



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA TURBINA EÓLICA ESPIRAL DE
ARQUÍMEDES CON POTENCIA MECÁNICA MÁXIMA DE 1 KW**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero
electromecánico

Autores:

Castro Niza Alan Michael

Melendrez Sinchiguano Diego Fernando

Tutor Académico:

PhD. Laurencio Alfonso Héctor Luis

LATACUNGA – ECUADOR

Marzo, 2022



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **CASTRO NIZA ALAN MICHAEL Y MELENDREZ SINCHIGUANO DIEGO FERNANDO** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA TURBINA EÓLICA ESPIRAL DE ARQUÍMEDES CON POTENCIA MECÁNICA MÁXIMA DE 1 kW”**, siendo el PhD. Laurencio Alfonso Héctor Luis 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.

Latacunga, Marzo 2022

Castro Niza Alan Michael

C.I. 050369725-2

Melendrez Sinchiguano Diego Fernando

C.I. 172152902-0



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: **“DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA TURBINA EÓLICA ESPIRAL DE ARQUIMEDES CON POTENCIA MECÁNICA MÁXIMA DE 1 kW”**, de los postulantes **CASTRO NIZA ALAN MICHAEL Y MELENDREZ SINCHIGUANO DIEGO FERNANDO**, de la carrera de **INGENIERIA ELECTROMECHANICA**, 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 2022

El Tutor

Dr. Laurencio Alfonso Héctor Luis

C.I: 1758367252



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

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 **Ingeniería Electromecánica** por cuanto, los postulantes estudiantes **Castro Niza Alan Michael** y **Melendrez Sinchiguano Diego Fernando**, con el título de Proyecto de titulación **“Diseño conceptual de una turbina eólica espiral de Arquímedes con potencia mecánica máxima de 1 kW”**, 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 2022

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)
PhD. Torres Tamayo Enrique
CC:175712194-0

Lector 2
Ing. Cevallos Betún Segundo Ángel
CC: 050178243-7

Lector 3
Ing. MCs. Cristian Gallardo Molina
CC:050284769-2

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme sabiduría y permitirme culminar una meta más en mi vida, a mis padres por su apoyo y ser un ejemplo de trabajo y perseverancia, a mis abuelitos por estar siempre a mi lado y brindarme todo su cariño, a mi novia por siempre darme el impulso emocional para seguir adelante, a mis hermanos y demás familiares por todo su apoyo, finalmente a la Universidad Técnica de Cotopaxi por darme la oportunidad de culminar mis estudios superiores.

Alan C.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que han estado presente en mi vida (a mi enamorada, amigos y personas que ya no están presentes en mi vida), que me ayudaron a llegar a esta meta y a la realización de un sueño personal, en especial a mi madre Rosita y hermanos, que ha sido las personas que a pesar de cometer muchos errores jamás dejaron de confiar en mí y en que podía lograrlo.

Diego M

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mis padres, a mis abuelitos, a mis hermanos, a mi novia y a todos mis familiares que de una u otra forma me han apoyado, han confiado en mi capacidad y siempre han estado cuando más los he necesitado para culminar con esta etapa de mi vida.

Alan C.

DEDICATORIA

El presente documento va dedicado a todas las personas que nos han apoyado en la formación de toda la carrera, durante el aprendizaje de cada ciclo, durante la realización de la presente tesis y que jamás dudaron de nuestra capacidad para acabar una meta más en la vida.

Diego M.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	IV
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE ECUACIONES	XVII
RESUMEN.....	XIX
ABSTRACT	XX
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	XXI
1. INFORMACIÓN GENERAL	XXII
2. INTRODUCCIÓN.....	1
2.1 EL PROBLEMA.....	1
2.1.1 Situación Problémica.....	1
2.1.2 Formulación del problema.....	2
2.2 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	3
2.2.1 Objeto	3
2.2.2 Campo de acción	3
2.3 BENEFICIARIOS	3
2.3.1 Beneficiarios directos	3
2.3.2 Beneficiarios indirectos	3
2.4 JUSTIFICACIÓN	3

2.5	HIPÓTESIS	4
2.6	OBJETIVOS	4
2.6.1	General.....	4
2.6.2	Específicos.....	4
2.7	SISTEMA DE TAREAS	4
3.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
3.1	RECURSO EÓLICO	6
3.1.1	Origen de los vientos	6
3.1.2	Dirección del viento.....	6
3.1.3	Rugosidad del terreno	7
3.1.4	Influencia de los obstáculos.....	7
3.1.5	Calle de vórtices de Von Kármán.....	8
3.1.6	Energía eólica en el ecuador	8
3.1.7	Energía eólica en Cotopaxi.....	9
3.1.8	Localización.....	9
3.1.9	Energía del viento	10
3.1.10	Curvas de velocidad del viento.....	10
3.1.11	Método estadístico para el procesamiento de datos.....	12
3.2	ORIGEN Y ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	12
3.2.1	Principio de operación de las máquinas eólicas	13
3.2.2	Turbinas de eje horizontal y vertical	14
3.3	TURBINA TIPO ESPIRAL DE ARQUÍMEDES	14
3.3.1	Rotor de una turbina tipo espiral	15
3.3.2	Materiales en pequeñas turbinas tipo espiral	16
3.4	NORMATIVA	16
3.5	CRITERIOS DE DISEÑO DE TURBINAS EÓLICAS TIPO ESPIRAL	18

4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
4.1	MATERIALES	19
4.1.1	Estación meteorológica.....	19
4.1.2	Herramientas CAD	19
4.1.3	Herramientas CAE.....	20
4.2	MÉTODOS	20
4.2.1	Método general	20
4.2.2	Métodos específicos	20
4.3	DECLARACIÓN DE VARIABLES	21
4.3.1	Variable de entrada.....	21
4.3.2	Variable de salida	21
4.4	DISEÑO DEL PROYECTO.....	22
4.4.1	Selección de alternativas	22
4.4.2	Procesamiento de datos del recurso eólico	23
4.4.3	Diseño conceptual del prototipo	27
4.4.4	Selección del material.....	28
4.4.5	Potencia de la turbina	29
4.4.6	Dimensionamiento de los elementos de la turbina	32
4.4.7	Proceso de simulación del prototipo.....	49
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	50
5.1	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	50
5.2	PROCESAMIENTO DE DATOS DEL RECURSO EÓLICO	51
5.2.1	Anemograma de la velocidad del viento	51
5.2.2	Distribución de Weibull	51
5.2.3	Ley exponencial de Hellmann	52
5.2.4	Rosa de los vientos	53

5.3	DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROTOTIPO.....	54
5.3.1	Ángulo de ataque.....	55
5.4	POTENCIA DE LA TURBINA	56
5.5	DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA TURBINA	57
5.5.1	Resultado del diámetro del eje de la turbina	57
5.5.2	Resultado del diámetro del eje 1 de la torre	59
5.5.3	Resultado del diámetro del eje 2 de la torre	60
5.5.4	Resultados del factor de seguridad del tubo de la torre.....	60
5.5.5	Resultados del factor de seguridad de la estructura.....	61
5.5.6	Resultados y selección de rodamientos para el eje de la turbina.....	61
5.5.7	Resultados y selección de chumacera para la base de la turbina.....	62
5.5.8	Resultados y selección de rodamiento axial	62
5.5.9	Resultados del cálculo de la placa base	62
5.6	ANÁLISIS DE ESFUERZOS DE LA ESTRUCTURA.....	63
5.6.1	Análisis de la torre de la estructura	63
5.6.2	Análisis de la base de la estructura.....	64
5.6.3	Análisis de la estructura del prototipo	64
5.7	SIMULACIONES DEL PROTOTIPO	65
5.7.1	Trayectoria del fluido	65
5.7.2	Análisis con velocidad de 3.89m/s en el álabe de turbina espiral de Arquímedes 66	66
5.7.3	Análisis de turbina espiral de Arquímedes en rango máximo	68
5.7.4	Análisis con velocidad máximo dentro de 4.1 a 10m/s en el álabe de la turbina espiral de Arquímedes	69
5.7.5	Análisis de la potencia generada por la turbina.....	71
5.8	PRESUPUESTO.....	71

5.8.1	Materiales tecnológicos	72
5.8.2	Materiales Físicos	72
5.8.3	Costos totales del proyecto	73
5.8.4	Costos de producción	73
5.9	ANÁLISIS DE IMPACTOS.....	74
5.9.1	Impacto Tecnológico	74
5.9.2	Impacto Económico.....	75
5.9.3	Impacto práctico	75
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
6.1	CONCLUSIONES	75
6.2	RECOMENDACIONES.....	76
7.	REFERENCIAS	77
8.	ANEXOS.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Área de conocimiento CINE-F-2013.....	XXIII
Tabla 2.1. Sistema de actividades por objetivos.....	5
Tabla 4.1. Valoración de las turbinas según sus características.	22
Tabla 4.2. Rúbrica de evaluación.	23
Tabla 4.3. Valores del exponente de Hellmann según la rugosidad del terreno [27].	26
Tabla 4.4. Propiedades del material de los álabes.	29
Tabla 4.5. Densidad del aire respecto a la temperatura [31].	30
Tabla 4.6. Tabla de valores de factor de tamaño.	36
Tabla 4.7. Tabla de valores de factor de temperatura.	36
Tabla 4.8. Tabla de valores de factor de modificación a la temperatura.	36
Tabla 4.9. Tabla de valores de factor de confiabilidad.....	37
Tabla 4.10. Estimaciones de primera iteración de los factores de concentración del esfuerzo K_t	38
Tabla 4.11. Propiedades mecánicas del acero AISI SAE 1045 [35].	41
Tabla 4.12. Propiedades del material para el tubo.....	43
Tabla 4.13. Jaulas estándar de los rodamientos axiales de bolas.	46
Tabla 4.14. En la tabla se muestran las especificaciones del concreto.....	47
Tabla 5.1. Resultados del proceso estadístico de datos.	51
Tabla 5.2. Valores de las constantes de Weibull.	51
Tabla 5.3. Resultados de la Potencia.	57
Tabla 5.4. Resultados de la simulación de funcionamiento.....	71
Tabla 5.5. Presupuesto de materiales tecnológicos.	72
Tabla 5.6. Presupuestos materiales Físicos.....	72
Tabla 5.7. Costos directos e indirectos.	73
Tabla 5.8. Costos de materiales para el prototipo.....	73
Tabla 5.9. Costos de mano de obra.....	74
Tabla 5.10. Costos de ingeniería.	74
Tabla 5.11. Costo total del prototipo.	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama de Ishikawa.....	2
Figura 3.1. Circulación del viento en la atmósfera [5].....	6
Figura 3.2. Comportamiento del viento en función de las características topográficas del terreno [7].....	7
Figura 3.3. Efecto de un obstáculo sobre el flujo del viento [7].	8
Figura 3.4. Atlas eólico del Ecuador [9].....	9
Figura 3.5. Anemograma de velocidad del viento [10].....	10
Figura 3.6. Curva de frecuencia de velocidades [10].....	11
Figura 3.7. Curva de duración de velocidad en función del tiempo [10].	12
Figura 3.8. Rendimiento típico de un aerogenerador pequeño (400W) [5].	14
Figura 3.9. Diseño del rotor en forma de espiral de Arquímedes [16].....	15
Figura 3.10. Materiales utilizados en turbinas eólicas [18].....	16
Figura 4.1. Fuerzas que ejercen sobre el álabe.....	28
Figura 4.2. Perfiles eólicos de turbinas pequeñas.	28
Figura 4.3. Valores típicos de CP para máquinas eólicas [34].....	32
Figura 4.4. Fuerza centrífuga que ejerce sobre el eje giratorio.	32
Figura 4.5. Diagrama de cuerpo libre del eje de la turbina.	33
Figura 4.6. Propiedades mecánicas del material AISI 1045.....	35
Figura 4.7. Constantes de factor de superficie k.	36
Figura 4.8. Factor de sensibilidad a la muesca para aceros.....	37
Figura 4.9. Diagrama de cuerpo libre del eje 1 de la torre.	39
Figura 4.10. fuerzas y medidas que actúan sobre el eje YZ.....	41
Figura 4.11. Diagrama de fuerzas de la estructura.	44
Figura 4.12. Factores de reducción de resistencia.....	48
Figura 5.1. Anemograma de la velocidad del viento.....	51
Figura 5.2. Velocidad media del viento.	52
Figura 5.3. Velocidad a dos metros sobre el suelo.....	52
Figura 5.4. Dirección de los Vientos.....	54
Figura 5.5. Largo del álabe.....	55

Figura 5.6. Diámetro del rotor para generar 1 kW.	55
Figura 5.7. Fuerzas que ejercen sobre el álabe.	56
Figura 5.8. Ángulos de ataque para pequeñas turbinas.	56
Figura 5.9. Curva de la potencia teórica.	57
Figura 5.10. Diagrama de momentos y fuerzas que actúan sobre el eje XY.	58
Figura 5.11. Resultado de momentos y fuerzas que actúan sobre el eje YZ.	59
Figura 5.12. Análisis estático de la torre.	64
Figura 5.13. Análisis de la base de la estructura.	64
Figura 5.14. Análisis estático de la estructura.	65
Figura 5.15. Trayectoria del fluido.	65
Figura 5.16. Análisis dinámico con velocidad de 3,89 m/s.	66
Figura 5.17. Histograma con velocidad del viento calculada.	66
Figura 5.18. Ondas resultantes del cálculo CFX.	67
Figura 5.19. Análisis en CFX.	67
Figura 5.20. Análisis del álabe con velocidad máxima.	68
Figura 5.21. Histograma con velocidad máxima.	68
Figura 5.22. Análisis con velocidad máxima calculada.	69
Figura 5.23. Histograma altura - velocidad calculada.	69
Figura 5.24. Generación de ondas por cálculos en CFX.	70
Figura 5.25. Análisis con la velocidad máxima.	70
Figura 5.26. Resultados de la potencia en el eje.	71

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación (4.1)	24
Ecuación (4.2).....	24
Ecuación (4.3).....	24
Ecuación (4.4).....	24
Ecuación (4.5).....	24
Ecuación (4.6).....	25
Ecuación (4.7).....	25
Ecuación (4.8).....	25
Ecuación (4.9).....	26
Ecuación (4.10).....	27
Ecuación (4.11).....	29
Ecuación (4.12).....	30
Ecuación (4.13).....	31
Ecuación (4.14).....	31
Ecuación (4.15).....	32
Ecuación (4.16).....	33
Ecuación (4.17).....	33
Ecuación (4.18).....	33
Ecuación (4.19).....	34
Ecuación (4.20).....	34
Ecuación (4.21).....	34
Ecuación (4.22).....	35
Ecuación (4.23).....	35
Ecuación (4.24).....	37
Ecuación (4.25).....	38
Ecuación (4.26).....	38
Ecuación (4.27).....	38
Ecuación (4.28).....	39
Ecuación (4.29).....	39

Ecuación (4.30).....	40
Ecuación (4.31).....	41
Ecuación (4.32).....	42
Ecuación (4.33).....	42
Ecuación (4.34).....	42
Ecuación (4.35).....	42
Ecuación (4.36).....	43
Ecuación (4.37).....	43
Ecuación (4.38).....	44
Ecuación (4.39).....	44
Ecuación (4.40).....	45
Ecuación (4.41).....	45
Ecuación (4.42).....	45
Ecuación (4.43).....	46
Ecuación (4.44).....	46
Ecuación (4.45).....	47
Ecuación (4.46).....	48
Ecuación (4.47).....	48
Ecuación (4.48).....	48
Ecuación (4.49).....	49
Ecuación (4.50).....	49

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

TEMA: “DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA TURBINA EÓLICA ESPIRAL DE ARQUÍMEDES CON POTENCIA MECÁNICA MÁXIMA DE 1 KW”.

Autores:

Castro Niza Alan Michael

Melendrez Sinchiguano Diego Fernando

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se aplicó los conocimientos adquiridos durante la formación en varios campos de la ingeniería electromecánica para modelar y simular el funcionamiento de una turbina eólica espiral de Arquímedes, la misma se ha sometido a los fenómenos meteorológicos que existen en la zona urbana del cantón Latacunga. Con el uso de la estación meteorológica fue posible calcular la velocidad media de 3,89 m/s y la velocidad máxima medida de 9,6 m/s, en la zona el viento se presenta en mayor cantidad por el sur este. Tras el análisis del potencial eólico, se deduce que no se logró generar 1 kW de energía mecánica debido a que en el lugar de recopilación de datos, la velocidad del viento no es suficiente para alcanzar dicha potencia, otra opción fue aumentar el diámetro del rotor, pero esto no es viable debido a que el proyecto está enfocado para la zona urbana, mediante los cálculos de generación de potencia se especificó los parámetros de diseño que permite aprovechar al máximo la energía cinética del viento, el diámetro del rotor es de 1,5 m con un largo de 1,18 m y un ángulo de ataque de 45°. Estas medidas permiten generar una potencia de 33,25 W con la velocidad media y 485,73 W con la velocidad máxima medida. Para alcanzar la potencia máxima de 1 kW bajo los mismos parámetros de diseño, es necesaria una velocidad del viento igual o mayor a 15 m/s.

Palabras clave: Modelación, Simulación, turbina espiral.

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

TOPIC: “AN ARCHIMEDES SPIRAL WIND TURBINE CONCEPTUAL DESIGN WITH 1 KW MAXIMUM MECHANICAL POWER”.

Authors:

Castro Niza Alan Michael

Melendrez Sinchiguano Diego Fernando

ABSTRACT

Into current research project, they were applied the acquired knowledge during training electromechanical engineering several fields for modeling and simulating an Archimedean spiral wind turbine operation, which has been subdued to the existent meteorological phenomena in the Latacunga canton urban area. With the meteorological station use was possible to calculate the 3.89 m/s average speed and the 9.6 m/s maximum speed measured, into area, the wind is presented greater quantity by south east. After, the wind potential analysis is deduced, what was not possible to generate mechanical energy 1 kW, because into data collection place, the wind speed is not enough to reach said power, another option was to increase the rotor diameter, but this is not feasible, due to project is focused about the urban area, through power generation calculations were specified the design parameters, what allow wind kinetic energy maximum use, the 1.5 m rotor diameter with a 1.8 m length and a 45° attack angle. These measurements allow to generate a 33.25 W power with the average speed and 485.73 W with the maximum speed measurement. For reaching the 1 kW maximum power under the same design parameters, it is necessary a wind speed equal or greater than 15 m/s.

Keywords: Modeling, Simulation, spiral turbine.

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 al idioma Inglés del trabajo de titulación cuyo título versa: **“DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA TURBINA EÓLICA ESPIRAL DE ARQUÍMEDES CON POTENCIA MECÁNICA MÁXIMA DE 1 KW”** presentado por: **Castro Niza Alan Michael y Melendrez Sinchiguano Diego Fernando**, estudiantes de la Carrera de **Ingeniería en Electromecánica** perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas** lo realizaron 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 aval para los fines académicos legales.

Latacunga, 17 marzo del 2022

Atentamente,



Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes



CENTRO
DE IDIOMAS

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0502666514

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título

Diseño conceptual de una turbina eólica espiral de Arquímedes con potencia mecánica máxima de 1 kW.

Fecha de inicio

Abril del 2021

Fecha de finalización

Marzo del 2022

Lugar de ejecución

Región Sierra, Provincia de Cotopaxi, zona urbana del Cantón Latacunga.

Facultad que auspicia

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia

Ingeniería Electromecánica

Equipo de trabajo

Tutor

Nombre: PhD. Laurencio Alfonso Héctor Luis

Correo electrónico: hector.laurencio@utc.edu.ec

Cédula: 175836725-2

Dirección: Latacunga

Teléfono: 0998978168

Investigador 1

Nombre: Castro Niza Alan Michael

Correo electrónico: alan.castro7252@utc.edu.ecd

Cédula: 050369725-2

Dirección: Latacunga

Teléfono: 0988092445

Investigador 2

Nombre: Melendrez Sinchiguano Diego Fernando

Correo electrónico: diego.melendrez9020@utc.edu.ec

Cédula: 172152902-0

Dirección: Cutuglagua

Teléfono: 0979020444

Área de conocimiento

Tabla 1.1. Área de conocimiento CINE-F-2013.

Campo amplio	Campo específico	Campo detallado
07 ingeniería, industria y construcción	071 ingeniería y profesiones afines no bien definidas	0715 mecánica y profesiones afines a la metalistería

Línea de investigación

De acuerdo a lo establecido por el departamento de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, línea 5: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sublíneas de investigación de la carrera

De acuerdo a lo establecido por la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, sublínea 1: Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos

2. INTRODUCCIÓN

En el mundo actual, la generación de energía eléctrica ha tenido importantes avances, mediante el concepto de generación distribuida en ciertos países se ha desarrollado proyectos que aportan a dicho avance, uno de estos es el diseño de aerogeneradores pequeños que aprovechan las diferentes corrientes de aire que se pueden hallar en lugares con diferentes geografías.

La cantidad y constancia de energía eólica que se encuentra en nuestro país es muy importante y puede ser aprovechada por aerogeneradores. El proyecto contempla el diseño de una turbina en forma de espiral de Arquímedes, en estudios anteriores a la fecha se indica que estas aprovechan de manera eficiente las corrientes de aire convectivas que se generan en las zonas urbanas.

La poca información referente a la reacción de la turbina espiral de Arquímedes a la variación que existe de velocidad y dirección del viento en la geografía del Ecuador en específico en la zona urbana de la ciudad de Latacunga, conlleva al estudio y simulación de la turbina, con el cual se pretende realizar un análisis empírico que busca el mejor resultado al simular el funcionamiento de la turbina con la velocidad nominal de viento que existente en el lugar. De esta manera se busca hallar el diseño más eficiente a la hora de generar hasta 1 kW de energía mecánica que se ha propuesto inicialmente en el tema de investigación.

2.1 EL PROBLEMA

A continuación, en este apartado se da a conocer algunos aspectos importantes que se toma en consideración para determinar el problema de estudio para el cual se busca dar solución mediante el presente proyecto de investigación.

2.1.1 Situación Problemática

Actualmente el país cuenta con parques eólicos que se han ubicado estratégicamente en zonas donde el fluido es apto para que se aproveche al máximo el rendimiento de estas máquinas, es el caso las turbinas eólicas de la Central Eólica Villonaco ubicada en Loja cuyas partes cuentan con una pala de 35 metros, dimensiones que resultan demasiado grandes para ser utilizadas en zonas urbanas [1].

Al ser prácticamente imposible implementar una turbina de esa dimensión, se busca una turbina adecuada para la zona urbana, que se adapte al tipo de fluido que existe en esta zona

estableciendo dimensiones que puedan ser instaladas con facilidad y se pueda aprovechar al máximo el rendimiento de la máquina [2].

Entre todos los recursos renovables, se ha demostrado que la energía eólica es una tecnología relativamente madura y tiene un enorme potencial de comercialización y producción en masa. Hoy en día, la principal aplicación de la energía eólica es la generación de electricidad a partir de grandes parques eólicos conectados a la red. En el presente proyecto de investigación se plantea aportar a futuros proyectos de generación distribuida con pequeñas turbinas eólicas en el país [3].

En la zona urbana del cantón Latacunga no existe datos de generación de energía mecánica de la turbina espiral de Arquímedes, es por tal motivo que se plantea este proyecto de investigación con el fin de obtener datos de generación de energía mecánica de dicha turbina con el comportamiento y velocidad del viento que existe en el lugar [4].

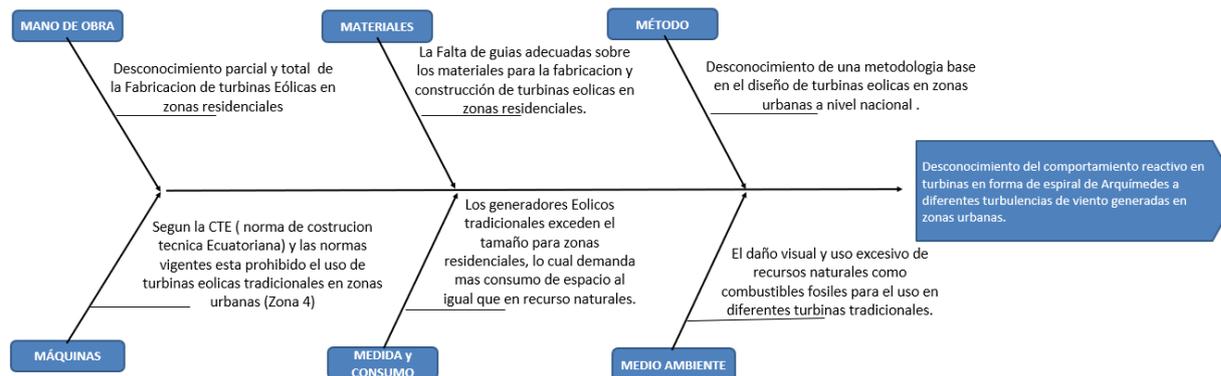


Figura 2.1. Diagrama de Ishikawa.

La **Figura 2.1.**, muestra el instrumento utilizado para determinar el problema planteado en el presente tema de investigación.

2.1.2 Formulación del problema

Desconocimiento del comportamiento reactivo en turbinas en forma de espiral de Arquímedes a diferentes turbulencias de viento generadas en zonas urbanas.

2.2 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.2.1 Objeto

Turbina espiral de Arquímedes

2.2.2 Campo de acción

Teoría Aerodinámica según las propiedades de los materiales para turbinas que funcionan con fuentes no convencionales de Energía.

2.3 BENEFICIARIOS

2.3.1 Beneficiarios directos

Los autores del presente proyecto de investigación para la obtención del título de tercer nivel en la carrera de Ingeniería Electromecánica.

2.3.2 Beneficiarios indirectos

Los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi o cualquier persona que pretenda construir una turbina eólica espiral de Arquímedes, para generar potencia mecánica.

2.4 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realiza para estudiar las características y datos de generación de potencia mecánica a partir de la implementación de una turbina espiral de Arquímedes la cual se encarga de transformar la energía eólica en energía potencia mecánica, dicho proyecto de investigación realiza un aporte científico y experimental a los proyectos sucesores que se lleven a cabo a partir de este, ya sea en la implementación o mejoras que puedan existir en el futuro, al igual beneficia al ambiente al ser la energía eólica su fuente principal de energía para el funcionamiento. El proyecto de investigación tiene como fin dar a conocer la importancia de utilizar energías renovables y la potencia que se puede generar con este tipo de turbina bajo las condiciones meteorológicas que existe en la zona urbana del cantón Latacunga.

Según estudios anteriores, esta turbina es más eficiente que otras en zonas urbanas, el impacto será positivo ya que en la actualidad no se ha encontrado datos que detallen el proceso de construcción e implementación de dicha turbina y con este proyecto de investigación esto será posible. El objetivo es que las personas conozcan las características y datos de diseño de la turbina eólica espiral de Arquímedes y en un futuro pueda ser construida e implementada.

2.5 HIPÓTESIS

Mediante la investigación del comportamiento reactivo de turbinas en forma de espiral de Arquímedes a diferentes turbulencias de viento generadas en zonas urbanas se puede indicar un preámbulo de su capacidad de generación para futuras investigaciones

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 General

Modelar una turbina en forma de espiral de Arquímedes aplicando los conocimientos de ingeniería y sus diferentes tipos para analizar la generación de potencia mecánica,

2.6.2 Específicos

- Recopilar información con técnicas adecuadas para conocer las características y datos sobre el objeto de estudio.
- Comprobar la velocidad y dirección del viento en una zona urbana, mediante el uso de la estación meteorológica y del anemómetro.
- Analizar el tamaño y ángulo que requiere la turbina para aprovechar al máximo la energía del fluido.
- Elaborar las curvas características que definen el funcionamiento de la turbina espiral, basándose en el rendimiento parcial con respecto a diferentes parámetros.

2.7 SISTEMA DE TAREAS

Es muy importante describir el desarrollo de las tareas y actividades propuestas en base a los objetivos planteados para encaminar el proceso de cumplimiento del proyecto, cada actividad cumple un rol muy importante en la realización del proyecto de investigación.

La **Tabla 2.1.**, muestra el sistema de actividades en base a los objetivos planteados.

Tabla 2.1. Sistema de actividades por objetivos.

Objetivos específicos	Actividades	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
Recopilar información con técnicas adecuadas para conocer características y datos sobre el objeto de estudio.	Recopilación de información de medios investigativos fiables	Comprensión sobre el objeto de estudio.	Investigación bibliográfica
Comprobar la velocidad y dirección del viento en una zona urbana, mediante el uso del anemómetro.	Medición de la velocidad y dirección del viento en una zona urbana. Verificar la velocidad de viento en zonas urbanas para una mejor adquisición de energía	Verificación de datos obtenidos y relacionados con la medición se comprobó que existen variaciones leves excepto en días de lluvia.	Medición y obtención de datos.
Establecer el tamaño y ángulo que requiere la turbina para aprovechar al máximo la energía del fluido.	Diseño y simulación del funcionamiento de la turbina variando el tamaño y el ángulo. Mediante el uso de fórmulas matemáticas determinar el tamaño ideal de los álabes y del rotor	Determinación por velocidad y verificación de normas para lograr un correcto diseño que sea aerodinámico y útil	Cálculos matemáticos
Analizar las curvas características que definen el funcionamiento de la turbina espiral, basándose en el rendimiento parcial con respecto a diferentes parámetros.	Comparación de resultados simulados y medidos durante el proceso de pruebas. Mediante el uso del software ANSYS realizar pruebas con diferentes características para el uso	Generación de las curvas de los resultados obtenidos de acuerdo a los datos teóricos que se utilizan para el modelamiento de la turbina.	Comparación de las curvas generadas.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 RECURSO EÓLICO

El recurso eólico ha existido siempre, el uso más antiguo de este tipo de energía del que se tiene documentación es como medio de locomoción. Existen dibujos egipcios, de 5000 años de antigüedad que muestran naves con velas utilizadas para trasladarse por el Nilo [5].

3.1.1 Origen de los vientos

El causante principal de los vientos es el calentamiento dispar de la superficie de la tierra por acción de la radiación solar. La absorción de radiación se produce principalmente en las zonas ecuatoriales; el aire caliente que se eleva en los trópicos es reemplazado por las masas de aire fresco superficiales que proviene de los polos [5].

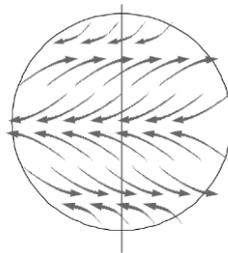


Figura 3.1. Circulación del viento en la atmósfera [5].

En la **Figura 3.1.**, se observa la trayectoria que tiene el viento en diferentes partes del globo terrestre, en la zona ecuatorial existe más cantidad de viento y en una misma dirección.

3.1.2 Dirección del viento

Es importante recordar que la dirección indica de dónde viene el viento. Por ejemplo, el viento del norte es un viento que sopla del norte. Se mide en grados de 0° (no incluido) a 360° (incluido) y gira en el sentido de las agujas del reloj en el plano horizontal cuando se ve desde arriba. Los valores cercanos a 1° y 360° indican vientos del norte, 90 grados este, 180 grados sur y 270 grados oeste. Estos valores incluyen las direcciones restantes: noreste, sureste, suroeste, noroeste [6].

3.1.3 Rugosidad del terreno

La velocidad del viento varía proporcionalmente a la altura, esto quiere decir que a menor altura el fluido se ve afectado por la rugosidad del terreno, la zona urbana del cantón Latacunga se encuentra en la clase 4 donde existen diferentes obstáculos como edificaciones y terrenos irregulares como se muestra en la **Figura 3.2.**, esto genera turbulencias debido a la difusión que existe [7].

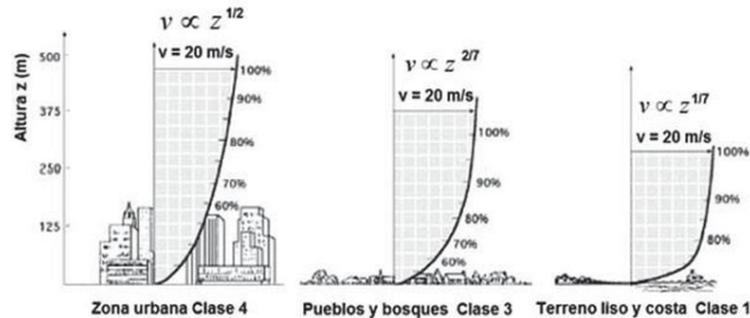


Figura 3.2. Comportamiento del viento en función de las características topográficas del terreno [7].

La **Figura 3.2.**, muestra la variación de la velocidad que tiene el viento de acuerdo al lugar y a la altura donde este sea medido.

3.1.4 Influencia de los obstáculos

Los diferentes obstáculos que se encuentran en la zona de clase 4 como bosques, edificaciones, entre otros, provocan la disminución de la velocidad del viento y aumento de las turbulencias [7].

En investigaciones realizadas anteriormente recomiendan que un aerogenerador debe ser instalado al menos a un radio de 1 km de distancia de los obstáculos esto debido a que la turbulencia no permite que las turbinas operen a su máxima capacidad y no aprovechen de todo el recurso eólico existente.

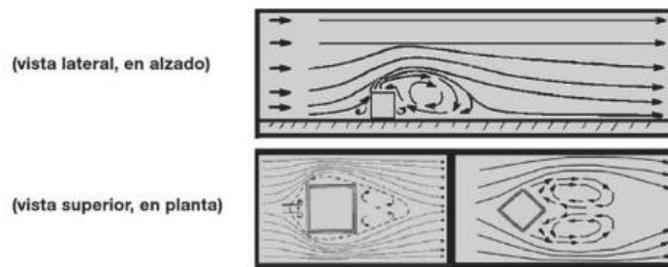


Figura 3.3. Efecto de un obstáculo sobre el flujo del viento [7].

En la **Figura 3.3.**, se observa el efecto que producen los obstáculos en el flujo del viento, esto por lo general se encuentra en la zona urbana.

3.1.5 Calle de vórtices de Von Kármán

Una calle de vórtices de Von Kármán, también conocidos como torbellinos de Von Kármán es un patrón que se repite de vórtices en remolino causados por la separación no estacionaria de la capa de fluido al pasar sobre cuerpos sumergidos. Debe su nombre al ingeniero y estudioso de la dinámica de los fluidos, Theodore Von Kármán. Estos vórtices o torbellinos repetitivos son los responsables de fenómenos tales como el sonido por vibración de líneas telefónicas o líneas eléctricas suspendidas y la vibración de la antena de un automóvil a ciertas velocidades [8].

En baja turbulencia, los edificios altos pueden producir una calle Kármán, siempre y cuando la estructura sea uniforme a lo largo de su altura. En áreas urbanas donde hay muchas otras estructuras altas cerca, la turbulencia producida por éstas impide la formación de vórtices coherentes. Las fuerzas periódicas de viento cruzado establecidas por los vórtices a lo largo de los lados de los objetos pueden ser altamente indeseables, por lo que es importante que los ingenieros tengan en cuenta los posibles efectos del desprendimiento de los vórtices cuando diseñen una amplia gama de estructuras [8].

3.1.6 Energía eólica en el ecuador

Ecuador consta con un gran potencial eólico. Según estudios oficiales se logró concluir que algunos sectores del territorio nacional como Los Andes y las cercanías al Océano Pacífico tienen la capacidad, velocidad y fuerza del viento necesaria para utilizar este recurso como fuente de energía para proyectos de generación eléctrica [9].

Estos estudios se inscriben dentro del proceso de diversificación de la matriz energética emprendidos por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER).

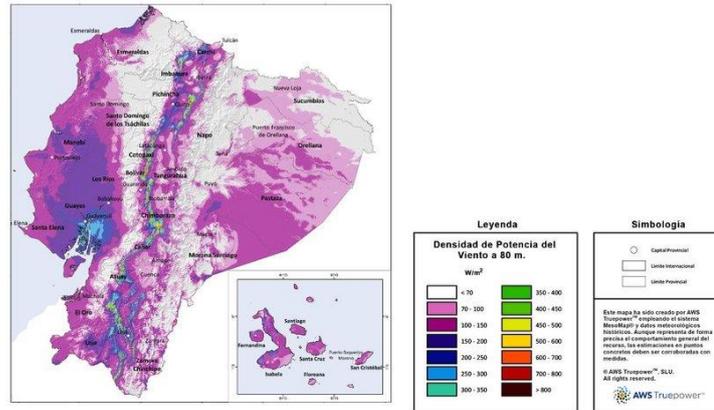


Figura 3.4. Atlas eólico del Ecuador [9].

En la **Figura 3.4.**, se observa el atlas eólico del Ecuador donde se comprueba que en efecto la zona que tiene más potencial eólico está en la región sierra y en las zonas cercanas al mar.

3.1.7 Energía eólica en Cotopaxi

La provincia de Cotopaxi según el atlas eólico en la web contribuye un papel fundamental para la estimación de potencial energético de acuerdo con el mapeo satelital, además existe en la provincia sectores muy alejados como es el caso de los páramos donde se hace difícil y en ocasiones imposible el acceso de energía eléctrica mediante líneas de transmisión, por su geografía el cantón Latacunga, en la provincia de Cotopaxi, presenta condiciones propicias para implementar sistemas eólicos por las características favorables de velocidad del viento [4].

3.1.8 Localización

Se toma como referencia la terraza del bloque b de la Universidad Técnica de Cotopaxi que tiene una altura estimada de 20 metros y está ubicada en las coordenadas (Latitud -0.91789° , Longitud -78.632856°), las mediciones de la velocidad del viento en dicho lugar se tomaron mediante la estación meteorológica de la carrera de Ingeniería Electromecánica. Los datos evidencian que la velocidad del viento en periodos cortos de tiempo puede llegar e incluso sobrepasar los 9 m/s.

3.1.9 Energía del viento

Según [10] se determina energía a la potencia generada durante el periodo de tiempo en funcionamiento de la máquina eólica.

En el caso de la aerogeneración se busca transformar la energía eólica en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica mediante un rotor acoplado a un generador, la energía eléctrica producida se puede almacenar o consumir directamente. Cabe mencionar que debido a la variación en cuanto a magnitud de velocidad del viento es conveniente hablar de generación de energía para periodos determinados.

Para que se pueda extraer la mayor cantidad de energía del viento y pueda operar en condiciones óptimas es conveniente diseñar la máquina eólica tomando en cuenta todas las características del viento en el lugar elegido, para ello es necesario la medición meteorológica que pueda arrojar resultados confiables ya que estos datos son la base del éxito o el fracaso de las estimaciones que se haga de la energía aprovechable.

3.1.10 Curvas de velocidad del viento

3.1.10.1 Anemogramas

La velocidad del viento varía en función del tiempo, con oscilaciones breves, esta variación se puede graficar con anemómetros registradores que se ubican durante el día en lugares y alturas convenientes y mediante esto las instituciones encargadas del manejo y evaluación meteorológica proporcionan al investigador estas gráficas de velocidad del viento que se deben procesar adecuadamente y servirá para justificar o descartar la implementación de máquinas eólicas [10].

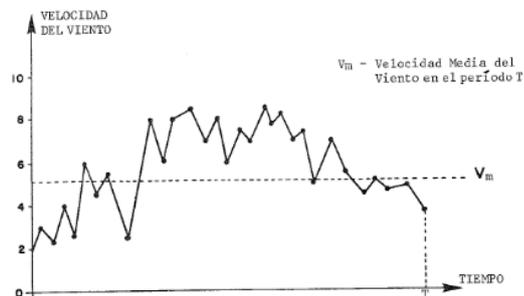


Figura 3.5. Anemograma de velocidad del viento [10].

En la **Figura 3.5.**, se observa un ejemplo del registro de velocidad mediante anemómetros registradores.

3.1.10.2 Curva de frecuencia de velocidades

La curva de frecuencia de velocidades según [10] corresponde a un histograma de velocidades que se obtiene de los registros continuos de la velocidad del viento esta curva de distribución se hace para cada mes y para cada año completo.

Al registrar y agrupar los datos de cada mes se obtienen las variaciones estacionales y finalmente el comportamiento del viento a lo largo del año, obtener esta información es de suma importancia a la hora de establecer la energía que puede entregar el viento. Para obtener una curva de frecuencia de velocidades buena es necesario tener los datos de al menos 5 años.

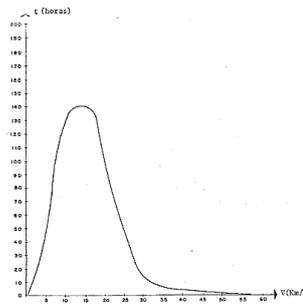


Figura 3.6. Curva de frecuencia de velocidades [10].

En la **Figura 3.6.**, se observa un ejemplo de una curva de frecuencia de velocidad en función de la velocidad del viento en km/h y del tiempo en horas.

3.1.10.3 Curva de duración de Velocidades

En la **Figura 3.7.** se indica un ejemplo que fue realizado en Alemania, en esta figura se observa que el porcentaje de duración de la velocidad máxima que en este caso es 20 m/s es prácticamente cero y las velocidades más bajas tienen mayor porcentaje de duración, esto demuestra que las velocidades bajas tienden a mantenerse más tiempo sin sufrir cambios fuertes.

Para lograr una curva óptima se debe trabajar con datos obtenidos de al menos 5 años, pero si se cuenta con información que permita establecer correlaciones se puede prescindir de la toma de datos extensa que demora mucho tiempo para su elaboración.

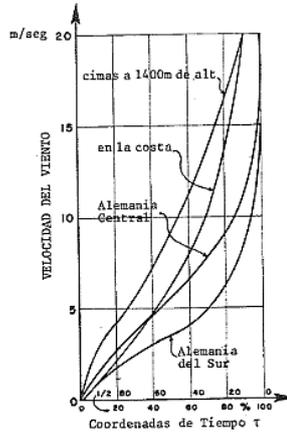


Figura 3.7. Curva de duración de velocidad en función del tiempo [10].

La **Figura 3.7.** muestra un ejemplo de la curva de velocidad en función del tiempo realizado en Alemania utilizando los datos del recurso eólico que existe dentro del país.

3.1.11 Método estadístico para el procesamiento de datos

Determinar el potencial eólico, está relacionado con establecer los parámetros de la ecuación de distribución de Weibull, correspondientes al parámetro de escala c en m/s que determina la velocidad promedio del viento en el lugar de estudio y el parámetro de forma k que indica el grado de dispersión de los registros, con estos se puede establecer la frecuencia con la que se manifiesta una velocidad determinada del viento [11].

Mediante el método estadístico se obtiene la velocidad media del viento en la zona anteriormente señalada, el resultado que arroja este proceso es de suma importancia a la hora de ingresar los datos a las herramientas de simulación que se utilizará, esto para verificar cuánta potencia mecánica puede generar la turbina.

3.2 ORIGEN Y ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Hasta hace pocos siglos, las fuerzas creativas del hombre se concentraban en mejorar continuamente las fuentes de energía inagotables mediante el uso de máquinas artesanales y su

adaptación a las necesidades humanas. Por ejemplo, a comienzos del siglo pasado en Europa había incontables molinos de agua y de viento en funcionamiento [12].

A mediados del siglo XX, una Europa que venía recuperándose de la segunda guerra mundial; se destacó por la construcción de los primeros aerogeneradores de corriente alterna, en los años 80, varios fabricantes desarrollan nuevos sistemas de pequeñas turbinas usando generadores de inducción, los cuales eran conectados directamente a la red eléctrica; debido a problemas regulatorios y políticos estos no fueron una solución y fueron un fracaso comercial; de manera contraria, en Europa en países como Holanda, Alemania y Dinamarca tuvieron una gran acogida y un desarrollo mejor durante la misma época [7].

3.2.1 Principio de operación de las máquinas eólicas

Las máquinas eólicas son dispositivos que convierten la energía cinética del viento en energía mecánica, a pesar de que existen dos tipos básicos de turbinas, eje horizontal y eje vertical, el principio de funcionamiento es el mismo. La recepción de la energía eólica se realiza mediante la acción del viento sobre las aspas las cuales en conjunto con el eje reciben el nombre de rotor [5].

Según este principio el viento que es obligado a fluir por la cara superior e inferior del aspa genera una diferencia de presiones entre ambas caras, esto da como resultado una fuerza resultante que actúa sobre el aspa, al descomponer esta fuerza en dos direcciones se obtiene la fuerza de sustentación que está en dirección perpendicular al viento y la fuerza de arrastre que está en dirección paralela al viento [5].

Si el viento no supera la velocidad de puesta en marcha que es el valor necesario para que la turbina venza el rozamiento y empiece a producir trabajo útil no es posible el arranque de esta, con velocidades mayores empezará a girar hasta que se alcance la potencia nominal, generalmente la máxima que puede entregar tomando en cuenta que por razones de seguridad esta llegara al punto de detenerse llegando a la velocidad de corte para evitar que la máquina trabaje en condiciones para las cuales no fue diseñada [5].

En la **Figura 3.8.**, se muestra la curva de rendimiento de un aerogenerador pequeño en función de la potencia y la velocidad del viento, también se muestra la velocidad de arranque V_a , velocidad nominal V_n y la velocidad de corte V_c .

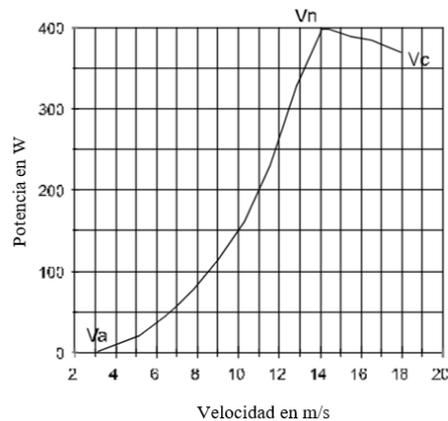


Figura 3.8. Rendimiento típico de un aerogenerador pequeño (400W) [5].

3.2.2 Turbinas de eje horizontal y vertical

Las turbinas de eje horizontal se consideran convencionales y de un diseño común. Para un diseño mejor balanceado entre mecánica y aerodinámica se recomiendan las turbinas eólicas de tres palas. Las pequeñas turbinas de eje horizontal se disponen según el tipo de rotor a partir de dos, tres o más palas; su mecanismo de viraje o de direccionamiento al viento comprende una veleta o puede ser fija mediante un estudio previo que nos indique la dirección frecuente del viento en la zona [13].

Las turbinas eólicas o aerogeneradores de eje vertical, son aquellas en las que el eje de rotación se encuentra perpendicular al suelo. Tienen la ventaja de adaptarse a cualquier dirección de viento. Trabajan, ya sea por la diferencia de coeficiente de arrastre entre las dos mitades de la sección expuesta al viento, o por la fuerza de sustentación que experimentan los perfiles aerodinámicos de que están hechos los álabes, al interactuar con la corriente de aire [14].

Este tipo de turbinas son muy eficientes, aunque producen grandes fluctuaciones de torque en la torre, lo que las hace poco fiables. El par de arranque es muy bajo, por lo cual se hacen modelos híbridos con turbinas de tipo Savonius para compensar esta desventaja [15].

3.3 TURBINA TIPO ESPIRAL DE ARQUÍMEDES

Este aerogenerador tiene una turbina de rotor en espiral, se trata de un tipo de turbina eólica pequeña basada en el diseño del matemático griego Arquímedes sobre la concha de un género de moluscos cefalópodos llamado nautilus. Algunas de las características principales de este

diseño son alta eficiencia, baja velocidad de arranque para un alto rendimiento, funcionamiento silencioso, insensibilidad a las turbulencias, bajo mantenimiento y apariencia orgánica.

Hace algunos años se lanzó el Arquímedes, que una compañía holandesa especializada en el desarrollo de energías renovables mostró al mercado en Europa. LIAM F1 UWT es una nueva generación de turbinas eólicas para uso doméstico más eficiente que sus contemporáneas y apenas genera ruido, actualmente sigue en desarrollo [16].

La turbina espiral de Arquímedes se ha diseñado para implementarse en los techos de los edificios, casas, entre otros, con un diámetro de rotor de 1,5 metros y un peso menor a los 100 kilos. Genera una media de 1500 kilovatios – hora de energía al año con una velocidad de viento de 5 m/s [16].

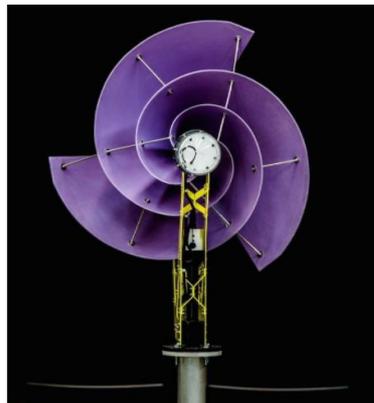


Figura 3.9. Diseño del rotor en forma de espiral de Arquímedes [16].

La **Figura 3.9.** muestra la forma de espiral que tiene la turbina, esto hace que sea capaz de capturar y extraer la energía cinética del viento hasta en un 88% para transformarla en energía mecánica, debido a su forma de tornillo la turbina debe apuntar a la dirección donde el viento tenga mayor fuerza para tener un rendimiento máximo [16].

3.3.1 Rotor de una turbina tipo espiral

El rotor de Arquímedes puede convertir un movimiento sencillo en un movimiento de rotación, y viceversa y también funciona como un mecanismo de disipación. Esto significa que el rotor puede ser utilizado como molino de viento y agua, así como un ventilador o una hélice de barco [17].

La pala del rotor de Arquímedes es una superficie plana alargada para darle profundidad y, por lo tanto, su forma se percibe como de volumen. A partir de una hoja de papel se puede obtener la forma espacial de una pala de rotor de Arquímedes girando y extendiendo simultáneamente un recorte del plano entre un círculo con radio R y una espiral plana [17].

3.3.2 Materiales en pequeñas turbinas tipo espiral

Las palas de la turbina son las encargadas de convertir la energía cinética del viento en la fuerza que actúa finalmente en el generador. De esta manera son estas mismas las que soportan las fuerzas de la naturaleza como el viento, los cambios extremos de temperatura, la radiación solar, la erosión y los terremotos. La mayoría de las pequeñas turbinas eólicas se construyen en materiales compuestos con propiedades mecánicas especiales que presentan una buena respuesta a las cargas de fatiga y se adaptan mejor a la geometría aerodinámica de las palas [18].

Estos materiales compuestos se constituyen de una matriz, un refuerzo y la interfaz, que actúa como adhesivo entre la matriz y el refuerzo. Usualmente se trabaja con materiales termoestables en la matriz como lo son la resina epoxi, polyester y vinyl éster; con refuerzos de fibra de vidrio, fibra de carbono y algunas veces un híbrido como se muestra en la **Figura 3.10**. [18].

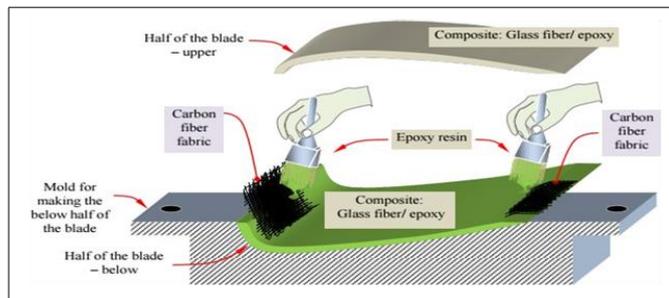


Figura 3.10. Materiales utilizados en turbinas eólicas [18].

3.4 NORMATIVA

La instalación de un Aerogenerador en ubicaciones altas se tiene que hacer respetando una serie de normas creadas por el gobierno y por ende del estado y de cada una de su comunidad. Como el diseño del prototipo se realiza en base a datos tomados en la terraza del bloque b de la Universidad Técnica de Cotopaxi, algunas leyes son las propias de la Norma Técnica

Ecuatoriana NTE INEN-IEC 61400-25-2 es idéntica a la traducción oficial al español de la Norma Internacional IEC 61400-25-2:2006 Aerogeneradores [19].

El órgano responsable de esta norma técnica ecuatoriana, es el Comité interno del INEN.

El diseño de aerogeneradores de baja potencia debe seguir la primera norma UNE-EN61400-2 de octubre del 2006 que se usa tanto para la parte eléctrica como la mecánica, sistemas de seguridad, mantenimiento y condiciones a las que debe someterse cualquier aerogenerador como se menciona en [20]. Sin embargo, esta norma no solo es válida, debe utilizarse junto con las siguientes normas: IEC 60034-1 Máquinas eléctricas rotativas.

Parte 1: Características asignadas y características de funcionamiento

IEC 60034-2 Máquinas eléctricas rotativas. Parte 2: Métodos para la determinación de las pérdidas y del rendimiento de las máquinas rotativas a partir de los ensayos.

IEC 60034-5 Máquinas eléctricas rotativas. Parte 5: Grados de protección proporcionados por el diseño integral de las máquinas eléctricas rotativas (Código IP).

IEC 60034-8 Máquinas eléctricas rotativas. Parte 8: Marcas de los bornes y sentido de giro.

IEC 60038:1983 Tensiones normalizadas IEC.

Modificación 1 (1994)

Modificación 2 (1997)

IEC 60204-1 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales.

IEC 60364-5-54 Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 5-54: Selección y montaje de equipos eléctricos. Disposiciones de puesta a tierra, conductores de protección y conductores de conexión de protección.

Parte 2: Aerogeneradores pequeños

Esta parte de la Norma IEC 61400 trata de la filosofía de la seguridad, el aseguramiento de la calidad y la integridad de la ingeniería, y especifica los requisitos para la seguridad de los aerogeneradores pequeños (AP), incluyendo el diseño, la instalación y el mantenimiento, así como la explotación en condiciones externas específicas, Su propósito es fijar un nivel

apropiado de protección contra daños por riesgos causados en estos sistemas durante su vida útil planificada [19].

Esta norma concierne a todos los subsistemas de aerogeneradores pequeños tales como los mecanismos de protección, los sistemas eléctricos internos, los sistemas mecánicos, las estructuras soporte, las cimentaciones y la interconexión eléctrica con la carga. Un sistema de aerogenerador pequeño comprende la turbina eólica propiamente dicha, incluyendo la estructura soporte, el regulador de la turbina, el controlador de carga /inversor (si se requiere), el cableado y conectores, los manuales de instalación y de utilización y otra documentación [19].

IEC 60721-2-1 Clasificación de las condiciones ambientales. Parte 2-1: Condiciones ambientales presentes en la naturaleza. Temperatura y humedad.

IEC 61400-1 Aerogeneradores. Parte 1: Requisitos de diseño.

IEC 61400-12-1 Aerogeneradores. Parte 12-1: Ensayo de curva de potencia.

IEC 61400-13 Aerogeneradores. Parte 13: Medida de cargas mecánicas

IEC 61400-14:2005, Aerogeneradores. Parte 14: Declaración del nivel de potencia sonora aparente y valores de tonalidad.

IEC/TS 61400-23:2001, Aerogeneradores. Parte 23: Ensayos estructurales de palas a escala real.

IEC 61643-11:2011, Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias de baja tensión. Parte 11: Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias conectados a sistemas eléctricos de baja tensión. Requisitos y métodos de ensayo.

ISO/IEC 17025, Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.

ISO 2394:1998, Principios generales de fiabilidad de las estructuras.

3.5 CRITERIOS DE DISEÑO DE TURBINAS EÓLICAS TIPO ESPIRAL

Los datos de potencia que se obtuvieron fueron de 500 watts a velocidades de 2,3 m/s, se debe tener presente que son aerogeneradores con dimensiones de 1,3 m de largo y 1m de diámetro [21].

A medida que se incrementa el área de captación de la turbina se podrá generar con menor velocidad de viento, esto hace posible que se pueda generar desde 2 m/s [21].

La formación y evolución del vórtice de la punta con respecto a la posición de las palas se revela mediante una serie de los campos instantáneos de velocidad obtenidos en diferentes ángulos de fase del aerogenerador. La firma de los vórtices de punta generados por cada pala se observa claramente para el rango de ángulo de fase de 0° a 120° . La distancia espacial entre los vórtices de punta generados por cada álabe es bastante uniforme en casos de pequeños ángulos de ataque [22].

La formación y evolución del vórtice de la punta con respecto a la posición de las palas se revelan por una serie de campos de velocidad instantáneos obtenidos en diferentes ángulos de fase de la turbina eólica. La forma de los vórtices de punta generados por cada hoja se observa claramente para el rango de 0° a 120° que es el ángulo de fase. La distancia espacial entre los vórtices de punta generados por cada pala es bastante uniforme en casos de pequeño ángulo de ataque [22].

Los resultados de esta investigación proporcionan información útil para encontrar una posición de instalación óptima del aerogenerador espiral de Arquímedes, especialmente en la raíz de un edificio en el que el viento ascendente fluye en forma habitual [22].

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 MATERIALES

4.1.1 Estación meteorológica

Se utiliza los datos recogidos por la estación meteorológica WatchDog Weather Station cuyo manual de operación se observa en el **Anexo 4.**, esta estación se encuentra ubicada en la terraza del bloque b de la Universidad Técnica de Cotopaxi y comparará con los datos medidos por un anemómetro digital en el mismo lugar, esto da como resultado que en ambos casos los datos son similares y que se puede trabajar con los datos tomados por la estación meteorológica para hallar estadísticamente la velocidad media del viento en la zona.

4.1.2 Herramientas CAD

Para modelar la turbina eólica se utiliza el software SolidWorks, debido a la gran gama de herramientas que tiene permite crear el diseño con los parámetros propuestos y que este sea lo

más parecido a la realidad, esto es factible puesto que tiene una gran variedad de materiales en sus librerías cada uno con sus características y propiedades.

4.1.3 Herramientas CAE

El software CAE que se utilizó para el análisis y simulación de la turbina es ANSYS, permite someter la pieza realizada con anterioridad a fenómenos y esfuerzos físicos que en este caso son el viento con el cual se realizará el análisis dinámico y la gravedad para el análisis estático, posteriormente se obtendrá los resultados buscados con dichos análisis.

Análisis estructural

Dentro del ANSYS se tiene la herramienta Autodyn la cual se utilizará para obtener la respuesta que tienen los materiales al estar sometidos a las diferentes fuerzas, la herramienta Mechanical es un análisis de elementos finitos que permite realizar el análisis estructural, incluyendo lineal, no lineal y estudios dinámicos. Esta simulación por ordenador proporciona elementos finitos al comportamiento del modelo, y soporta modelos de material y solucionadores de ecuaciones para una amplia gama de problemas de diseño mecánico.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Método general

4.2.1.1 Método inductivo

Se usó el método inductivo ya que en este caso se partió de una hipótesis que se pretende comprobar, en el caso de la presente hipótesis se buscó demostrar que la turbina eólica espiral de Arquímedes puede generar hasta 1 kW de potencia mecánica. Se escogió este método de acuerdo con [23] que en su publicación menciona que el método inductivo permite llegar a una conclusión general o una teoría a partir de la hipótesis planteada o antecedentes sobre el tema de estudio, también se puede decir que representa el proceso de la mente para alcanzar el conocimiento.

4.2.2 Métodos específicos

4.2.2.1 Método documental

De acuerdo a los fines investigativos que requiere el presente proyecto se utiliza el método documental ya que según menciona [24] la investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los

obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos.

4.2.2.2 Método cuantitativo

Se utilizará este método debido a que se desarrollan cálculos en función a los objetivos de la investigación y se utilizan métodos estadísticos para el procesamiento de datos.

Según [25] define el método cuantitativo como aquel que “utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico”.

4.2.2.1 Método científico

Mediante este tipo de método se busca resolver el problema planteado en el proyecto, se utilizará conceptos científicos ya existentes sobre el objeto de estudio, con el uso de herramientas tecnológicas y softwares como SolidWorks y ANSYS se pretende modelar una turbina eólica espiral de Arquímedes que sea eficiente y permita conocer el comportamiento reactivo bajo las condiciones ambientales que existe en la zona urbana del cantón Latacunga.

4.2.2.2 Método experimental

Según [26] menciona que empleando este método dentro de la investigación se puede utilizar más de una variable de estudio para controlar su aumento o disminución, esto permite observar las conductas que genera esta manipulación de las variables, en el caso de la presente investigación la variable manipulada será la velocidad media del viento para la obtención distintos resultados.

4.3 DECLARACIÓN DE VARIABLES

La operacionalización de variables se observa en el **Anexo 1**.

4.3.1 Variable de entrada

- Velocidad del viento
- Altura

4.3.2 Variable de salida

- Potencia mecánica

4.4 DISEÑO DEL PROYECTO

4.4.1 Selección de alternativas

4.4.1.1 Orientación del eje de la turbina

Se utilizará el método documental para analizar y determinar la orientación del eje que tenga mejores características, que se adapte y sea más eficiente para las condiciones meteorológicas que existe en la zona donde se pretende realizar el proyecto, se tomarán en cuenta las ventajas y desventajas que tiene cada una. En el **Anexo 2.**, se observan diferentes ventajas y desventajas de las turbinas según la orientación de su eje.

4.4.1.1 Selección de la turbina de eje horizontal

Se evaluará un grupo de turbinas conocidas y utilizadas en el ámbito de aerogeneradores eólicos. Se tomarán algunas características generales que poseen las turbinas de eje horizontal y mediante una pequeña evaluación se obtiene la valoración que indica cual es la turbina que tiene mejores resultados para su funcionamiento, en la **Tabla 4.1.**, se muestra la valoración de las turbinas según algunas características.

Tabla 4.1. Valoración de las turbinas según sus características.

Características de las turbinas de eje horizontal	Bipala	Tripala	Tornillo de Arquímedes	Molinos de viento
Es más estable al estar en operación	4	5	5	4
Necesita menor par de arranque para empezar a funcionar	3	4	5	3
Cubre mayor superficie de barrido	3	3	5	5
Mayor eficiencia	3	3	5	3
Utiliza menor cantidad de material para su fabricación	5	4	4	3
Menos afectación ante las turbulencias	4	4	5	4
Es más silenciosa al estar funcionando	4	4	4	3
Posee mejor sistema de direccionamiento hacia el viento	3	3	5	3
El mantenimiento es mucho más fácil	5	5	5	4
Total	34	35	43	32

La valoración de las turbinas se realiza de acuerdo a la rúbrica que se muestra en la **Tabla 4.2.**

Tabla 4.2. Rúbrica de evaluación.

Escala	Descripción
1	Cumple 0 % con la funcionalidad de la característica planteada
2	Cumple 25 % con la funcionalidad de la característica planteada
3	Cumple 50 % con la funcionalidad de la característica planteada
4	Cumple 75 % con la funcionalidad de la característica planteada
5	Cumple 100 % con la funcionalidad de la característica planteada

4.4.2 Procesamiento de datos del recurso eólico

4.4.2.1 Anemograma de la velocidad del viento

Como menciona [10], para que se pueda realizar el correcto estudio de un proyecto eólico es necesario e importante obtener los datos del recurso existente en la zona donde se propone realizarlo, en este caso se miden los datos de la velocidad del viento con la estación meteorológica WatchDog Weather Station, al procesar estos datos se genera el anemograma de la velocidad que se utilizará en el proyecto.

4.4.2.2 Distribución de Weibull

Determinar el potencial eólico, está relacionado con establecer los parámetros de la ecuación de distribución de Weibull, correspondientes al parámetro de escala c en m/s que determina la velocidad promedio del viento en el lugar de estudio y el parámetro de forma k que indica el grado de dispersión de los registros, con estos se puede establecer la frecuencia con la que se manifiesta una velocidad determinada del viento [11].

Para el análisis de los datos es necesario situarlos en orden ascendente, esto para identificar los valores máximo y mínimo como se indica en el **Anexo 3**.

Los parámetros de Weibull c y k , se determina a través de un ajuste por mínimos cuadrados que se lo conoce también como análisis de regresión, se toma en cuenta la expresión de las frecuencias acumuladas aplicada dos veces el logaritmo natural como se indica en (4.1).

$$\ln - \ln 1 - F v = k \ln c - k \ln x_i \quad (4.1)$$

Donde:

x_i = Velocidad del viento medido (m/s).

c = Factor de escala que suele ser próximo a la velocidad medida (m/s).

k = Factor de forma que caracteriza la simetría de la función de probabilidad.

Los valores de x_i se puede observar en el **Anexo 3**.

La ecuación (4.1) se debe ajustar a la recta $y = ax + b$ para obtener (4.2), (4.3) y (4.4), datos que son importantes para continuar con el procedimiento y hallar las constantes a y b.:

$$y = \ln - \ln 1 - F v \quad (4.2)$$

$$a = -k \ln c \quad (4.3)$$

$$b = k \quad (4.4)$$

El cálculo de las filas medianas $F_{(xi)}$ se obtiene con (4.5), el resultado se muestra en el **Anexo 3**.

$$F_{(xi)} = \frac{N_i - 0,5}{N} \quad (4.5)$$

Donde:

N_i = Número de orden.

N = Número total de datos.

La diferencia numérica y_i se obtiene con la Ecuación (4.6).

$$y_i = \ln - \ln 1 - F_{(xi)} \quad (4.6)$$

Donde:

$F_{(xi)}$ = Filas medianas

El cálculo de las constantes a y b se realiza con (4.7) y (4.8), los datos utilizados en las ecuaciones se pueden observar en la **Tabla 5.1**.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^{N_i} x_i \sum_{i=1}^{N_i} y_i}{N}}{\sum_{i=1}^{N_i} x_i^2 - \frac{\sum_{i=1}^{N_i} x_i^2}{N}} \quad (4.7)$$

Donde:

x_i = Velocidad del viento (m/s).

y_i = Diferencia numérica

N_i = Número de orden.

N = Número total de datos.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} y_i}{N} - b \frac{\sum_{i=1}^{N_i} x_i}{N} \quad (4.8)$$

Donde:

x_i = Velocidad del viento (m/s).

y_i = Diferencia numérica

N_i = Número de orden.

N = Número total de datos.

4.4.2.3 Ley exponencial de Hellmann

Una vez que se calcula la velocidad media del viento a una determinada altura, es posible calcular la velocidad del viento mediante la ecuación de ley exponencial de Hellmann que hace una relación a las velocidades a diferente altura.

$$\frac{v}{v_o} = \left[\left(\frac{h}{h_o} \right) \right]^\alpha \quad (4.9)$$

Donde:

v = Velocidad del viento a la altura final (m/s).

v_o = Velocidad del viento a la altura de medición inicial (m/s).

h = Altura final (m).

h_o = Altura de medición inicial (m).

α = Exponente de Hellmann.

Tabla 4.3. Valores del exponente de Hellmann según la rugosidad del terreno [27].

Tipo de terreno	Valor del exponente de Hellmann
Lugares llanos con hielo o hierba	0,08 ÷ 0,12
Lugares llanos (mar, costa)	0,14
Terrenos poco accidentados	0,13 ÷ 0,16
Zonas rústicas	0,2
Terrenos accidentados o bosques	0,2 ÷ 0,26
Terrenos muy accidentados y ciudades	0,25 ÷ 0,4

En la **Tabla 4.3.** se observa los valores del exponente de Hellmann, debido a la ubicación del proyecto se escoge el valor de 0,4 perteneciente a los terrenos muy accidentados y ciudades.

4.4.2.4 Rosa de los vientos

Para la adquisición de datos la Universidad Técnica de Cotopaxi facilito los datos obtenidos por un periodo cercano al de la terraza de la UTC donde se logró obtener más datos que conjuntamente, ayudaron para verificar el direccionamiento del viento.

4.4.3 Diseño conceptual del prototipo

4.4.3.1 Diámetro del rotor

Según [28] recomienda que el diámetro del rotor óptimo para la zona urbana es de 1.5 metros para la generación de potencia mecánica, en base a la investigación mencionada se establece el mismo diámetro en el presente modelo de turbina.

4.4.3.1 Largo de los álabes

El largo del álabe de la turbina espiral de Arquímedes es proporcional al radio del rotor y al ángulo de incidencia del sotavento del álabe, según [29] el ángulo de incidencia es fijo y se forma entre la línea de referencia del álabe y el eje horizontal, en el presente caso de estudio se establecerá un ángulo de incidencia de 60°.

Para calcular el largo de los álabes se aplica (4.10).

$$L = r + \frac{r}{\tan \theta} \quad (4.10)$$

Donde

r = Radio del rotor (m).

θ = Ángulo de incidencia del sotavento del álabe.

4.4.3.1 Número de álabes

El número de álabes se establece de acuerdo al manual de energía renovable [30] donde se menciona que, en la actualidad el número de álabes que brinda mayor eficiencia y estabilidad en las máquinas eólicas es de tres palas cada una desfasada a un ángulo de 120°, esto permite reducir la cantidad del material y por ende el peso.

4.4.3.2 Ángulo de ataque

El álabe que se procederá a modelar constituye un cierto diseño el cual muestre el tipo de perfil aerodinámico y de esta manera conocer los componentes para su posible estudio este estudio particularmente se utiliza en la determinación del diseño de alas para aviones.



Figura 4.1. Fuerzas que ejercen sobre el álabe.

Los perfiles aerodinámicos se caracterizan por la capacidad que brindan para conocer el desempeño aerodinámico, encontrar una mejor aplicación de acuerdo a la velocidad de giro, fuerza del aire nominal, torsión y la selección de materiales.

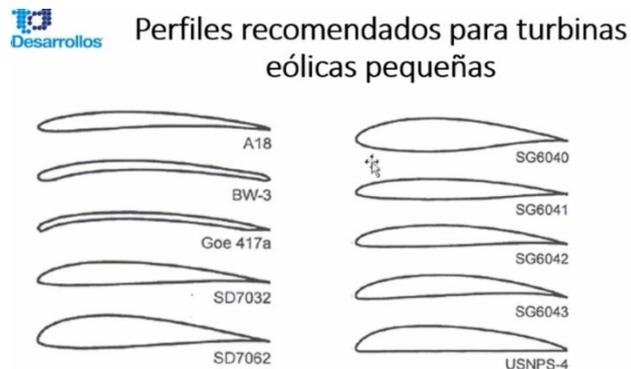


Figura 4.2. Perfiles eólicos de turbinas pequeñas.

4.4.4 Selección del material

4.4.4.1 Material para la turbina

El material escogido para la turbina es la fibra de vidrio o el vidrio S debido a que es una formulación de alta resistencia de uso cuando la resistencia a la tracción es la propiedad más

importante, entonces el vidrio fue desarrollado para resistir el ataque de productos químicos, que son los ácidos que más destruyen el vidrio. La fibra de vidrio es la versión norteamericana de la fibra. El vidrio es un término de la industria para el vidrio roto hecho de fibras, generalmente botellas. Los vidrios AR son vidrios resistentes a los álcalis (AlkaliResistant). La mayoría de las fibras de vidrio tienen una solubilidad limitada en agua, pero dependen en gran medida del pH. Los iones de cloruro también atacan la superficie del vidrio tipo E y la disuelven.

Tabla 4.4. Propiedades del material de los álabes.

Fibra de vidrio o el vidrio S	
Resistencia a la tracción	4,48 GPa
Módulo de elasticidad	85,4 GPa
Diámetro de fibra	8 y 11 μm
Alargamiento de rotura	0,70%
Módulo de Young	390 GPa
Tratamiento térmico	2000° a 2600°

4.4.4.2 Material para la torre

El material seleccionado para la torre es de tubo estructural de acero A35 de 101,6 mm de diámetro, las características de este material se encuentran en la **Tabla 4.12**. Los ejes serán de acero AISI SAE 1045 cuyas dimensiones serán calculadas posteriormente.

4.4.4.3 Material para el soporte

Para el soporte se selecciona una plancha de acero A35 de 4 mm de espesor cuyas propiedades mecánicas se muestran en la **Tabla 4.12**.

4.4.5 Potencia de la turbina

La potencia suministrada por una turbina de eje horizontal depende del área barrida por sus hélices, por decirlo de otra forma, depende de la longitud de las palas y no depende del número de las mismas. Para determinar la potencia teórica de la turbina se utiliza la Ecuación (4.35).

$$P = \frac{E_c}{t} = \frac{1}{2} \Phi A v^3 \quad (4.11)$$

Donde:

Φ = Densidad del aire (kg/m^3).

A = Área de barrido.

v = Velocidad del viento (m/s).

Para esta ecuación se toma el valor de la densidad la cual se observa en la **Tabla 4.5.**, según [31], la temperatura estándar que se utiliza en la industria eólica es de $15^\circ C$.

Tabla 4.5. Densidad del aire respecto a la temperatura [31].

Temperatura ° Celsius	Temperatura ° Fahrenheit	Densidad, es decir, masa de aire seco kg/m^3	Contenido de agua máx. kg/m^3
-25	-13	1,423	
-20	-4	1,395	
-15	5	1,368	
-10	14	1,342	
-5	23	1,317	
0	32	1,292	0,005
5	41	1,269	0,007
10	50	1,247	0,009
15	59	1,225 *)	0,013
20	68	1,204	0,017
25	77	1,184	0,023
30	86	1,165	0,030
35	95	1,146	0,039
40	104	1,127	0,051

Para calcular el área de barrido se utiliza (4.12).

$$A = \Phi \frac{D^2}{4} \quad (4.12)$$

Donde:

Φ = Densidad del aire (kg/m^3).

D = Diámetro del rotor (m).

La Ecuación (4.13) indica cómo calcular la potencia disponible.

$$P = \frac{\pi}{8} \Phi D^2 v^3 \quad (4.13)$$

Donde:

Φ = Densidad del aire (kg/m^3).

D = Diámetro del rotor (m).

v = Velocidad del viento (m/s).

Según el teorema de Betz [32] la potencia máxima que se puede extraer del viento para que el rendimiento sea el máximo es el 59% de la energía cinética, la potencia que se puede extraer del viento con un aerogenerador está determinada por (4.14).

$$P = C_p \frac{\Phi \pi D^2}{4} V^3 \quad (4.14)$$

Donde:

C_p = Coeficiente de potencia.

Φ = Densidad del aire (kg/m^3).

D = Diámetro del rotor (m).

V = Velocidad del viento (m/s).

El coeficiente de potencia según [33] se selecciona en base a los valores típicos para las turbinas, en este caso se utiliza 0.49 que es para turbinas pequeñas que generan menos de 2kW y también tomando en cuenta que la turbina cuenta con tres palas, este valor se observa en la **Figura 4.3**.

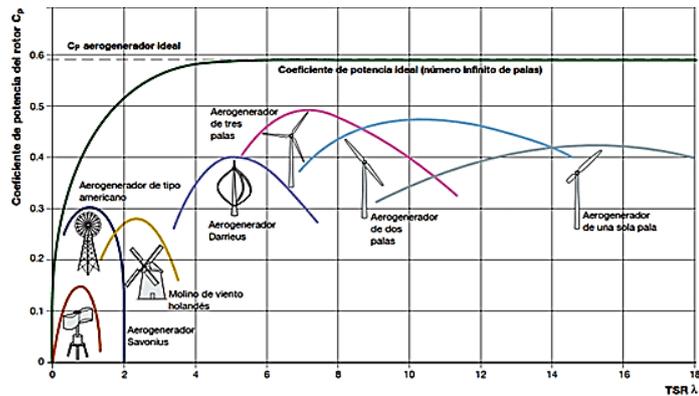


Figura 4.3. Valores típicos de CP para máquinas eólicas [34].

4.4.6 Dimensionamiento de los elementos de la turbina

4.4.6.1 Cálculo del eje de la turbina

- Cálculo del torque para la turbina de 1 kW

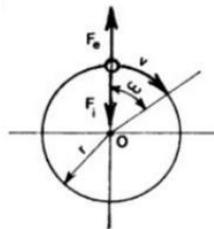


Figura 4.4. Fuerza centrífuga que ejerce sobre el eje giratorio.

Para el cálculo de la torsión se toma en cuenta la velocidad del viento tomada como referencia que es de 3,89 m/s, misma que fue analizada en un software CAE, obteniendo como velocidad angular 4 rad/s, esto se observa en la **Tabla 5.4.** y se calcula la velocidad angular a una velocidad de viento de 15 m/s.

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (4.15)$$

Donde:

P = Potencia, (W).

ω = Velocidad angular (rad/s).

- **Cálculo de fuerza centrífuga en la turbina**

$$F_c = \frac{m v^2}{2 r} \quad (4.16)$$

Donde:

m = Masa del cuerpo (Kg).

v = Velocidad del cuerpo (m/s).

r = Radio (m).

- **Diagrama de cuerpo libre XY**

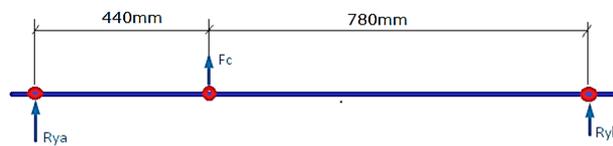


Figura 4.5. Diagrama de cuerpo libre del eje de la turbina.

- **Cálculo de momentos y reacciones ejercidas en eje de la turbina**

$$\sum M_{xa} = 0 \quad (4.17)$$

$$(F_c d_{x2}) + (R_{yb} d_{x3}) = 0 \quad (4.18)$$

Donde:

F_c = Fuerza centrífuga (N).

d_{x2} = Distancia del punto de giro a la aplicación de la fuerza (m).

R_{yb} = Reacción en el punto yb (N).

$$\sum F_y = 0 \quad (4.19)$$

$$R_{ya} + F_c + R_{yb} = 0 \quad (4.20)$$

Donde:

R_{ya} = Reacción en el punto ya (N).

F_c = Fuerza centrífuga (N).

R_{yb} = Reacción en el punto ya (N).

- **Cálculo del límite de resistencia**

$$S_e' = 0.5 * S_{ut} \quad (4.21)$$

Donde:

S_{ut} = Resistencia a la tensión mínima (MPa).

Para el dato de resistencia a la tensión se selecciona 655 MPa que es de material normalizado como se muestra en la **Figura 4.6**.

Propiedad	Laminado en caliente	Normalizado	Recocido
Resistencia a la tracción MPa	655	655	620
Punto de fluencia MPa	413	413	379
% de elongación	23	23	26
% de reducción de área	44	45	53
Dureza brinell (3000 kg.)	190	190	180

Figura 4.6. Propiedades mecánicas del material AISI 1045.

- **Cálculo del límite de resistencia a la fatiga**
- **Factor de confiabilidad**

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S_e' \quad (4.22)$$

Donde:

k_a = Factor de modificación de la condición superficial.

k_b = Factor de modificación del tamaño.

k_c = Factor de modificación de la carga.

k_d = Factor de modificación de la temperatura.

k_e = Factor de confiabilidad.

S_e' = Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

- **Cálculo factor de superficie K_a**

$$k_a = a(S_{ut})^b \quad (4.23)$$

Donde:

a = Factor de acabado superficial.

b = Exponente de acabado superficial.

Para el factor a y b se selecciona el tipo de acabado que en este caso es mecanizado en frío cuyos valores son, para a = 4,51 y para b = - 0,265.

Surface Finish	Factor a		Exponent b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Ground	1,34	1,58	-0,085
Machined or colddrawn	2,70	4,51	-0,265
Hotrolled	14,4	57,7	-0,718
As-forged	39,9	272	-0,995

From C.J. Noll and C. Lipson, "Allowable Working Stresses," Society for Experimental Stress Analysis, vol. 3, no. 2, 1946 p. 29. Reproduced by O.J. Haeger (ed.) *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, New York. Copyright © 1953 by The McGraw-Hill Companies, Inc. Reprinted by permission.

Figura 4.7. Constantes de factor de superficie k.

En la **Tabla 4.6.**, se indica que, para carga axial no hay efecto de tamaño por lo tanto el valor del mismo es 1.

Tabla 4.6. Tabla de valores de factor de tamaño.

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Para carga axial no hay efecto de tamaño, por lo cual

$$k_b = 1$$

Tabla 4.7. Tabla de valores de factor de temperatura.

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases}$$

Tabla 4.8. Tabla de valores de factor de modificación a la temperatura.

Temperatura, °C	S_f/S_{RT}	Temperatura, °F	S_f/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Tabla 4.9. Tabla de valores de factor de confiabilidad.

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_a
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

- **Cálculo del radio de la muesca (Redondeos de ejes)**

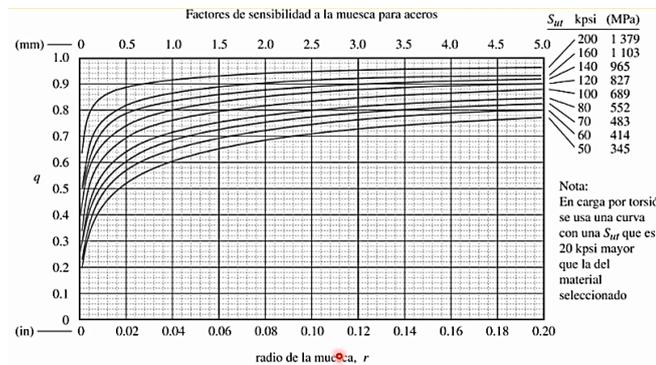


Figura 4.8. Factor de sensibilidad a la muesca para aceros.

La sensibilidad a la muesca q , está definida por la ecuación (4.24).

$$q = \frac{K_f - 1}{K_t - 1} \quad (4.24)$$

Donde q se encuentra usualmente entre cero y la unidad la ecuación (4.24) muestra que si $q = 0$, entonces $K_f = 1$ y el material no tiene ninguna sensibilidad a la muesca. Por otro lado, si $q = 1$, entonces $K_f = K_t$ y el material tiene sensibilidad total a la muesca. En el trabajo de análisis o diseño, primero encuentre K_t , a partir de la geometría de la parte. Después, especifique el material, encuentre q , y despeje para K_f la ecuación.

Tabla 4.10. Estimaciones de primera iteración de los factores de concentración del esfuerzo K_t .

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ($r/d = 0.02$)	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ($r/d = 0.1$)	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ($r/d = 0.02$)	2.2	3.0	–
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	–	–
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

Los valores faltantes en la tabla no pueden obtenerse con facilidad.

Para el caso de los cálculos de flexión y torsión se utiliza el flete de hombro: agudo ($r/d = 0,02$).

- **Flexión**

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (4.25)$$

- **Torsión**

$$K_{fs} = 1 + q(K_t - 1) \quad (4.26)$$

- **Diámetro del eje de la turbina**

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{16 n}{\pi} \left(\frac{1}{S_e} \sqrt{4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2} \right)} \quad (4.27)$$

Donde:

S_e = Límite de resistencia a la fatiga.

K_f = Factor de concentración de esfuerzo en flexión.

M_a = Momento resultante (N m)

K_{fs} = Factor de concentración de esfuerzo en torsión.

T_a = Torque de la turbina (N).

4.4.6.2 Cálculo del diámetro del eje 1 de la torre

- **Cálculo de fuerza centrífuga en la torre.**

Para realizar el cálculo de la fuerza centrífuga que actúa sobre la torre se utilizará (4.16).

- **Diagrama de cuerpo libre YZ**

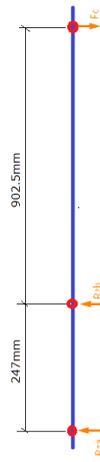


Figura 4.9. Diagrama de cuerpo libre del eje 1 de la torre.

- **Cálculo de momentos y reacciones ejercidas en el eje 1 de la torre**

Para realizar la sumatoria de momentos se utilizará (4.17).

$$(Rzb d_{x1}) + (Fc d_{x2}) = 0 \quad (4.28)$$

Para la sumatoria de fuerzas en Y, se usa (4.19).

$$Rza + Rzb - Fc = 0 \quad (4.29)$$

- **Cálculo del límite de resistencia**

Para este cálculo se utilizará la ecuación (4.21).

- **Cálculo del límite de resistencia a la fatiga**

Para obtener el resultado del límite de resistencia a la fatiga se utilizará la ecuación (4.22).

- **Cálculo factor de superficie Ka**

Para realizar dicho cálculo se utilizará la ecuación (4.23).

- **Factor de confiabilidad**

Para calcular el factor de confiabilidad se utiliza la ecuación (4.22).

- **Cálculo del radio de la muesca (redondeos de ejes)**

Para realizar los cálculos se toma como referencia los datos de la **Figura 4.8**.

- **Flexión**

El cálculo se realiza con la ecuación (4.25).

- **Torsión**

El cálculo se realiza con la ecuación (4.26).

- **Cálculo del diámetro 1 del eje de la turbina**

Al igual que en el anterior cálculo del eje en este se utiliza la ecuación (4.27).

4.4.6.3 Cálculo del diámetro del eje 2 de la torre

- **Cálculo de cargas axiales**

$$\delta = \frac{F L}{A E} \quad (4.30)$$

Donde:

δ = Deformación (mm).

F = Fuerza (N).

L = Largo (mm).

A = Área (mm^2).

E = Módulo de elasticidad del material (GPa).

Tabla 4.11. Propiedades mecánicas del acero AISI SAE 1045 [35].

Acero AISI SAE 1045	
Dureza	163 HB (84 HRb)
Esfuerzo de Fluencia	310 MPa (45000 PSI)
Esfuerzo Máximo	565 MPa (81900 PSI)
Elongación	16% en 50 mm
Reducción de Área	40%
Modulo de Elasticidad	200 GPa (29000 KSI)
Maquinabilidad	57%
Calor Especifico	460 J/(Kg °K)
Densidad	7,87 g/cm ³ (0,284/in ³)
Conductividad Térmica	52 W/(m °C)
Coefficiente de Poisson	0,3

La **Tabla 4.11.** indica las propiedades mecánicas del material, esto ayuda a realizar los cálculos para elegir las dimensiones correctas y no sufran deformaciones.

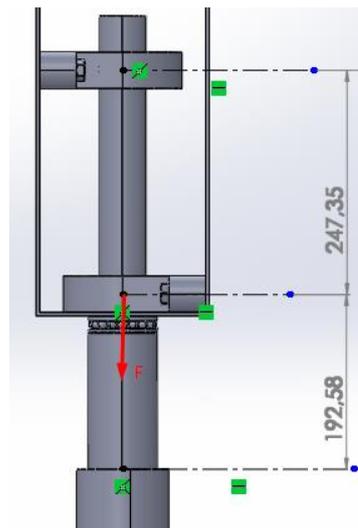


Figura 4.10. fuerzas y medidas que actúan sobre el eje YZ.

- Cálculo de las fuerzas que actúan en el eje Y

$$\sum F_y = -F = 0 \quad (4.31)$$

- **Cálculo del diámetro**

$$r = \sqrt{\frac{F * L}{\delta * E * \pi}} \quad (4.32)$$

4.4.6.4 Cálculo del factor de seguridad para el tubo base

Od = Diámetro exterior del tubo (mm).

Oi = Diámetro interior de tubo (mm).

$$A1 = \pi * r^2 \quad (4.33)$$

Donde.

A1 = Área exterior del tubo (mm^2).

r = Radio exterior del tubo (mm).

$$A2 = \pi * r^2 \quad (4.34)$$

Donde:

A2 = Área interior del tubo (mm^2).

r = Radio interior del tubo (mm).

$$At = A1 - A2 \quad (4.35)$$

Donde:

A_t = Área total (mm^2).

A_1 = Área exterior del tubo (mm^2).

A_2 = Área interior del tubo (mm^2).

Tabla 4.12. Propiedades del material para el tubo.

Acero A35	
Resistencia a la tracción	400-550 (58-80) MPa (ksi)
Límite elástico (Esfuerzo de fluencia)	Espesor \leq 200mm (in)
Elongación	23%, barras en 50 mm (8in)
Módulo de elasticidad	200 (29×10^3) GPa
Módulo de corte	79.3 (11.5×10^3) GPa (ksi)
Acero A35 (Límite de fluencia)	250 MPa (ksi)

- **Cálculo del factor de seguridad para el tubo base.**

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_y}{FS} \quad (4.36)$$

Donde:

σ_{adm} = Esfuerzo admisible (MPa).

σ_y = Esfuerzo de cadencia (MPa).

FS = Factor de seguridad (adimensional).

$$\frac{P}{A} = \frac{\sigma_y}{FS} \quad (4.37)$$

Donde:

P = Carga (N).

A = Área total (mm^2).

σ_y = Esfuerzo de cadencia (MPa).

4.4.6.5 Cálculo del factor de seguridad de la estructura

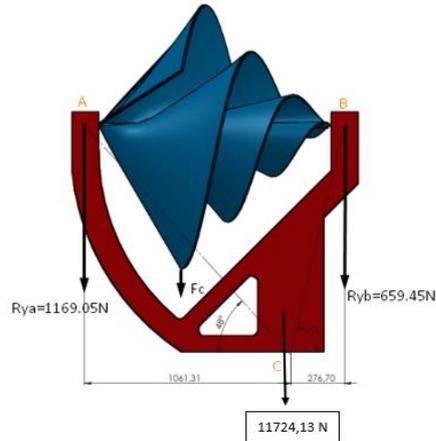


Figura 4.11. Diagrama de fuerzas de la estructura.

- **Análisis de la estructura**

Para calcular el factor de seguridad se aplica la ecuación (4.36), antes es necesario obtener el área del punto de la estructura donde se va a calcular, esto se realiza con la ecuación (4.38).

$$A = a * b \quad (4.38)$$

4.4.6.6 Cálculo y selección de rodamientos para el eje de la turbina

- **Carga estática equivalente**

$$P_o = X * F_r + Y * F_a \quad (4.39)$$

Donde:

P = Carga equivalente (kN).

F_r = Carga radial (kN).

F_a = Carga Axial (kN).

X = Factor radial.

Y = Factor axial.

$$P_o = 0,6 F_r \quad (4.40)$$

- **Vida nominal**

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (4.41)$$

Donde:

L_{10} = Vida nominal básica

C = Capacidad de carga dinámica básica (kN).

P = Carga dinámica equivalente del rodamiento (kN).

p = Exponente de la ecuación de la vida útil, rodamientos con bola, $p=3$, de rodillos $p=10/3$.

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 n}\right) (L_{10}) \quad (4.42)$$

Donde:

L_{10h} = Vida nominal (h).

n = Velocidad de giro (RPM).

4.4.6.7 Cálculo y selección de chumacera para la base de la turbina

La selección de chumaceras se realiza mediante las cargas que esta va a soportar, esto se calcula mediante la ecuación (4.39).

- **Carga estática equivalente**

La carga estática equivalente se realizará con la ecuación (4.40).

- **Vida nominal**

La vida nominal se calcula con las ecuaciones (4.41) y (4.42).

4.4.6.8 Cálculo y selección de rodamiento axial

Tabla 4.13. Jaulas estándar de los rodamientos axiales de bolas.

▼ Jaulas estándar de los rodamientos axiales de bolas			
Serie	Jaula de chapa de acero (-)	Jaula maciza de acero (FP)	Jaula maciza de latón (M, MP)
Número característico del agujero			
511	hasta 28	30 hasta 68	a partir de 72
512	hasta 28		a partir de 30
513	hasta 20		a partir de 22
514	hasta 11		a partir de 12
522	hasta 28		a partir de 30
523	hasta 20		a partir de 22
532	hasta 28		a partir de 30
533	hasta 20		a partir de 22
542	todas		
543	hasta 20		22

$$F_{amin} = M \left(\frac{n_{max}}{1000} \right)^2 \quad (4.43)$$

Donde:

F_{amin} = Carga mínima axial, (KN)

M = Coeficiente de carga mínima

n_{max} = Número máximo de revoluciones en servicio (RPM).

- **Carga estática equivalente**

La carga estática equivalente se calcula con la ecuación (4.39), tomando en cuenta las fuerzas que ejercen se tiene como resultado la ecuación (4.44).

$$P_o = 0,6 F_r Y F_a \quad (4.44)$$

Donde:

F_r = Carga radial (kN).

F_a = Carga Axial (kN).

Y = Factor axial.

- **Vida nominal**

La vida nominal se calcula con las ecuaciones (4.41) y (4.42).

4.4.6.9 Cálculo de la placa base

Para el cálculo de la placa base se utiliza la ecuación (4.45).

$$A1_{requerida} = \frac{Pu}{\phi * 0.85 F'c \sqrt{A2/A1}} \quad (4.45)$$

Donde:

Pu = Carga axial (N).

$A1$ = Área de la placa (mm^2).

$F'c$ = Resistencia del concreto recomendada 21 MPa (MPa).

Tabla 4.14. En la tabla se muestran las especificaciones del concreto.

Número de muestra	Fecha de toma	Hora de toma	Especificación del concreto (MPa)	R3	Promedio 3 días	R7	Promedio 7 días	R29	Promedio 28 días
200	20/02/19	11:10	28	17	16,8	22	22,4	38	35
				16,6		22,8		32	
201	20/02/19	13:30	21	15,2	14,7	11,5	12,9	22	23,5
				14,2		14,3		25	
202	20/02/19	16:20	21	10,1	9,8	13,8	13,2	17,2	18,7
				9,5		12,6		20,2	
203	20/02/19	16:45	17	11,6	12,2	18,2	17,8	29,7	28,3
				12,8		17,4		26,9	

$$F_c = \frac{m v^2}{r} \quad (4.46)$$

Donde:

m = Masa del cuerpo (Kg).

v = Velocidad del cuerpo (m/s).

r = Radio (m).

Para calcular el área requerida de la base se toma en cuenta el factor de reducción de resistencia que se muestra en la **Figura 4.12**.

Resistencia de diseño por aplastamiento:	$\phi_c P_p$	LRFD
Resistencia permisible por aplastamiento:	P_p / Ω_c	ASD
Factores de reducción de resistencia		
$\phi_c = 0.65$ (LRFD)	$\Omega_c = 2.31$ (ASD)	

Figura 4.12. Factores de reducción de resistencia.

Para calcular el área del tubo se utiliza la siguiente ecuación.

$$A_{tubo} = \pi * r^2 \quad (4.47)$$

Donde:

r = Radio del tubo (mm).

Para calcular el área total se utiliza la ecuación (4.48).

$$A_t = A_{1requerida} + A_{tubo} \quad (4.48)$$

Donde:

$A_{1_{requerida}}$ = Área requerida (mm^2).

A_{tubo} = Área del tubo (mm^2).

- **Cálculo del diámetro de la placa**

El cálculo del diámetro de la placa se calcula con la ecuación (4.47), mediante despeje de fórmulas se obtiene la siguiente.

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (4.49)$$

- **Cálculo del espesor de la plancha**

$$e_{min} = l \sqrt{\frac{2 * P_u}{\emptyset * F_y * B * N}} \quad (4.50)$$

4.4.7 Proceso de simulación del prototipo

4.4.7.1 Simulación en ANSYS CFX

Mediante la obtención de la estructura en SolidWorks se procedió a guardar en formato de terminología Parasolid (.x_t) generado en un diferente formato para que lo reconozca ANSYS CFX en cual nos permitirá generar el análisis general del álabe.

- Se realizó una generación (GENERATE), después de cada paso dado para que se guarde en la memoria del Workbench, mediante el Enclosure delimitamos el espacio donde circulará el fluido.

- Se procede a dar comandos para la entrada, salida y por donde circulará el fluido chocando con el alabe (Inlet, Outlet, Opening y Wall), procediendo a realizar pruebas con las diferentes velocidades que nos arrojó la estación meteorológica.
- Se realizó un mallado para configurar la velocidad del viento según lo necesitemos en la adquisición de datos.
- Finalmente se da condiciones en el Setup para lograr determinar las limitaciones y velocidad de circulación del viento para determinar la dirección y resistencia del álabe.

4.4.7.2 Simulación en Static Structural

Mediante la obtención de la estructura en SolidWorks se procedió a guardarlo en termino Parasolid (.x_t) generado en un diferente formato para que lo reconozca Ansys Static Structural en cual nos permitirá generar el análisis general de la estructura metálica de la turbina espiral de Arquímedes.

- Se realizó la importación de la estructura previamente armada, para poder realizar las simulaciones adecuadas mediante el cambio de materiales para la obtención del análisis de esfuerzos
- Se realizó un mallado parcial por cada elemento para determinar su punto de rompimiento y de resistencia conforme lo estructurado en el SolidWorks.
- Se verificó con materiales estándar del mercado y comprobar su resistividad.
- Dependiendo del material se podrá determinar el límite de Seguridad, según las normativas europeas.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

El **Anexo 2.** muestra algunas ventajas y desventajas que tienen las turbinas según la orientación de su eje, las ventajas que presentan las turbinas de eje horizontal permiten resumir que el proyecto de investigación propuesto es viable debido a las características de operación y a las condiciones que ofrece el viento en la zona urbana de Latacunga, en la

Tabla 4.1., se observa que la turbina con mejor puntuación es el tipo tornillo de Arquímedes, por esta razón se desarrolla la investigación con la finalidad de conocer cuánta potencia mecánica es capaz de generar con las condiciones meteorológicas de la zona.

5.2 PROCESAMIENTO DE DATOS DEL RECURSO EÓLICO

5.2.1 Anemograma de la velocidad del viento

En la **Figura 5.1.**, se indica la variación de la velocidad del viento tomada en distintos momentos de un día aleatorio. Es decir, en el lapso de 24 horas se toman 142 muestras las cuales están graficadas en función de la velocidad que se mide en cada una de las muestras.

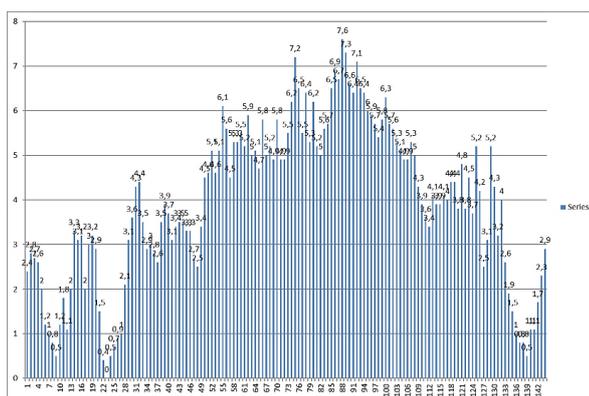


Figura 5.1. Anemograma de la velocidad del viento.

5.2.2 Distribución de Weibull

Al realizar el procesamiento estadístico de los datos de velocidad del viento se obtienen los valores que se indican en la **Tabla 5.1.** para posteriormente con dichos resultados calcular las constantes a, b, c y k como se observa en la **Tabla 5.2.**

Tabla 5.1. Resultados del proceso estadístico de datos.

Ni	xi	LN(xi)	F(xi)	yi	LN(xi)^2	(yi)^2	LN(xi)*yi
	Σ	368,0509679	142,5	-164,2043608	513,8276447	558,1461966	-87,18162369

Tabla 5.2. Valores de las constantes de Weibull.

Constante	Resultado
b	3,24142744
a	-4,76215743
c	4,34555904
k	3,24142744

El resultado que proporciona el programa trazador de la distribución de Weibull que se encuentra disponible en el sitio web de la Asociación Danesa de la Industria Eólica [2] indica la velocidad media que existe en el lugar donde se recolectaron los datos.

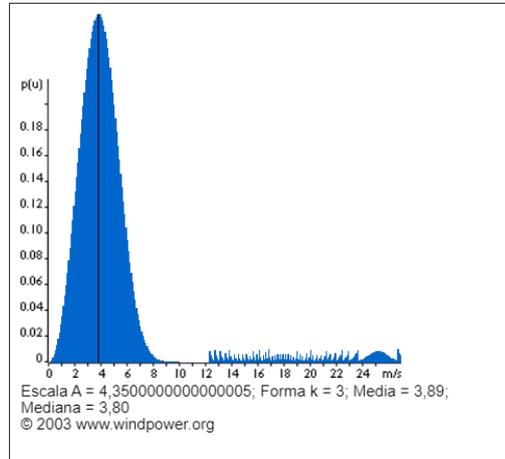


Figura 5.2. Velocidad media del viento.

En la **Figura 5.2.**, se observa que el proceso estadístico da como resultado una velocidad media de 3,89 m/s.

5.2.3 Ley exponencial de Hellmann

Se utilizó la ley exponencial de Hellmann para calcular la velocidad del viento y la potencia que puede generar la turbina ubicada a 2 metros sobre el nivel del suelo.

Velocidad a dos metros sobre el nivel del suelo			
Datos		Resultado	
V ₀	3,89	v	1,5486369
h	2		
h ₀	20		
∞	0,4		

Figura 5.3. Velocidad a dos metros sobre el suelo.

5.2.4 Rosa de los vientos

La rosa de los vientos en el proyecto es una parte fundamental para la distribución de la velocidad y dirección del mismo en esta parte de la investigación se tomara un enfoque exclusivamente en la comparación de las direcciones que se han obtenido mediante la estación meteorológica y medidas realizadas por los estudiantes, con los datos adquiridos se logró obtener un límite superior e inferior el cual nos indica el tiempo aproximado de la dirección, velocidad y el porcentaje de adquisición de viento para la generación de energía mecánica, donde se logró obtener datos del cálculo de la rosa de los vientos para lograr comparar los diferentes datos en el cual se hizo una referencia inicial en su altura de 20 metros, prácticamente a la altura que se simulará el prototipo.

En el tema presentado se verificará los diferentes estándares referidos a la dirección del fluido a usarse para crear una rosa de viento la cual mostrará la distribución porcentaje de adquisición del fluido para lograr definir una velocidad y una dirección donde se podrá verificar diferentes potencias logradas con la ayuda del viento, en el cual se obtendrá la sección más amplia, la más corta y sobre todo la más fuerte para lograr tener una dirección exacta de donde será el ingreso del fluido (Aire), esa será la dirección dominante con su respectivo color en el cual dependerá de la velocidad y dirección del viento.

- Regresando a la rosa de los vientos se puede definir que los valores entre 4 y 6 donde se encontrará aproximadamente un porcentaje de datos del 27 % de puntos de referencia, demostrando que a pesar de tener una variedad de datos su velocidad es muy baja, en la cual nuestra turbina espiral de Arquímedes funcionará a una equivalencia del 19.49% de su capacidad por día aproximadamente, lo que no es bueno en la generación de potencia mecánica.
- Los valores obtenidos entre las velocidades entre 3 y 4, donde se encontrará aproximadamente un porcentaje de datos del 40 % de puntos de referencia datos los cuales se puede obtener una velocidad promedio de 3,89 Esta es la media de la velocidad en la cual la turbina espiral de Arquímedes funcionará a un porcentaje del 37.29% de su capacidad diaria.
- Finalmente se tiene las velocidades entre 6 y 8, donde se encontrará aproximadamente un porcentaje de datos del 20 % de puntos de referencia datos los cuales se puede obtener una

velocidad más viable para la generación de energía eólica el mismo que tendrá un porcentaje de 11.02% con respecto a su capacidad y funcionamiento diario.

Estos resultados plantean la problemática de garantizar la disponibilidad de energía eólica con una velocidad de viento relativamente eficaz pero que no brindara una fiabilidad de estos datos, así como entender la interpretación de la información que se puede extraer del prototipo Espiral.

Por tanto, la dirección del viento está hacia el SURESTE ya que según datos obtenidos la mayor fuerza está pasando en esa dirección lo que faculta la ubicación para una posible instalación posterior.

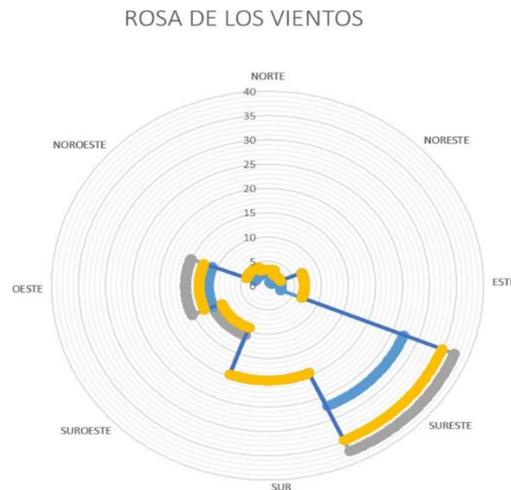


Figura 5.4. Dirección de los Vientos.

Como se muestra en la **Figura 5.4.**, la mayor cantidad de viento que fluye en el lugar de estudio proviene de las coordenadas sureste.

5.3 DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROTOTIPO

Para el modelamiento de la turbina se tomó en cuenta los parámetros ya mencionados en el apartado de metodología, el diámetro del rotor de la turbina es de 1,5 m y tres álabes. El largo se lo define con la ecuación (4.10), dando como resultado:

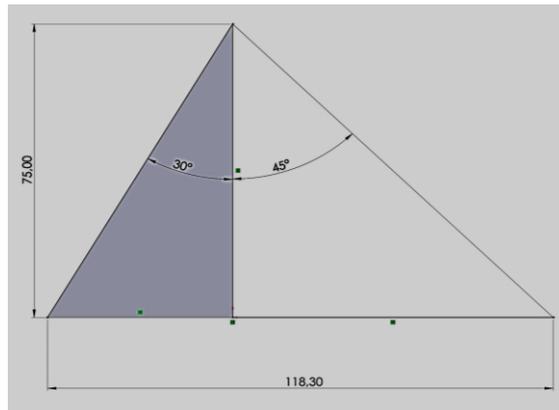


Figura 5.5. Largo del álab.

En la **Figura 5.5.**, se aprecia el resultado al aplicar los datos de la geometría del álab que permitieron realizar el cálculo del largo que tiene el mismo.

Diámetro del rotor para generar 1kW			
Datos		Resultado	
P (W)	1000	Diámetro para generar 1kW (m)	8,5
C _p	0,49		
φ (kg/m ³)	1,225		
V (m/s)	3,89		

Figura 5.6. Diámetro del rotor para generar 1 kW.

Como se observa en la **Figura 5.6.**, el diámetro necesario para generar potencia mecánica de 1 kW es de 8,5 m, esto nos indica que es un diámetro demasiado grande para que pueda ser implementado en zonas urbanas, por tal motivo bajo criterios de diseño y basados en investigaciones previas se planteó el diámetro de 1,5 m.

5.3.1 Ángulo de ataque

La fuerza D representa el arrastre o “Drag” en inglés y la fuerza L es la sustentación o “Lift”. Ambas fuerzas son el resultado de la descomposición de la fuerza F la cual es el resultado del impacto del viento con una velocidad con un ángulo de ataque sobre el álab. Como el estudio trata sobre el análisis sobre una turbina espiral de Arquímedes, la fuerza de mayor interés será la de sustentación. La fuerza de sustentación es la fuerza que resulta perpendicular a la fuerza

con la que impacta el viento al perfil alar, lo que genera un movimiento rotacional sobre las turbinas de eje horizontal y las de tipo Espiral.

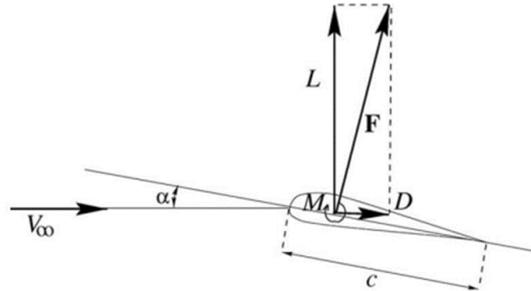


Figura 5.7. Fuerzas que ejercen sobre el álabe.

Como quién señaló en los antecedentes generales las fuerzas que actúan en la turbina tanto la fuerza de arrastre como sustentación surgen a través del impacto del viento sobre las dichas fuerzas se pueden apreciar en la presente figura.

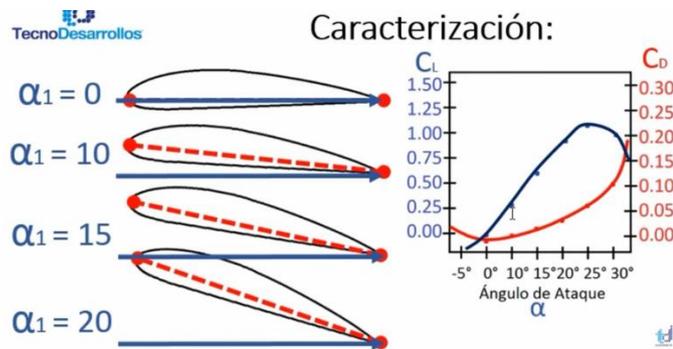


Figura 5.8. Ángulos de ataque para pequeñas turbinas.

5.4 POTENCIA DE LA TURBINA

Al aplicar la ecuación (4.14) con los datos atmosféricos de la zona y los parámetros de diseño se obtiene la potencia teórica generada a diferentes velocidades de viento incluida la velocidad media calculada, la velocidad máxima medida y la velocidad calculada a 2 metros sobre el suelo.

Tabla 5.3. Resultados de la Potencia.

Potencia teórica de la turbina	Velocidad del viento (m/s)	0	1,5	3,89	9,6	12,4
	Potencia (W)	0,00	1,79	31,22	469,23	1011

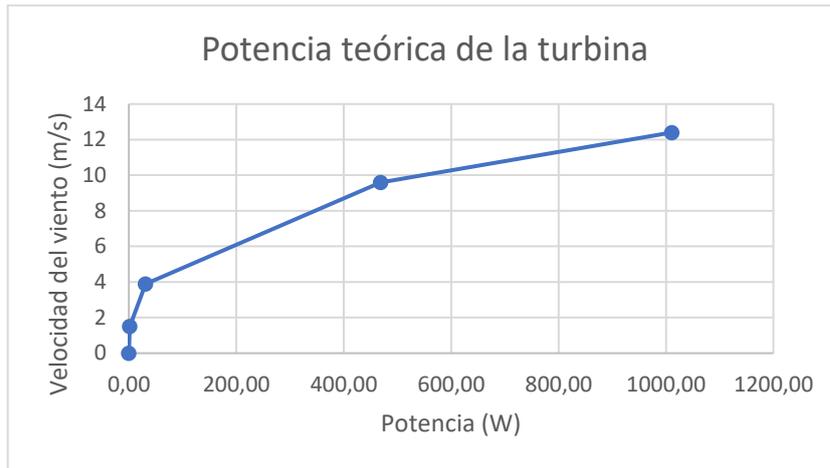


Figura 5.9. Curva de la potencia teórica.

En la **Figura 5.9.**, se observa la curva de potencia teórica en base a los resultados obtenidos que se muestra en la **Tabla 5.3.**

5.5 DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA TURBINA

5.5.1 Resultado del diámetro del eje de la turbina

El cálculo de la torsión se realizó con la ecuación (4.15), y se obtuvo el siguiente resultado:

$$T = 64.81 Nm$$

Para el cálculo de la fuerza centrífuga se utilizó la ecuación (4.16), dando como resultado el siguiente valor:

$$F_c = 1828.5 N$$

El resultado del cálculo de momentos y reacciones ejercidas en el eje de la turbina son los siguientes:

$$R_{yb} = -659.45N$$

$$R_{ya} = -1169.05 \text{ N}$$

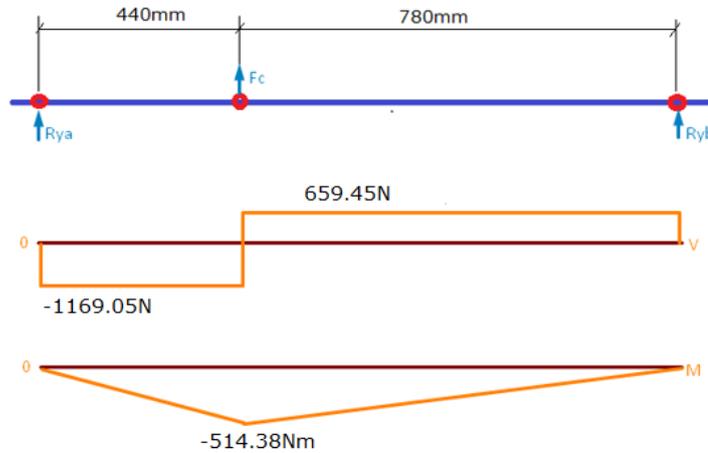


Figura 5.10. Diagrama de momentos y fuerzas que actúan sobre el eje XY.

El cálculo del límite de resistencia a la fatiga se realizó con la ecuación (4.21), dando como resultado:

$$S_e' = 327.5 \text{ MPa}$$

El factor de confiabilidad se calculó mediante la ecuación (4.22), tomando en cuenta todas las consideraciones de diseño que se especifican en el apartado de metodología, obteniendo el siguiente resultado:

$$S_e = 317.68 \text{ MPa}$$

Utilizando la ecuación (4.23) se obtiene el resultado del factor de superficie K_a :

$$k_a = 0.97$$

Para el cálculo de flexión y torsión necesarios para determinar el diámetro del eje se utilizó las ecuaciones (4.25) y (4.26) dando como resultado:

$$K_f = 2.24$$

$$K_{fs} = 1.84$$

El diámetro del eje de la turbina se calculó mediante la ecuación (4.27).

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{16 (1)}{\pi} \left\{ \frac{1}{(317.68 \text{ MPa})} \sqrt{[4(2.24 * 514382 \text{ Nmm})^2 + 3(1.84 * 64810 \text{ Nmm})^2]} \right\}}$$

$$d_1 = 33.35 \text{ mm}$$

5.5.2 Resultado del diámetro del eje 1 de la torre

Utilizando la ecuación (4.16), se obtiene como resultado de la fuerza centrífuga:

$$F_c = 23247.35 \text{ N}$$

Para el cálculo de momentos y reacciones se utiliza las ecuaciones (4.28) y (4.29) obteniendo:

$$R_{zb} = 108189.59 \text{ N}$$

$$R_{za} = -84942.24 \text{ N}$$

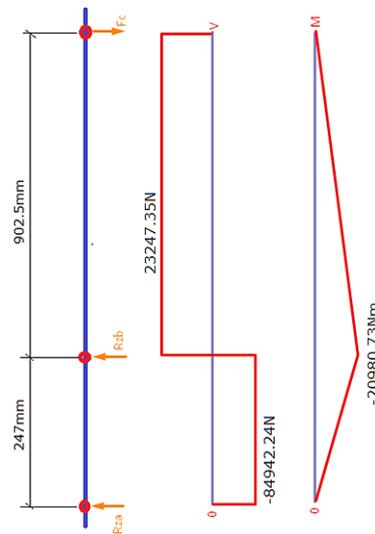


Figura 5.11. Resultado de momentos y fuerzas que actúan sobre el eje YZ.

El límite de resistencia se calculó con la ecuación (4.21) obteniendo como resultado:

$$S_e' = 327.5 \text{ MPa}$$

Utilizando la ecuación (4.22), se calculó el límite de resistencia a la fatiga cuyo valor se muestra a continuación.

$$S_e = 317.68 \text{ MPa}$$

El factor de superficie K_a se calculó utilizando la ecuación (4.23).

$$k_a = 0.97$$

Para el cálculo de flexión y torsión necesarios para determinar el diámetro del eje se utilizó las ecuaciones (4.25) y (4.26) dando como resultado:

$$K_f = 2.24$$

$$K_{fs} = 1.84$$

El diámetro del eje 1 de la torre se calculó con la ecuación (4.27), y el resultado se presenta a continuación:

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{16 (1)}{\pi} \left\{ \frac{1}{(317.68MPa)} \sqrt{[4(2.24 * 20980733.28 Nmm)^2 + 3(1.84 * 0 Nmm)^2]} \right\}}$$

$$d_1 = 53.21 mm$$

5.5.3 Resultado del diámetro del eje 2 de la torre

El cálculo de las cargas axiales que ejercen sobre el eje se realizó con la ecuación (4.30), y se utilizó para calcular el diámetro del eje.

El cálculo de las fuerzas que actúan en el eje Y se calculó con la ecuación (4.31), y el resultado negativo indica que está actuando en compresión.

$$F_y = -2298.49N$$

El diámetro se calculó mediante la ecuación (4.32), y se obtiene como resultado:

$$r = \sqrt{\frac{(2.29KN) * (0.192m)}{(1) * (200 \frac{KN}{m^2}) * \pi}}$$

$$\phi = 93.76 mm$$

5.5.4 Resultados del factor de seguridad del tubo de la torre

Para calcular el factor de seguridad se utilizó la ecuación (4.37), tomado en cuenta el área la cual va a soportar la carga, para calcular la misma se usó las ecuaciones (4.33), (4.34) y (4.35).

$$A1 = 8107.32 \text{ mm}^2$$

$$A2 = 6880.84 \text{ mm}^2$$

$$At = 1226.48 \text{ mm}^2$$

$$\frac{108189.59 \text{ N}}{1226.48 \text{ mm}^2} = \frac{250 \text{ N/mm}^2}{FS}$$

$$FS = 2,83$$

5.5.5 Resultados del factor de seguridad de la estructura

Mediante cálculos matemáticos, se determinó que el área en la parte más crítica en la estructura es de $175,46 \text{ mm}^2$. Mediante la ecuación (4.36), se calcula el factor de seguridad obteniendo el siguiente resultado:

$$\frac{15381,13 \text{ N}}{175,46 \text{ mm}^2} = \frac{250 \text{ N/mm}^2}{FS}$$

$$FS = 2,85$$

5.5.6 Resultados y selección de rodamientos para el eje de la turbina

Se calculó la carga estática equivalente que va a soportar el eje con la ecuación (4.39), se obtiene como resultado y se selecciona del catálogo de FAG como se observa en el **Anexo 8**.

$$P_o = 2.19 \text{ kN}$$

La vida nominal se calculó con las ecuaciones (4.41) y (4.42), obteniendo como resultado:

$$L_{10} = \left(\frac{16 \text{ KN}}{2.19 \text{ KN}} \right)^3 = 389.96$$

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 * 147.34} \right) (389.96) = 44111.12 \text{ h}$$

Mediante el resultado obtenido, se observa que el rodamiento 6007 tendrá una vida útil de 44111,12 horas de trabajo continuo.

5.5.7 Resultados y selección de chumacera para la base de la turbina

Para el cálculo de las chumaceras según la carga que va a soportar se utiliza la ecuación (4.39), la chumacera se eligió del catálogo de FAG que se observa en el **Anexo 9**.

$$P_o = 13.94 \text{ kN}$$

La vida nominal se calculó con las ecuaciones (4.41) y (4.42), obteniendo como resultado:

$$L_{10} = \left(\frac{19.3 \text{ kN}}{\frac{13.94 \text{ kN}}{2}} \right)^3 = 21.23$$

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 * 147.34} \right) (21.23) = 2401.48 \text{ h}$$

Mediante el resultado obtenido, se observa que el rodamiento 16211 tendrá una vida útil de 2401,48 horas de trabajo continuo.

5.5.8 Resultados y selección de rodamiento axial

Se utilizó la ecuación (4.43) para calcular la carga mínima axial.

$$F_{amin} = (72) * \left(\frac{147.34}{1000} \right)^2 = 1.56 \text{ kN}$$

Para el cálculo de la carga estática equivalente se utilizó la ecuación (4.44).

$$P_o = 0.6 * 23.24 \text{ kN} + (72)(1.56) = 126.26 \text{ kN}$$

Se selecciona el rodamiento axial del catálogo de FAG de acuerdo a las cargas que va a soportar, las características se pueden observar en el **Anexo 10**, posteriormente se calcula la vida nominal utilizando las ecuaciones (4.41) y (4.42) obteniendo los siguientes resultados:

$$L_{10} = \left(\frac{180 \text{ kN}}{126.26 \text{ kN}} \right)^3 = 2.89$$

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 * 1} \right) (2.89) = 48166.66 \text{ h}$$

Mediante el resultado obtenido, se observa que el rodamiento 51111 tendrá una vida útil de 48166.66 horas de trabajo continuo.

5.5.9 Resultados del cálculo de la placa base

Para calcular la fuerza centrífuga que actúa sobre la placa base se utilizó la ecuación (4.46).

$$F_c = \frac{(234.54 \text{ Kg}) * (15 \text{ m/s})^2}{1.135 \text{ m}} = 46494.71 \text{ N}$$

$$P_u = 46494.71 \text{ N} + 306.35 \text{ N} = 46801.06 \text{ N}$$

$$A1_{requerida} = \frac{46801.06 \text{ N}}{(0.65) * (0.85) * (21 \text{ MPa}) * \sqrt{1}} = 4033.7 \text{ mm}^2$$

$$A_{tubo} = \pi * (50.8 \text{ mm})^2 = 8107.32 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 12141.02 \text{ mm}^2$$

Se calculó el diámetro de la placa utilizando la ecuación (4.50), y se obtiene el siguiente resultado.

$$e_{min} = (125 \text{ mm}) \sqrt{\frac{2 * (46801.06 \text{ N})}{(0.65) * (250 \text{ MPa}) * (125 \text{ mm}) * (125 \text{ mm})}} = 24 \text{ mm}$$

5.6 ANÁLISIS DE ESFUERZOS DE LA ESTRUCTURA

5.6.1 Análisis de la torre de la estructura

El análisis de la torre se realizó de forma separada utilizando la fuerza que genera el peso de la turbina y la estructura que sostiene a la misma.

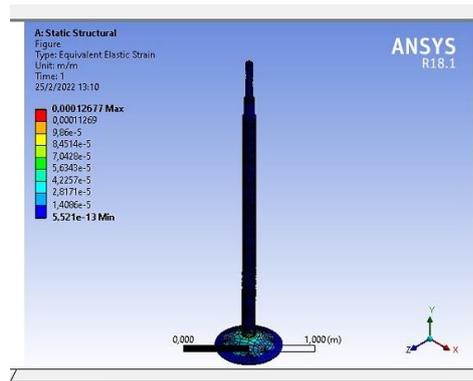


Figura 5.12. Análisis estático de la torre.

En la **Figura 5.12.**, se observa que su deformación es mínima lo que da a entender que la estructura no sufrirá deformaciones.

5.6.2 Análisis de la base de la estructura

Como se puede observar a continuación la deformación es mínima esto quiere decir que los materiales y las dimensiones de las mismas son confiables y en el futuro se puede construir.

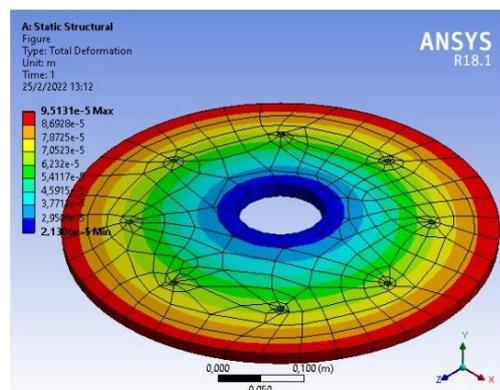


Figura 5.13. Análisis de la base de la estructura.

En la **Figura 5.13.**, se observa la deformación que tiene al estar sometida a la carga que genera todo el peso de la estructura.

5.6.3 Análisis de la estructura del prototipo

En la **Figura 5.14.**, se observa la deformación que existe en la estructura que sostiene a la turbina, esto demuestra que las dimensiones y la selección de materiales es correcta y existe un mínimo valor de deformación.

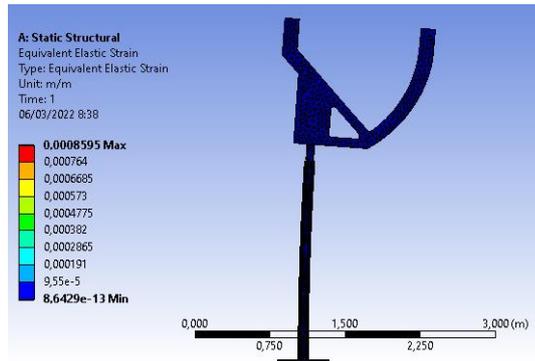


Figura 5.14. Análisis estático de la estructura.

5.7 SIMULACIONES DEL PROTOTIPO

5.7.1 Trayectoria del fluido

En la **Figura 5.15.**, se observa la trayectoria que tiene el viento al entrar en contacto con los álabes de la turbina en función de la velocidad.

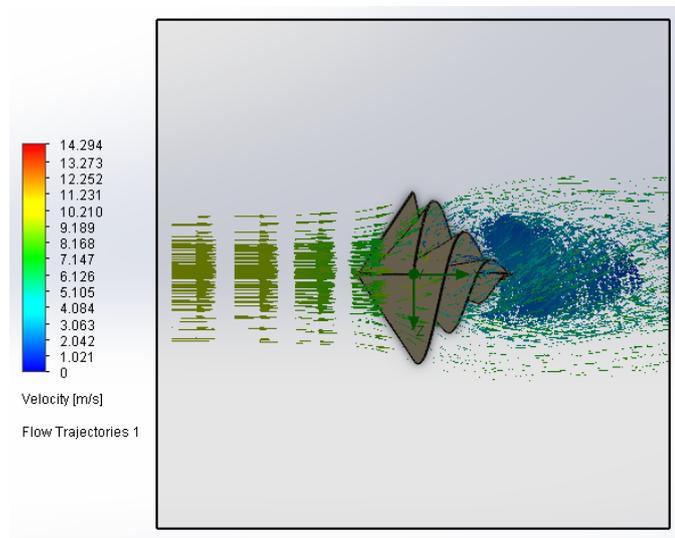


Figura 5.15. Trayectoria del fluido.

5.7.2 Análisis con velocidad de 3.89m/s en el álabe de turbina espiral de Arquímedes

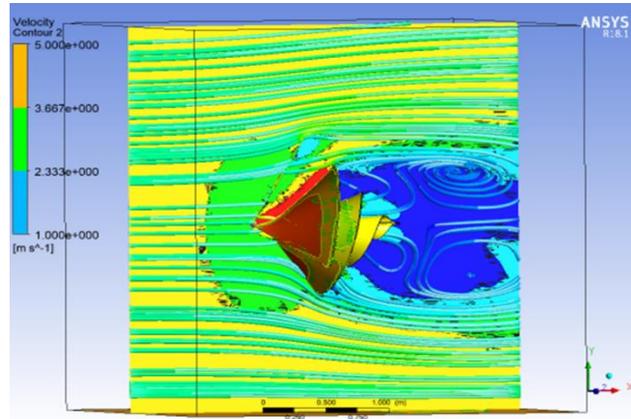


Figura 5.16. Análisis dinámico con velocidad de 3,89 m/s.

En la prueba de Relación con la altura y velocidad de la universidad técnica de Cotopaxi (UTC) se logra determinar que hay un movimiento constante en la Turbina espiral de Arquímedes determinado por un histograma se logra obtener que la velocidad con relación a la altura es de entre 25 a 30 metros de altura con una velocidad constante de 3.89 según la curva característica de Weibull.

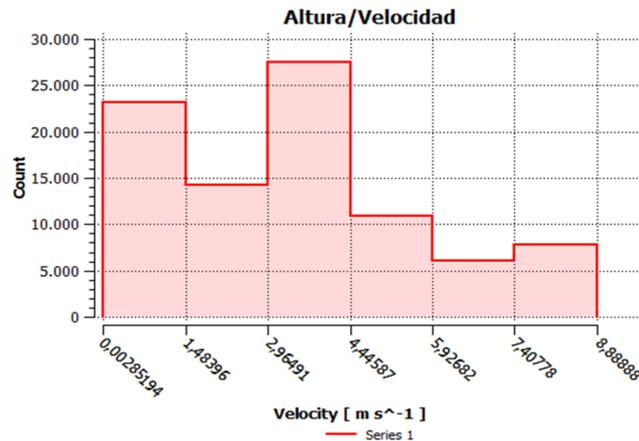


Figura 5.17. Histograma con velocidad del viento calculada.

Logrando determinar por simulación las diferentes velocidades las ondas de generación y cálculos realizados por el Software de ANSYS.

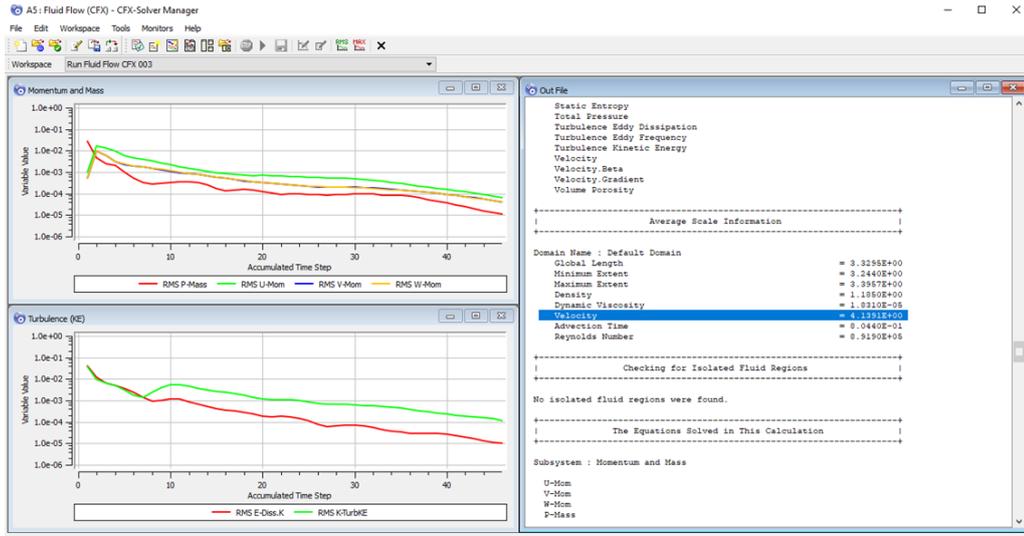


Figura 5.18. Ondas resultantes del cálculo CFX.

Se determina por cálculo que la velocidad a una altura de 25 a 30 metros como la que tiene la universidad su velocidad de viento es de 4.1 m/s validando el histograma con relación altura velocidad.

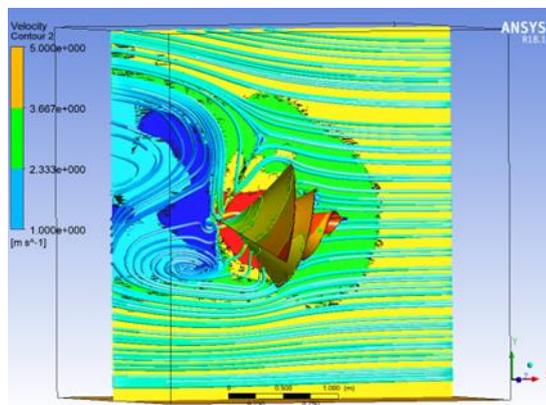


Figura 5.19. Análisis en CFX.

Al igual que en la comprobación de la simulación calcula que la velocidad que ingresa de manera eficiente y sin problemas al momento de trabajar el álabes es de 4.1 m/s el cual le permitirá trabajar mejor que en el rango de 3.89 que se sacó por cálculo según la curva Weibull.

5.7.3 Análisis de turbina espiral de Arquímedes en rango máximo

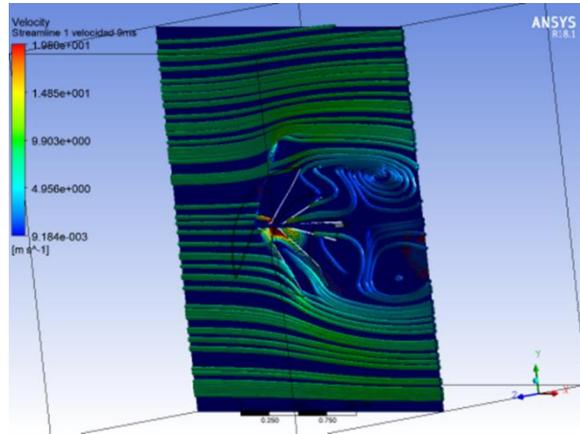


Figura 5.20. Análisis del álabe con velocidad máxima.

La dirección del viento entrando por el Sur-Este medido por valores medios nos da una velocidad máxima de 9.6 m/s (Punto máximo generado por estación meteorológica) el cual se presentará en un Histograma identificando la relación Altura a la cual se podrá determinar un valor promedio para lograr determinar cuál es el valor máximo según el software para que tenga un movimiento constante.

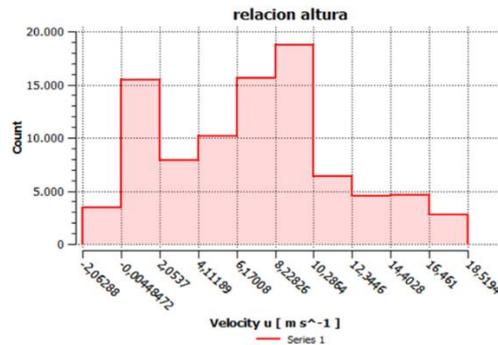


Figura 5.21. Histograma con velocidad máxima.

Se demuestra que con respecto a la altura el viento tiene una velocidad constante en un rango de 4.1 m/s hasta 10.2 m/s dentro de estos límites tenemos que la turbina no se detendrá, aunque

funcionará de una manera muy buena, aunque podría existir fallas y no tendrá un funcionamiento óptimo y tendrá algunos problemas dejando de ser tan eficiente.

5.7.4 Análisis con velocidad máximo dentro de 4.1 a 10m/s en el álabe de la turbina espiral de Arquímedes

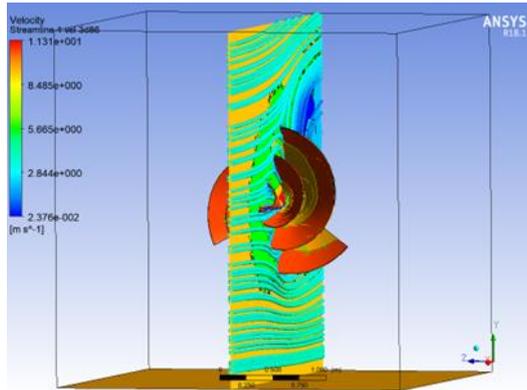


Figura 5.22. Análisis con velocidad máxima calculada.

En la prueba de Relación con la altura y velocidad de la universidad técnica de Cotopaxi (UTC) se logra determinar que hay un movimiento máximo en el cual la turbina sufre ya algunos problemas en relación a la altura en la Turbina espiral de Arquímedes determinado por un histograma se logra obtener que la velocidad con relación a la altura es de entre 20 metros de altura con una velocidad máxima de 9.6 m/s.

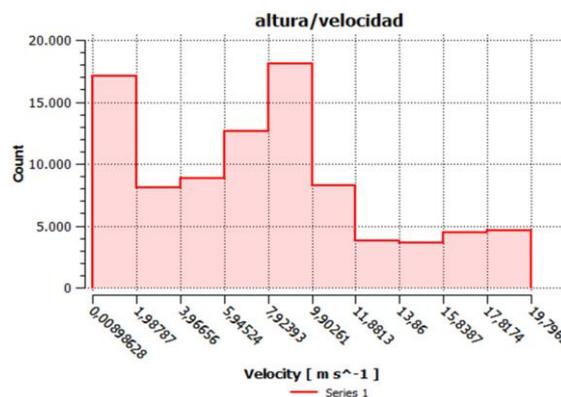


Figura 5.23. Histograma altura - velocidad calculada.

Logrando determinar por simulación a velocidad máxima se determina las ondas de generación y cálculos realizados por el Software de ANSYS.



Figura 5.24. Generación de ondas por cálculos en CFX.

Se determina por cálculo que la velocidad a una altura de 20 metros como la que tiene la universidad a una velocidad de viento máxima de 9.2 m/s validando el histograma con relación altura velocidad.

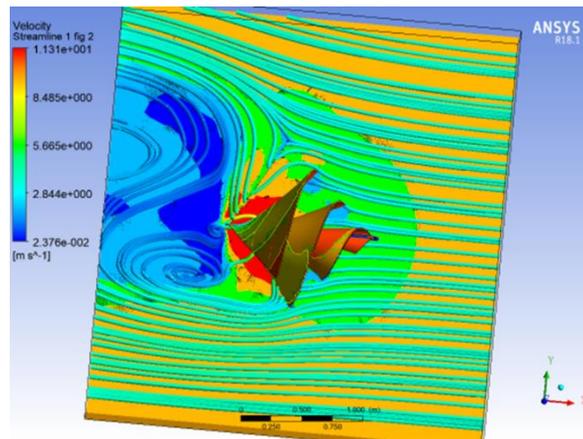


Figura 5.25. Análisis con la velocidad máxima.

Al igual que en la comprobación de la simulación calcula que la velocidad que ingresa de manera un poco problemática al momento de trabajar el álabe es de 9.2 m/s el cual le permitirá trabajar, pero presenta más desgaste en el alabe y lo que producirá una menor duración en la vida del mismo.

5.7.5 Análisis de la potencia generada por la turbina

Tabla 5.4. Resultados de la simulación de funcionamiento.

Potencia teórica de la turbina	Velocidad del viento (m/s)	0	1,5	3,89	9,6	15
	Potencia (W)	0,00	1,91	33,25	485,73	1068

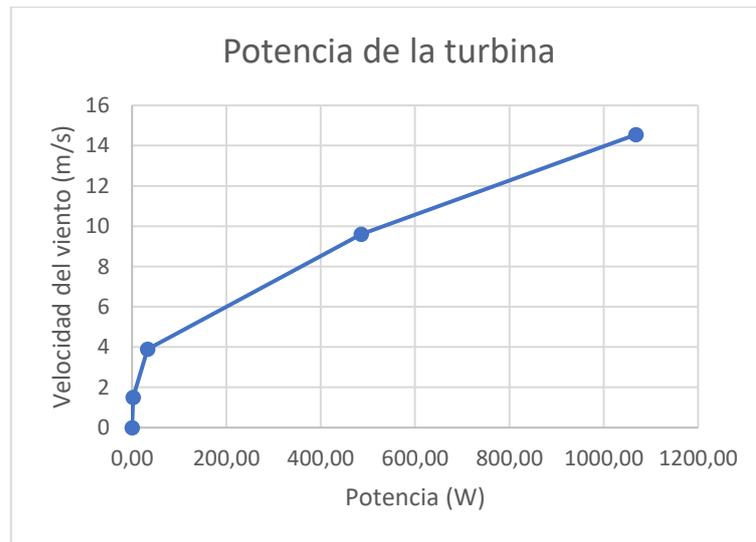


Figura 5.26. Resultados de la potencia en el eje.

La **Figura 5.26.** muestra la curva de potencia que genera la turbina espiral de Arquímedes, este dato se obtiene mediante la simulación en el software ANSYS con la velocidad media de 3,89 m/s y la velocidad máxima medida por la estación meteorológica que es de 9,6 m/s, la velocidad medida a dos metros sobre el suelo y la velocidad calculada para generar 1000 W.

5.8 PRESUPUESTO

Para realizar el cálculo del presupuesto del proyecto se ha tomado en cuenta costos directos e indirectos realizados durante las investigaciones del proyecto con relación a materiales.

5.8.1 Materiales tecnológicos

Debido a que el proyecto se basa en softwares de simulación y programación los costos serán netamente tecnológicos que son los que nos permiten realizar diferentes simulaciones, diseños de las partes necesarias para el funcionamiento y la generación de potencia mecánica.

Tabla 5.5. Presupuesto de materiales tecnológicos.

ELEMENTOS TECNOLÓGICOS				
Cantidad	Unidad	Elemento	Costo p/u (\$)	Costo total (\$)
1	1	Computador portátil Core i5	500,00	500,00
2	2	Licencias de Software	350,00	700,00
TOTAL				\$ 1200,00

5.8.2 Materiales Físicos

El proyecto también va a llevarse a cabo con algún prototipo del mismo realizado a escala 3D el cual nos permita de una manera más eficiente demostrar nuestra pieza del álabe de la turbina espiral de Arquímedes.

Tabla 5.6. Presupuestos materiales Físicos.

ELEMENTOS FÍSICOS				
Cantidad	Unidad	Elemento	Costo p/u (\$)	Costo total (\$)
3		Carpetas tesis escrita		10,00
1		Impresión de modelo en 3D		100,00
1		Capacitación de diseño y simulación		450,00
TOTAL				\$ 560,00

5.8.3 Costos totales del proyecto

Tabla 5.7. Costos directos e indirectos.

Costos directos	
Componentes del gasto	Costo total (\$)
Elementos tecnológicos	\$1200,00
Elementos físicos	\$560,00
Costos indirectos	
Transporte	25,00
Comida	25,00
Otros	20,00
TOTAL, COSTOS	
	\$1830,00

5.8.4 Costos de producción

Los costos de producción se desarrollaron de acuerdo a precios de los materiales y mano de obra que se manejan actualmente en el país, los mismos pueden variar debido a distintos factores externos al presente proyecto de investigación.

Tabla 5.8. Costos de materiales para el prototipo.

TABLA DE COSTOS DE LOS MATERIALES PARA PROTOTIPO		
MATERIALES	COSTO POR UNIDAD	COSTO TOTAL
Plancha de 4mm	190	380
Fibra de vidrio por 20kg	60	240
Chumaceras	15	30
Rodamientos para el eje de la turbina	10	20
Rodamiento axial para el eje de la torre	30	30
Tubo A35	300	300
Total		1000

Tabla 5.9. Costos de mano de obra.

TABLA DE COSTOS DE MANO DE OBRA		
MATERIALES	COSTO POR UNIDAD	COSTO TOTAL
Máquinas de Corte de plasma	90	180
Acabados de elementos por mano de obra	250	500
Total		680

Tabla 5.10. Costos de ingeniería.

TABLA DE COSTOS DE DISEÑO INGENIERIL		
MATERIALES	COSTO POR UNIDAD	COSTO TOTAL
Diseño	250	250
Planos	55	220
Total		470

Tabla 5.11. Costo total del prototipo.

TABLA DEL COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO	
TABLA DE COSTOS DE LOS MATERIALES PARA PROTOTIPO	1000
TABLA DE COSTOS DE MANO DE OBRA	680
TABLA DE COSTOS DE DISEÑO INGENIERIL	470
TOTAL	2150

5.9 ANÁLISIS DE IMPACTOS

5.9.1 Impacto Tecnológico

Los proyectos de simulación son de gran impacto tecnológico ya que brindan la oportunidad de conocer el uso en la herramientas 3D y su posterior diseño a escala, lo que permitirá a los estudiantes de nivel superior lograr determinar diferentes puntos de vista y gracias a eso se logrará la comprensión de los diferentes softwares que existen en el ámbito industrial y que son el auge de los procesos industriales, además despiertan inquietudes nuevas en los estudiantes que las lleva a la investigación de nuevas formas de simular procesos y adaptarlos para que sean sujetos de estudios y análisis por parte de los estudiantes; La creación de espacios virtuales facilitan la comprensión de ciertos temas sin el acceso a laboratorios físicos, de esta manera se logra un mejor entendimiento del uso de diferentes herramientas que son indispensables para

los nuevos profesionales de hoy en día, ya que ayudan a potenciar de igual manera su conocimiento en el mundo virtual para avanzar hacia un futuro más alentador y saludable.

5.9.2 Impacto Económico

El impacto más relevante sobre el tema de investigación planteada es el análisis financiero en el cual sólo utilizando software de diseño 3D se pretende demostrar pruebas de la sostenibilidad del proyecto para que su inversión sea más directa con relación a los productos con los cuales se puede obtener un mejor resultado al momento de construir ya que si bien no existen leyes ni manuales de construcción precisas para turbinas de pequeña escala Se deben considerar los aspectos de base, así como también algunos supuestos indicados en los diferentes objetivos estratégicos.

5.9.3 Impacto práctico

La implementación durante la simulación en un ámbito virtual que permitirá fortalecer los conocimientos teóricos impartidos durante el proceso de formación académica, ya que permite la realización de prácticas en un ambiente virtual que no solo permite la visualización de las variables a controlar sino también hace accesible al estudiante herramientas tecnológicas que no van a ser susceptibles a accidentes (si se las usa de manera correcta), en el cual se logre experimentar de manera más completa el uso de la Herramienta de simulación a diferentes turbulencias a las que sean aplicadas.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se logró concluir que efectivamente al aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación en varios campos de la ingeniería electromecánica se puede modelar y simular el funcionamiento de una turbina eólica espiral de Arquímedes.
- Se identificó las turbinas que existen y que adoptan el modelo de espiral de Arquímedes, se optó por la más actual para utilizarla como guía de diseño conceptual de la turbina, a la cual se ha sometido a distintos parámetros de funcionamiento que existen en la zona urbana del cantón Latacunga. Con el uso de la estación meteorológica fue posible calcular la velocidad media de 3,89 m/s y la velocidad máxima medida de 9,6 m/s. también con los datos proporcionados se obtuvo la dirección del viento que en esta zona se presenta en mayor cantidad por el sur este.

- Tras el análisis del potencial eólico, se deduce que no se logró generar 1kW de energía mecánica debido a que en el lugar de recopilación de datos la velocidad del viento no es suficiente para alcanzar dicha potencia, otra opción fue aumentar el diámetro del rotor, pero esto no es viable debido a que el proyecto está enfocado para la zona urbana.
- Mediante los cálculos de generación de potencia se especificó el tamaño y el ángulo que permite aprovechar al máximo la energía cinética del viento, el diámetro del rotor es de 1,5 m, el largo de 1,18 m y el ángulo de ataque es de 45°. Estas medidas permiten generar una potencia de 33,25 W funcionando con la velocidad media de 3,89 m/s y 476,35 W funcionando con velocidad máxima de 9,6 m/s.
- La turbina se ha simulado bajo condiciones críticas de operación utilizando el valor de la velocidad del viento más alto medido por la estación meteorológica que es de 9,6 m/s, esto quiere decir que al operar en condiciones normales la turbina presentara un comportamiento favorable para el fin que se ha diseñado.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que los datos de medición de la estación meteorológica de la Universidad Técnica de Cotopaxi sean públicos para que los estudiantes puedan utilizar los mismos en futuros proyectos que se requiera los datos de la velocidad del viento.
- Considerando la geografía de Latacunga se recomienda realizar estudios en sitios donde exista poca rugosidad en el terreno como en las periferias de las autopistas y los puentes donde existe gran cantidad de flujo de aire en régimen laminar y turbulento.
- Se recomienda construir y realizar las pruebas de campo del prototipo con el fin de verificar y comparar los resultados obtenidos mediante las simulaciones y los cálculos teóricos de potencia mecánica.
- Se recomienda que, en estudios posteriores se realice la selección de la caja multiplicadora y del generador de energía eléctrica con los resultados de potencia mecánica que se dan a conocer en el presente proyecto de investigación.
- Identificar el margen de error entre los datos medidos y los datos obtenidos mediante el software, en el caso que exista un margen de error alto realizar los ajustes necesarios para futuros prototipos y a su vez para la futura implementación de la turbina.

7. REFERENCIAS

- [1] CELEC EP - GENSUR, «CELEC EP - GENSUR,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.celec.gob.ec/gensur/index.php/84-central-eolica-villonaco-la-de-mayor-produccion-por-turbina-en-el-mundo>. [Último acceso: 12 11 2021].
- [2] Asociación danesa de la industria eólica, «Danish Wind Industry Association,» Asociación danesa de la industria eólica, 06 05 2003. [En línea]. Available: <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/weibull/index.htm>. [Último acceso: 02 02 2022].
- [3] ACCIONA, «ACCIONA BUSINESS AS UNUSUAL,» 2020. [En línea]. Available: https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/?_adin=02021864894. [Último acceso: 12 11 2021].
- [4] H. G. Armijos Ollague, «Etudio y evaluacion de parametros de proyecto eolico,» Ups Cuenca, Cuenca, 2014.
- [5] J. Morales y A. Rapallini, ENERGIA EOLICA, Argentina: INSTITUTO ARGENTINO DE LA ENERGIA "GENERAL MOSCONI", 2003.
- [6] M. Navarra, «Dirección del viento y sus ángulos,» Euskara, México, 2019.
- [7] L. V. Cueva Barraqueta, «Diseño y construccion de un generador eólico de eje vertical tipo savonius para producir 20 watts,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2015.
- [8] Fundación Wikimedia, Inc., «WIKIPEDIA La enciclopedia libre,» 21 07 2013. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Calle_de_v%C3%B3rtices_de_Von_K%C3%A1rm%C3%A1n. [Último acceso: 10 01 2022].
- [9] R. Salgado Torres y S. Dávila Rodríguez, Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental, Quito: Advantlogic Ecuador S.A, 2013.

- [10 J. R. Tolosa, L. A. Olarte Caro y L. Gardamagna Sanhueza, «AEROGENERACION DE ENERGIA,» de *I Curso-Seminario Latinoamericano sobre Aerogeneración de Energía*, Itaipava, 1981.
- [11 W. F. Álvarez Castañeda, L. A. Martínez Tejada y A. C. Albarado Fajardo, «APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN DE WEIBULL PARA DETERMINAR POTENCIAL EÓLICO EN TUNJA-COLOMBIA,» de *XX SIMPOSIO PERUANO DE ENERGIA SOLAR, 11 - 15 noviembre 2013, Tacna –Perú*, Tacna, 2013.
- [12 M. Franquesa Voneschen, *Introducción a la teoría de las turbinas eólicas*, Castelldefels, 2009.
- [13 O. I. Verdugo Orduz, «Diseño de una turbina de baja potencia,» Upn, Quito, 2019.
- [14 J. A. Roncon Murillo, «Fabricacion de pequeñas turbinas,» Universidad de Catalunia, España, 2017.
- [15 B. Jerew, «The Green Optimist,» *Energia Eólica*, 23 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.greenoptimistic.com/liam-f1-urban-wind-turbine>. [Último acceso: 17 Febrero 2018].
- [16 D. Chemical, «Arquímedes un interesante invento que puede dar energia a Latinoamérica,» *IDEAS PERFECTAS*, 2018.
- [17 R. Bastianon, «Energia del viento y diseño de turbinas,» *Tiempo de cultura ediciones*, Buenos Aires , 1995.
- [18 B. Stanislav Kelg, «Energy Engineering Process and Systems,» *Wind Turbines*, Reino Unido, 2014.
- [19 Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Norma Técnica Ecuatoriana,» IEC 2006, Quito, 2014.
- [20 Asociación Española de Normalización y Certificación, «Maquinas Electricas rotativas, Caracteristicas para la construccion y el funcionamiento,» *AENOR*, Madrid, 2007.

- [21 E. R. Mucha Meza, Artist, *Diseño del álabo para incrementar la potencia eléctrica del aerogenerador tipo espiral*. [Art]. Universidad Nacional del Centro del Perú, 2021.
- [22 J. HoSeong, «Aerodynamic characteristics of an archimedes spiral wind turbine blade according to the angle of attac wind turbine blade according to the angle of attack change k change,» de *EWEA 2014 Annual Event*, Barcelona, 2014.
- [23 M. Pérez, «ConceptoDefinición,» 22 07 2021. [En línea]. Available:] <https://conceptodefinicion.de/metodo/>. [Último acceso: 01 02 2022].
- [24 F. G. Arias, *El proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica*,] Caracas: EPISTEME, C.A., 2012.
- [25 R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y M. d. P. Baptista Lucio, *Metodología de] la Investigación*, México D.F.: MCGRAW-HILL, 2014.
- [26 M. D. Alarcón Cárdenas, «SlidePlayer,» 2015. [En línea]. Available:] <https://slideplayer.es/slide/4323637/>. [Último acceso: 02 01 2022].
- [27 Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán,] «Valoración del viento como fuente de energía eólica en el estado de Guerrero,» *Ingeniería*, vol. 22, n° 3, 2018, ISSN: 2448-8364, 2018.
- [28 J. Hoseong, A. Seokyoung y P. Sanshu, Artists, *Spiral Blade Wind-turbine (Liam-F1) Fiel] Test Report*. [Art]. Incheon University, 2015.
- [29 A. Muñoz Vasquez, *AERODINAMICA BASICA*, Mexico D.F.: SECRETARIA DE] COMUNICACIONES Y TRANSPORTE .
- [30 C. Álvarez, *Energía eólica*, Madrid: Instituto para la Diversificación de la Energía, 2006.]
- [31 J. Nahui Ortiz, Artist, *ENERGÍA EÓLICA - FUNDAMENTOS*. [Art]. L A R C, 2003.]
- [32 J. M. Escudero Lopez, *Manual de energía eólica*, México D.F.: MUNDI - PRENSA] LIBROS, S.A., 2011.

- [33 L. Chang, Artist, *Advanced Topics in Enviromental Engineering - Wind Power*. [Art].
] 2005.
- [34 M. López, D. Barrero y S. Garzon, «Sistema de Control para Aerogeneradores Empleando
] Lógica Difusa,» *Difu100ci@ Revista en Ingeniería y Tecnología, UAZ*, vol. 8, 2015.
- [35 Unknown, «Ingenieria de los materiales,» 20 20 2015. [En línea]. Available:
] <http://ingenieriadelosmaterialess.blogspot.com/2015/11/acero-1045-ficha-tecnica.html>.
[Último acceso: 10 01 2022].
- [36 NTNcorporation, «Chumaceras,» [En línea]. Available:
] <https://grupodoyma.com/catalogos-web/NTN-CHUMACERAS.pdf>. [Último acceso: 10
01 2022].
- [37 SKF, «SKF,» Grupo SKF 2019, 2019. [En línea]. Available:
] [https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---
17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf](https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf). [Último acceso: 10 01 2022].
- [38 R. L. Mott, *Diseño de elementos de máquinas*, Chigugua: Pearson Prentice Hall, 2006.
]

8. ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de variables.

Variable de entrada	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Velocidad del viento	Es la distancia que recorre una partícula de aire en función del tiempo	Velocidad con la que se mueve el fluido sobre los álabes de la turbina para generar el movimiento rotacional de la misma.	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad 	<ul style="list-style-type: none"> • m/s
Altura	Es la distancia que existe entre un objeto que se eleva sobre la superficie de la tierra	La distancia sobre la superficie del suelo influye en el comportamiento del viento.	<ul style="list-style-type: none"> • Altura 	<ul style="list-style-type: none"> • Altura 	<ul style="list-style-type: none"> • m
Variable de salida	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Potencia mecánica	Es la potencia generada por la turbina al reaccionar a la velocidad media que existe a cierta altura en la zona urbana.	<p>Es la cantidad de potencia mecánica que se obtiene al transformar la energía cinética del viento.</p> <p>La cantidad de potencia que se obtendrá será igual o mayor a la potencia que generan las turbinas eólicas convencionales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia 	<ul style="list-style-type: none"> • watts

Anexo 2. Ventajas y desventajas de las turbinas según la orientación de su eje.

Turbinas según la orientación de su eje	Ventajas	Desventajas
Eje vertical	<ul style="list-style-type: none"> • La sujeción de las palas es de fácil diseño y ejecución. • No precisan sistema de orientación para captar la energía del viento. • Fácil ubicación del tren de potencia, generador y transformador, a nivel del suelo. • Debido a su simetría vertical no es necesario un sistema de orientación para alinear el eje de la turbina con la dirección del viento. 	<ul style="list-style-type: none"> • El rendimiento de los generadores de eje vertical está por debajo de la mitad que corresponde a los generadores de eje horizontal • Necesita de utilizar tensores para garantizar su estabilidad • Producen grandes fluctuaciones de torque en la torre, lo que las hace poco fiables • Escasa velocidad de giro por ende bajas revoluciones • En ciertas turbinas es necesario emplear un sistema de arranque secundario debido a que no pueden arrancar por sí mismas • Este tipo de turbinas son menos utilizadas en la práctica, básicamente se usa más para investigación.
Eje horizontal	<ul style="list-style-type: none"> • Se pueden generar grandes potencias de energía mecánica, según su altura. • Posee una alta eficiencia en comparación con las turbinas de eje vertical • Se adaptan muy bien a bajas velocidades de viento • Son máquinas ligeras por lo que se pueden construir de mayor tamaño • Posee un par de arranque menor a las turbinas de eje vertical • La energía eléctrica que generan puede ser conectada o aislada a la red. • Mayor coeficiente de potencia CP en comparación a las de eje vertical • Debido a la forma del rotor permite barrer mayores superficies y por ende alcanza potencias mucho más grandes • Por la velocidad de giro son adecuadas para el accionamiento de generadores eléctricos que giran a velocidades de 1000 y 1500 rpm 	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil mantenimiento debido a la altura que se instalan • Necesitan un sistema de orientación para aprovechar al máximo la energía eólica • En turbinas de grandes dimensiones es muy difícil en transporte de las mismas

Anexo 3. Proceso de cálculos para determinar los parámetros c y k.

Ni	xi	LN(xi)	F(xi)	yi	LN(xi)^2	(yi)^2	LN(xi)*yi
1	2	0,693147181	0,001754386	-6,344758526	0,480453014	40,25596075	-4,397851484
2	2	0,693147181	0,005263158	-5,244386704	0,480453014	27,5035919	-3,635131858
3	2	0,693147181	0,00877193	-4,731796368	0,480453014	22,38989687	-3,279831311
4	2	0,693147181	0,012280702	-4,393554207	0,480453014	19,30331857	-3,045379712
5	2	0,693147181	0,015789474	-4,14046461	0,480453014	17,14344719	-2,869951371
6	2	0,693147181	0,019298246	-3,938013467	0,480453014	15,50795006	-2,729622931
7	2	0,693147181	0,022807018	-3,769173621	0,480453014	14,20666979	-2,612592068
8	2	0,693147181	0,026315789	-3,624281669	0,480453014	13,13541762	-2,512160621
9	2	0,693147181	0,029824561	-3,497322036	0,480453014	12,23126142	-2,424158909
10	2	0,693147181	0,033333333	-3,384294493	0,480453014	11,45344922	-2,345814186
11	2	0,693147181	0,036842105	-3,282403675	0,480453014	10,77417389	-2,275188853
12	2	0,693147181	0,040350877	-3,189619049	0,480453014	10,17366968	-2,210875451
13	2,1	0,741937345	0,043859649	-3,104419067	0,550471024	9,637417744	-2,30328444
14	2,1	0,741937345	0,047368421	-3,025634092	0,550471024	9,15446166	-2,244830924
15	2,1	0,741937345	0,050877193	-2,952345597	0,550471024	8,716344522	-2,190455453
16	2,1	0,741937345	0,054385965	-2,883819055	0,550471024	8,316412344	-2,139613053
17	2,1	0,741937345	0,057894737	-2,819457859	0,550471024	7,949342616	-2,091861077
18	2,1	0,741937345	0,061403509	-2,758770808	0,550471024	7,610816371	-2,046835088
19	2,1	0,741937345	0,064912281	-2,701348657	0,550471024	7,297284565	-2,00423145
20	2,1	0,741937345	0,068421053	-2,646846835	0,550471024	7,005798168	-1,963794513
21	2,1	0,741937345	0,071929825	-2,594972499	0,550471024	6,733882268	-1,925307005
22	2,1	0,741937345	0,075438596	-2,545474667	0,550471024	6,479441278	-1,888582715
23	2,1	0,741937345	0,078947368	-2,498136602	0,550471024	6,240686483	-1,853460837
24	2,1	0,741937345	0,08245614	-2,452769852	0,550471024	6,016079946	-1,819801551
25	2,2	0,78845736	0,085964912	-2,409209528	0,621665009	5,804290552	-1,899558985
26	2,2	0,78845736	0,089473684	-2,367310537	0,621665009	5,604159176	-1,866523417
27	2,2	0,78845736	0,092982456	-2,326944526	0,621665009	5,414670829	-1,834696539
28	2,2	0,78845736	0,096491228	-2,287997411	0,621665009	5,234932152	-1,803988399
29	2,2	0,78845736	0,1	-2,250367327	0,621665009	5,064153108	-1,774318683
30	2,2	0,78845736	0,103508772	-2,21396295	0,621665009	4,901631944	-1,745615383
31	2,2	0,78845736	0,107017544	-2,178702084	0,621665009	4,746742772	-1,717813694
32	2,2	0,78845736	0,110526316	-2,144510488	0,621665009	4,598925235	-1,690855079
33	2,2	0,78845736	0,114035088	-2,111320878	0,621665009	4,457675851	-1,664686487
34	2,2	0,78845736	0,11754386	-2,079072084	0,621665009	4,322540731	-1,639259687
35	2,2	0,78845736	0,121052632	-2,04770833	0,621665009	4,193109407	-1,614530705
36	2,2	0,78845736	0,124561404	-2,01717862	0,621665009	4,069009584	-1,59045933
37	2,3	0,832909123	0,128070175	-1,987436201	0,693737607	3,949902652	-1,655353743
38	2,3	0,832909123	0,131578947	-1,958438109	0,693737607	3,835479829	-1,631200968
39	2,3	0,832909123	0,135087719	-1,930144771	0,693737607	3,725458836	-1,607635188

40	2,3	0,832909123	0,138596491	-1,90251965	0,693737607	3,619581019	-1,584625973
41	2,3	0,832909123	0,142105263	-1,875528949	0,693737607	3,517608838	-1,562145172
42	2,3	0,832909123	0,145614035	-1,849141339	0,693737607	3,419323691	-1,540166691
43	2,3	0,832909123	0,149122807	-1,823327725	0,693737607	3,324523993	-1,518666296
44	2,3	0,832909123	0,152631579	-1,798061039	0,693737607	3,233023501	-1,497621443
45	2,3	0,832909123	0,156140351	-1,773316055	0,693737607	3,144649831	-1,477011112
46	2,3	0,832909123	0,159649123	-1,749069224	0,693737607	3,059243149	-1,456815713
47	2,4	0,875468737	0,163157895	-1,725298529	0,76644551	2,976655013	-1,510444924
48	2,4	0,875468737	0,166666667	-1,701983355	0,76644551	2,896747342	-1,490033219
49	2,4	0,875468737	0,170175439	-1,679104373	0,76644551	2,819391496	-1,470003386
50	2,4	0,875468737	0,173684211	-1,656643432	0,76644551	2,744467461	-1,450339534
51	2,4	0,875468737	0,177192982	-1,634583467	0,76644551	2,671863109	-1,431026724
52	2,5	0,916290732	0,180701754	-1,612908412	0,839588705	2,601473545	-1,477893029
53	2,5	0,916290732	0,184210526	-1,591603126	0,839588705	2,53320051	-1,458371193
54	2,5	0,916290732	0,187719298	-1,57065332	0,839588705	2,466951851	-1,43917508
55	2,5	0,916290732	0,19122807	-1,550045495	0,839588705	2,402641036	-1,420292321
56	2,5	0,916290732	0,194736842	-1,529766886	0,839588705	2,340186724	-1,401711219
57	2,5	0,916290732	0,198245614	-1,509805406	0,839588705	2,279512363	-1,3834207
58	2,5	0,916290732	0,201754386	-1,490149602	0,839588705	2,220545836	-1,365410269
59	2,6	0,955511445	0,205263158	-1,470788609	0,913002122	2,163219133	-1,405355349
60	2,6	0,955511445	0,20877193	-1,451712111	0,913002122	2,107468053	-1,387127537
61	2,6	0,955511445	0,212280702	-1,432910304	0,913002122	2,053231938	-1,369162195
62	2,6	0,955511445	0,215789474	-1,414373861	0,913002122	2,000453419	-1,351450412
63	2,6	0,955511445	0,219298246	-1,396093906	0,913002122	1,949078193	-1,333983705
64	2,6	0,955511445	0,222807018	-1,378061977	0,913002122	1,899054813	-1,316753991
65	2,6	0,955511445	0,226315789	-1,36027001	0,913002122	1,8503345	-1,299753563
66	2,6	0,955511445	0,229824561	-1,342710305	0,913002122	1,802870964	-1,282975064
67	2,6	0,955511445	0,233333333	-1,325375512	0,913002122	1,756620247	-1,26641147
68	2,7	0,993251773	0,236842105	-1,308258602	0,986549085	1,711540571	-1,299430176
69	2,7	0,993251773	0,240350877	-1,291352857	0,986549085	1,667592202	-1,282638515
70	2,7	0,993251773	0,243859649	-1,274651844	0,986549085	1,624737323	-1,266050204
71	2,7	0,993251773	0,247368421	-1,258149403	0,986549085	1,582939919	-1,249659125
72	2,7	0,993251773	0,250877193	-1,241839629	0,986549085	1,542165665	-1,233459414
73	2,7	0,993251773	0,254385965	-1,225716863	0,986549085	1,502381827	-1,217445447
74	2,7	0,993251773	0,257894737	-1,209775669	0,986549085	1,46355717	-1,201611828
75	2,7	0,993251773	0,261403509	-1,194010833	0,986549085	1,425661869	-1,185953377
76	2,7	0,993251773	0,264912281	-1,178417342	0,986549085	1,388667431	-1,170465114
77	2,7	0,993251773	0,268421053	-1,162990378	0,986549085	1,352546619	-1,155142255
78	2,7	0,993251773	0,271929825	-1,147725307	0,986549085	1,31727338	-1,139980196
79	2,7	0,993251773	0,275438596	-1,13261767	0,986549085	1,282822785	-1,124974508
80	2,7	0,993251773	0,278947368	-1,117663171	0,986549085	1,249170963	-1,110120926
81	2,7	0,993251773	0,28245614	-1,102857673	0,986549085	1,216295047	-1,095415339
82	2,8	1,029619417	0,285964912	-1,088197188	1,060116144	1,184173121	-1,120428955

83	2,8	1,029619417	0,289473684	-1,07367787	1,060116144	1,152784169	-1,105479583
84	2,8	1,029619417	0,292982456	-1,059296006	1,060116144	1,122108029	-1,090671737
85	2,8	1,029619417	0,296491228	-1,045048014	1,060116144	1,092125352	-1,076001727
86	2,8	1,029619417	0,3	-1,030930433	1,060116144	1,062817558	-1,061465992
87	2,8	1,029619417	0,303508772	-1,016939918	1,060116144	1,034166798	-1,047061086
88	2,9	1,064710737	0,307017544	-1,003073237	1,133608953	1,006155919	-1,067982846
89	2,9	1,064710737	0,310526316	-0,989327262	1,133608953	0,978768431	-1,053347358
90	2,9	1,064710737	0,314035088	-0,975698967	1,133608953	0,951988473	-1,038837166
91	2,9	1,064710737	0,31754386	-0,962185422	1,133608953	0,925800786	-1,02444915
92	2,9	1,064710737	0,321052632	-0,94878379	1,133608953	0,900190681	-1,010180289
93	3	1,098612289	0,324561404	-0,935491323	1,206948961	0,875144015	-1,027742263
94	3	1,098612289	0,328070175	-0,922305354	1,206948961	0,850647167	-1,013255996
95	3	1,098612289	0,331578947	-0,909223301	1,206948961	0,826687011	-0,998883891
96	3	1,098612289	0,335087719	-0,896242655	1,206948961	0,803250897	-0,984623194
97	3	1,098612289	0,338596491	-0,883360983	1,206948961	0,780326627	-0,970471232
98	3,1	1,131402111	0,342105263	-0,870575923	1,280070738	0,757902438	-0,984971438
99	3,1	1,131402111	0,345614035	-0,857885179	1,280070738	0,735966981	-0,970613103
100	3,1	1,131402111	0,349122807	-0,845286522	1,280070738	0,714509304	-0,956358956
101	3,1	1,131402111	0,352631579	-0,832777783	1,280070738	0,693518836	-0,942206542
102	3,1	1,131402111	0,356140351	-0,820356854	1,280070738	0,672985368	-0,928153477
103	3,1	1,131402111	0,359649123	-0,808021684	1,280070738	0,652899041	-0,914197439
104	3,1	1,131402111	0,363157895	-0,795770276	1,280070738	0,633250333	-0,900336171
105	3,1	1,131402111	0,366666667	-0,783600688	1,280070738	0,614030038	-0,886567473
106	3,1	1,131402111	0,370175439	-0,771511025	1,280070738	0,595229262	-0,872889203
107	3,1	1,131402111	0,373684211	-0,759499444	1,280070738	0,576839405	-0,859299274
108	3,1	1,131402111	0,377192982	-0,747564146	1,280070738	0,558852152	-0,845795653
109	3,2	1,16315081	0,380701754	-0,735703378	1,352919806	0,541259461	-0,85573398
110	3,2	1,16315081	0,384210526	-0,723915431	1,352919806	0,524053551	-0,84202282
111	3,3	1,193922468	0,387719298	-0,712198635	1,425450861	0,507226896	-0,850309953
112	3,3	1,193922468	0,39122807	-0,700551362	1,425450861	0,490772211	-0,836404012
113	3,3	1,193922468	0,394736842	-0,688972021	1,425450861	0,474682446	-0,822579176
114	3,3	1,193922468	0,398245614	-0,677459058	1,425450861	0,458950775	-0,808833591
115	3,3	1,193922468	0,401754386	-0,666010954	1,425450861	0,443570591	-0,795165442
116	3,4	1,223775432	0,405263158	-0,654626225	1,497626307	0,428535494	-0,801115491
117	3,4	1,223775432	0,40877193	-0,643303418	1,497626307	0,413839288	-0,787258918
118	3,4	1,223775432	0,412280702	-0,632041114	1,497626307	0,39947597	-0,773476387
119	3,4	1,223775432	0,415789474	-0,620837922	1,497626307	0,385439726	-0,759766196
120	3,5	1,252762968	0,419298246	-0,609692481	1,569415055	0,371724921	-0,763800162
121	3,5	1,252762968	0,422807018	-0,598603458	1,569415055	0,3583261	-0,749908245
122	3,5	1,252762968	0,426315789	-0,587569547	1,569415055	0,345237972	-0,736085369
123	3,5	1,252762968	0,429824561	-0,576589467	1,569415055	0,332455413	-0,722329932
124	3,5	1,252762968	0,433333333	-0,565661963	1,569415055	0,319973457	-0,708640361
125	3,5	1,252762968	0,436842105	-0,554785805	1,569415055	0,30778729	-0,695015112

126	3,5	1,252762968	0,440350877	-0,543959784	1,569415055	0,295892246	-0,681452673
127	3,5	1,252762968	0,443859649	-0,533182713	1,569415055	0,284283806	-0,667951558
128	3,5	1,252762968	0,447368421	-0,522453429	1,569415055	0,272957585	-0,654510308
129	3,5	1,252762968	0,450877193	-0,511770786	1,569415055	0,261909338	-0,64112749
130	3,5	1,252762968	0,454385965	-0,501133662	1,569415055	0,251134947	-0,627801694
131	3,6	1,280933845	0,457894737	-0,490540949	1,640791516	0,240630423	-0,628350505
132	3,6	1,280933845	0,461403509	-0,479991562	1,640791516	0,230391899	-0,614837437
133	3,6	1,280933845	0,464912281	-0,469484429	1,640791516	0,220415629	-0,601378495
134	3,6	1,280933845	0,468421053	-0,459018499	1,640791516	0,210697982	-0,587972331
135	3,6	1,280933845	0,471929825	-0,448592733	1,640791516	0,20123544	-0,574617615
136	3,7	1,30833282	0,475438596	-0,438206112	1,711734767	0,192024596	-0,573319438
137	3,7	1,30833282	0,478947368	-0,427857627	1,711734767	0,183062149	-0,559780175
138	3,7	1,30833282	0,48245614	-0,417546286	1,711734767	0,174344901	-0,546289509
139	3,7	1,30833282	0,485964912	-0,40727111	1,711734767	0,165869757	-0,53284616
140	3,7	1,30833282	0,489473684	-0,397031134	1,711734767	0,157633721	-0,519448863
141	3,7	1,30833282	0,492982456	-0,386825403	1,711734767	0,149633892	-0,50609637
142	3,7	1,30833282	0,496491228	-0,376652975	1,711734767	0,141867464	-0,492787449
143	3,7	1,30833282	0,5	-0,366512921	1,711734767	0,134331721	-0,479520883
144	3,7	1,30833282	0,503508772	-0,356404319	1,711734767	0,127024039	-0,466295467
145	3,8	1,335001067	0,507017544	-0,34632626	1,782227848	0,119941879	-0,462345927
146	3,8	1,335001067	0,510526316	-0,336277845	1,782227848	0,113082789	-0,448931282
147	3,8	1,335001067	0,514035088	-0,326258182	1,782227848	0,106444401	-0,435555021
148	3,8	1,335001067	0,51754386	-0,316266388	1,782227848	0,100024428	-0,422215966
149	3,8	1,335001067	0,521052632	-0,306301591	1,782227848	0,093820664	-0,40891295
150	3,8	1,335001067	0,524561404	-0,296362922	1,782227848	0,087830982	-0,395644817
151	3,8	1,335001067	0,528070175	-0,286449524	1,782227848	0,08205333	-0,38241042
152	3,8	1,335001067	0,531578947	-0,276560543	1,782227848	0,076485734	-0,36920862
153	3,8	1,335001067	0,535087719	-0,266695134	1,782227848	0,071126294	-0,356038288
154	3,8	1,335001067	0,538596491	-0,256852455	1,782227848	0,065973184	-0,342898302
155	3,8	1,335001067	0,542105263	-0,247031672	1,782227848	0,061024647	-0,329787546
156	3,8	1,335001067	0,545614035	-0,237231955	1,782227848	0,056279	-0,316704912
157	3,9	1,360976553	0,549122807	-0,227452476	1,852257178	0,051734629	-0,309557487
158	3,9	1,360976553	0,552631579	-0,217692416	1,852257178	0,047389988	-0,296274274
159	3,9	1,360976553	0,556140351	-0,207950955	1,852257178	0,0432436	-0,283016374
160	3,9	1,360976553	0,559649123	-0,198227279	1,852257178	0,039294054	-0,269782679
161	3,9	1,360976553	0,563157895	-0,188520574	1,852257178	0,035540007	-0,256572081
162	3,9	1,360976553	0,566666667	-0,17883003	1,852257178	0,03198018	-0,243383478
163	3,9	1,360976553	0,570175439	-0,169154839	1,852257178	0,02861336	-0,23021577
164	3,9	1,360976553	0,573684211	-0,159494194	1,852257178	0,025438398	-0,217067858
165	3,9	1,360976553	0,577192982	-0,149847287	1,852257178	0,02245421	-0,203938645
166	3,9	1,360976553	0,580701754	-0,140213314	1,852257178	0,019659773	-0,190827033
167	3,9	1,360976553	0,584210526	-0,130591467	1,852257178	0,017054131	-0,177731925
168	4	1,386294361	0,587719298	-0,120980941	1,921812056	0,014636388	-0,167715196

169	4	1,386294361	0,59122807	-0,111380927	1,921812056	0,012405711	-0,154406751
170	4	1,386294361	0,594736842	-0,101790617	1,921812056	0,01036133	-0,141111759
171	4	1,386294361	0,598245614	-0,0922092	1,921812056	0,008502537	-0,127829094
172	4	1,386294361	0,601754386	-0,082635862	1,921812056	0,006828686	-0,114557629
173	4	1,386294361	0,605263158	-0,073069787	1,921812056	0,005339194	-0,101296233
174	4,1	1,410986974	0,60877193	-0,063510155	1,99088424	0,00403354	-0,089612001
175	4,1	1,410986974	0,612280702	-0,053956143	1,99088424	0,002911265	-0,076131414
176	4,1	1,410986974	0,615789474	-0,044406922	1,99088424	0,001971975	-0,062657589
177	4,1	1,410986974	0,619298246	-0,03486166	1,99088424	0,001215335	-0,049189348
178	4,1	1,410986974	0,622807018	-0,025319518	1,99088424	0,000641078	-0,03572551
179	4,2	1,435084525	0,626315789	-0,015779651	2,059467595	0,000248997	-0,022645133
180	4,2	1,435084525	0,629824561	-0,006241209	2,059467595	3,89527E-05	-0,008956662
181	4,2	1,435084525	0,633333333	0,003296669	2,059467595	1,0868E-05	0,004730998
182	4,2	1,435084525	0,636842105	0,012834847	2,059467595	0,000164733	0,018419091
183	4,2	1,435084525	0,640350877	0,022374202	2,059467595	0,000500605	0,032108871
184	4,2	1,435084525	0,643859649	0,031915617	2,059467595	0,001018607	0,045801608
185	4,2	1,435084525	0,647368421	0,041459986	2,059467595	0,00171893	0,059498584
186	4,2	1,435084525	0,650877193	0,051008213	2,059467595	0,002601838	0,073201097
187	4,2	1,435084525	0,654385965	0,060561215	2,059467595	0,003667661	0,086910462
188	4,2	1,435084525	0,657894737	0,070119918	2,059467595	0,004916803	0,10062801
189	4,2	1,435084525	0,661403509	0,079685264	2,059467595	0,006349741	0,114355089
190	4,2	1,435084525	0,664912281	0,089258206	2,059467595	0,007967027	0,12809307
191	4,3	1,458615023	0,668421053	0,098839713	2,127557784	0,009769289	0,14416909
192	4,3	1,458615023	0,671929825	0,108430767	2,127557784	0,011757231	0,158158746
193	4,3	1,458615023	0,675438596	0,11803237	2,127557784	0,01393164	0,172163788
194	4,4	1,481604541	0,678947368	0,127645537	2,195152016	0,016293383	0,189120207
195	4,4	1,481604541	0,68245614	0,137271304	2,195152016	0,018843411	0,203381787
196	4,4	1,481604541	0,685964912	0,146910724	2,195152016	0,021582761	0,217663596
197	4,4	1,481604541	0,689473684	0,156564873	2,195152016	0,02451256	0,231967227
198	4,4	1,481604541	0,692982456	0,166234846	2,195152016	0,027634024	0,246294302
199	4,5	1,504077397	0,696491228	0,17592176	2,262248815	0,030948466	0,264599943
200	4,5	1,504077397	0,7	0,185626759	2,262248815	0,034457294	0,279197012
201	4,5	1,504077397	0,703508772	0,195351009	2,262248815	0,038162017	0,293823036
202	4,5	1,504077397	0,707017544	0,205095703	2,262248815	0,042064247	0,308479811
203	4,5	1,504077397	0,710526316	0,214862064	2,262248815	0,046165706	0,323169174
204	4,5	1,504077397	0,714035088	0,224651342	2,262248815	0,050468225	0,337893006
205	4,5	1,504077397	0,71754386	0,23446482	2,262248815	0,054973752	0,352653236
206	4,6	1,526056303	0,721052632	0,244303812	2,328847841	0,059684353	0,372821373
207	4,6	1,526056303	0,724561404	0,254169669	2,328847841	0,064602221	0,387877226
208	4,6	1,526056303	0,728070175	0,264063776	2,328847841	0,069729678	0,40297619
209	4,6	1,526056303	0,731578947	0,273987559	2,328847841	0,075069182	0,418120441
210	4,6	1,526056303	0,735087719	0,283942482	2,328847841	0,080623333	0,433312214
211	4,6	1,526056303	0,738596491	0,293930054	2,328847841	0,086394877	0,448553812

212	4,7	1,547562509	0,742105263	0,30395183	2,394949718	0,092386715	0,470384456
213	4,7	1,547562509	0,745614035	0,31400941	2,394949718	0,09860191	0,485949191
214	4,7	1,547562509	0,749122807	0,324104449	2,394949718	0,105043694	0,501571894
215	4,7	1,547562509	0,752631579	0,334238651	2,394949718	0,111715476	0,517255206
216	4,8	1,568615918	0,756140351	0,344413782	2,460555898	0,118620853	0,54025294
217	4,8	1,568615918	0,759649123	0,354631662	2,460555898	0,125763616	0,556280871
218	4,8	1,568615918	0,763157895	0,364894181	2,460555898	0,133147763	0,572378821
219	4,8	1,568615918	0,766666667	0,375203292	2,460555898	0,14077751	0,588549856
220	4,8	1,568615918	0,770175439	0,385561021	2,460555898	0,148657301	0,604797155
221	4,8	1,568615918	0,773684211	0,395969471	2,460555898	0,156791822	0,621124016
222	4,8	1,568615918	0,777192982	0,406430825	2,460555898	0,165186015	0,637533861
223	4,8	1,568615918	0,780701754	0,41694735	2,460555898	0,173845093	0,65403025
224	4,8	1,568615918	0,784210526	0,427521407	2,460555898	0,182774553	0,670616884
225	4,8	1,568615918	0,787719298	0,438155452	2,460555898	0,1919802	0,687297616
226	4,8	1,568615918	0,79122807	0,448852046	2,460555898	0,201468159	0,704076464
227	4,9	1,589235205	0,794736842	0,459613858	2,525668537	0,211244899	0,730434524
228	4,9	1,589235205	0,798245614	0,470443678	2,525668537	0,221317254	0,747645655
229	4,9	1,589235205	0,801754386	0,481344418	2,525668537	0,231692448	0,764969494
230	4,9	1,589235205	0,805263158	0,492319126	2,525668537	0,242378122	0,782410887
231	4,9	1,589235205	0,80877193	0,503370994	2,525668537	0,253382358	0,799974905
232	4,9	1,589235205	0,812280702	0,514503368	2,525668537	0,264713716	0,817666866
233	5	1,609437912	0,815789474	0,52571976	2,590290394	0,276381266	0,846113313
234	5	1,609437912	0,819298246	0,537023857	2,590290394	0,288394623	0,864306555
235	5	1,609437912	0,822807018	0,54841954	2,590290394	0,300763992	0,882647199
236	5,1	1,62924054	0,826315789	0,559910893	2,654424736	0,313500208	0,912229526
237	5,1	1,62924054	0,829824561	0,571502225	2,654424736	0,326614793	0,931114593
238	5,1	1,62924054	0,833333333	0,583198081	2,654424736	0,340120001	0,950169956
239	5,1	1,62924054	0,836842105	0,595003267	2,654424736	0,354028887	0,969403443
240	5,1	1,62924054	0,840350877	0,606922869	2,654424736	0,368355369	0,988823342
241	5,2	1,648658626	0,843859649	0,618962278	2,718075264	0,383114301	1,020457498
242	5,2	1,648658626	0,847368421	0,631127214	2,718075264	0,398321561	1,040513326
243	5,2	1,648658626	0,850877193	0,643423761	2,718075264	0,413994136	1,060786133
244	5,3	1,667706821	0,854385965	0,655858392	2,781246039	0,43015023	1,093779513
245	5,4	1,686398954	0,857894737	0,668438011	2,843941431	0,446809375	1,127253162
246	5,4	1,686398954	0,861403509	0,681169994	2,843941431	0,46399256	1,148724365
247	5,4	1,686398954	0,864912281	0,694062231	2,843941431	0,481722381	1,170465821
248	5,4	1,686398954	0,868421053	0,707123183	2,843941431	0,500023196	1,192491796
249	5,5	1,704748092	0,871929825	0,720361937	2,906166058	0,51892132	1,228035637
250	5,7	1,740466175	0,875438596	0,733788271	3,029222506	0,538445227	1,277133665
251	5,8	1,757857918	0,878947368	0,747412735	3,090064458	0,558625797	1,313845394
252	5,8	1,757857918	0,88245614	0,761246732	3,090064458	0,579496588	1,338163596
253	5,9	1,774952351	0,885964912	0,77530262	3,150455848	0,601094152	1,376125208
254	5,9	1,774952351	0,889473684	0,789593821	3,150455848	0,623458402	1,401491409

255	5,9	1,774952351	0,892982456	0,804134957	