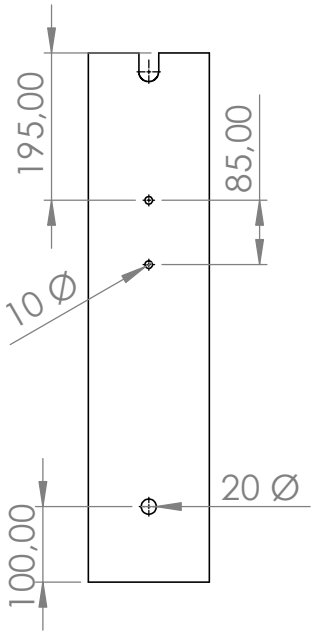


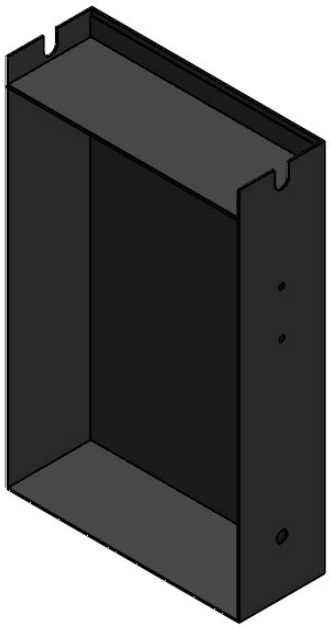
				Toerancia	Peso	Material
				---	-- gr	Aeacón de aumino
					Fecha	Nombre
				Dibujo	27/10/2020	Zapata P y Zapata E
				Revisó	1/03/2021	ing Gaardo C
				Aprobó	1/03/2021	ing Gaardo C
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	U.T.C		

Título		Escala
Polea P		3 1
Número de lámina		Registro
12		
Sustitución		



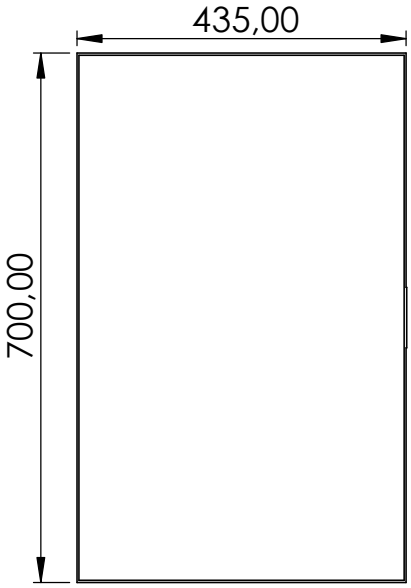


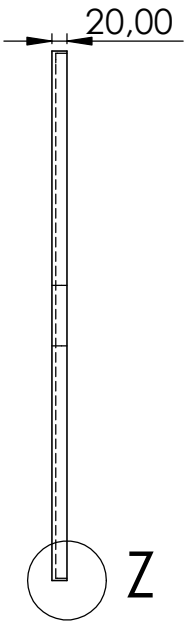


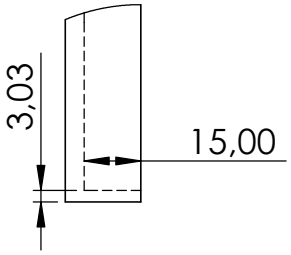


				Toerancia	Peso
				---	-- gr
					Fecha	Nombre
				Dibu	27/10/2020	Zapata P y Zapata E
				Revs	01/03/2021	ng Gerardo C
				Aprob	01/03/2021	ng Gerardo C
Edic ón	Modf cac ón	Nombre	Fecha			

Materia	AST MA36
Título	Base pared
Escala	3 1
U.T.C	
Número de lámina	03
Sustitución	
Registro	

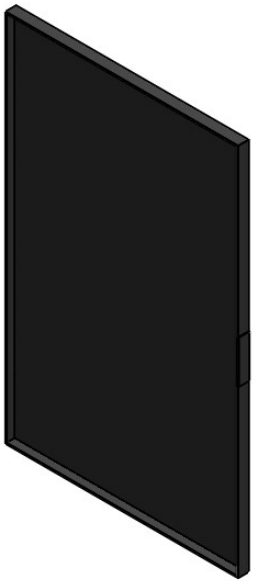






Detalle Z

SCALE 1 : 2



Toerancia	Peso	Materia	
---	-- gr	AST MA36	
	Fecha	Nombre	
Dibu	27/10/2020	Zapata P y Zapata E	
Revs	01/03/2021	ing Gerardo C	
Aprob	01/03/2021	ing Gerardo C	
Edic on	Modf cac on	Nombre	Fecha

Titulo: Tapa Principal

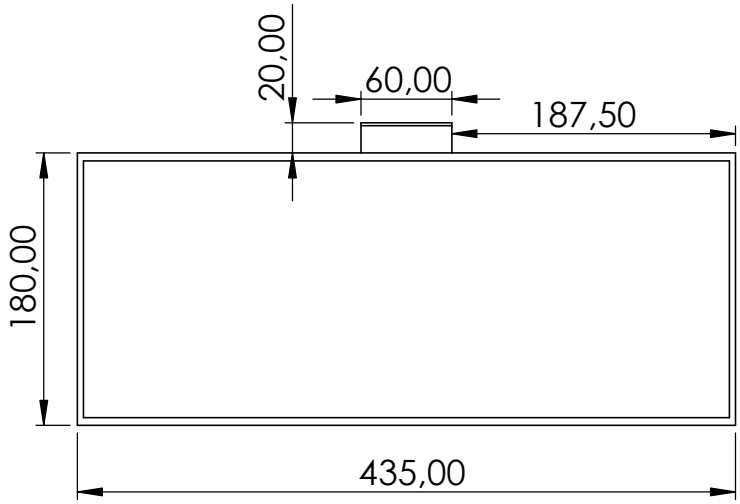
Escala: 3 1

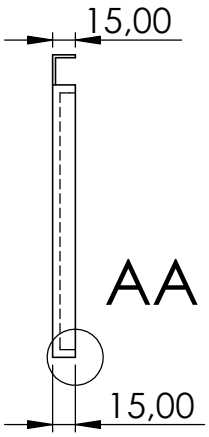
U.T.C

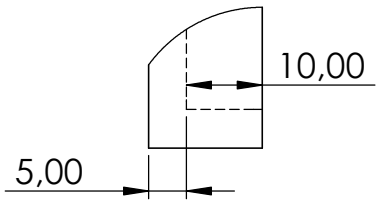
Numero de lamina: 04

Registro

Sustitucion

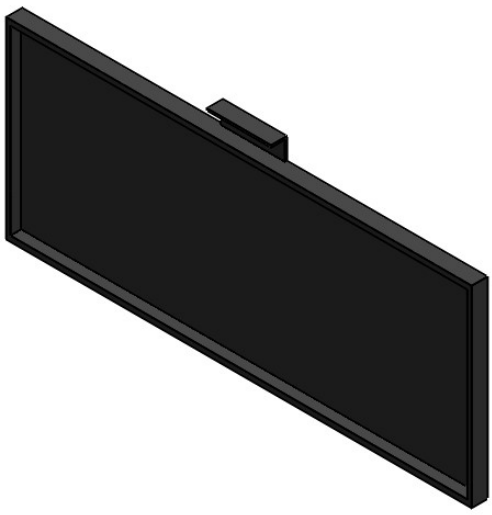




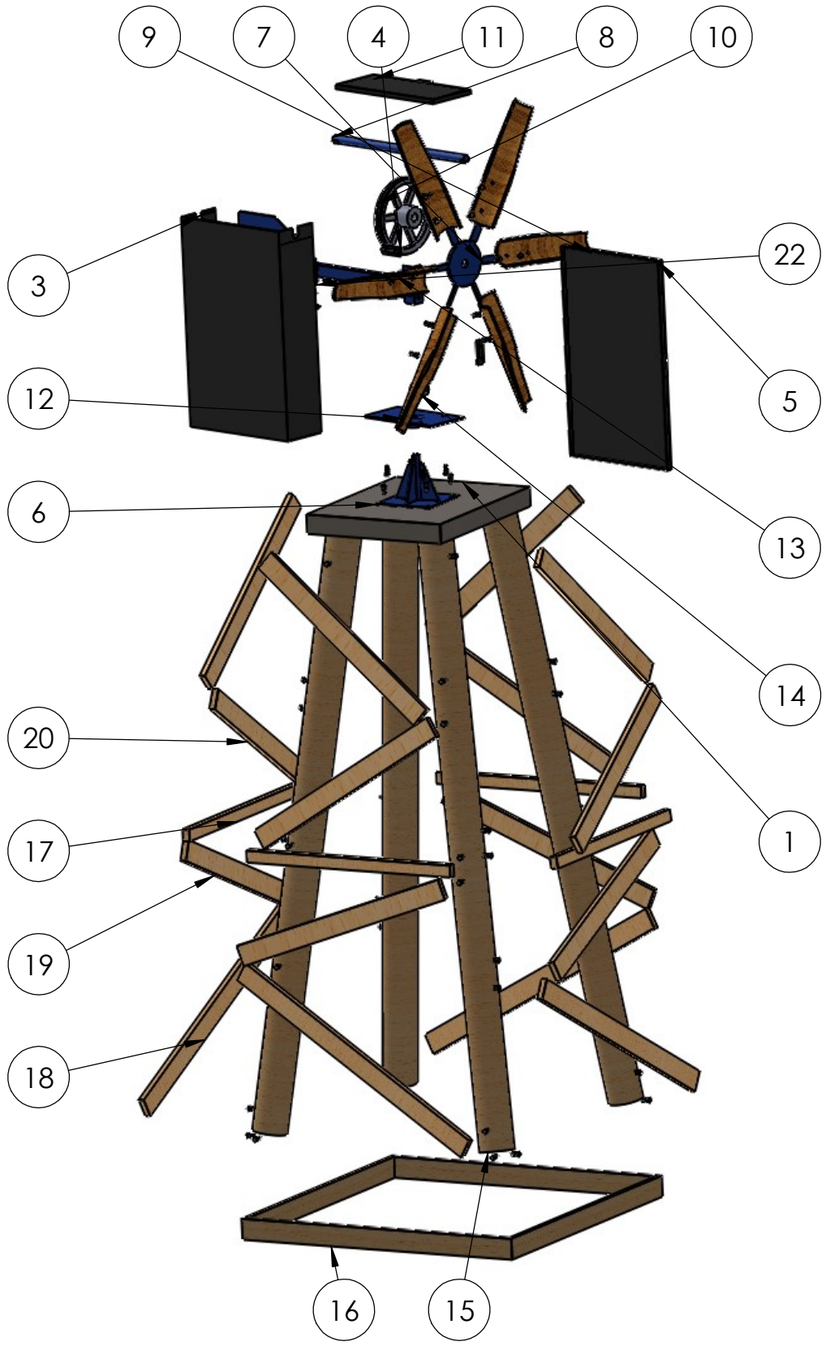


Detalle AA

SCALE 1 : 1



Toleranca	Peso	Material	
---	-- gr	AST MA36	
	Fecha	Nombre	Titulo: Tapa superior
Dibujo	27/10/2020	Zapata P y Zapata E	Escala: 3 1
Revisó	1/03/2021	ing Gallardo C	
Aprobó	1/03/2021	ing Gallardo C	
U.T.C			Número de lámina: 05
Edición	Modificación	Nombre	Fecha
			Sustitución
			Registro



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Base		1
2	bisagra2		2
3	base_caja		1
4	bisagra1		2
5	tapa		1
6	Acople_caja_mesa		1
7	base_palas		1
8	eje		1
9	pala		6
10	polea_grande		1
11	tapa_base		1
12	acople_giratorio		1
13	brazo_aleta		1
14	polea_pequeña		1
15	bambu_base		4
16	Base_madera		1
17	madera_2_intermedia		4
18	madera_1		4
19	madera_2		4
20	madera_3		8
21	tornillo_M10		72
22	aleta		1

Edic ón	Modf cac ón	Fecha	No mbre

Toleranc a: --

Peso: -- kgr

Mater a es: ---

	Fecha	No mbre
D b	27/10/2020	Zapata P y Zapata E
Rev	11/03/2021	ng Ga ardo C
Apro	11/03/2021	ng Ga ardo C

U.T.C.

Deno mnac ón: Co mponentes

Esca a: 1 5

N ºmero de d bu o: --

Sust tuc ón: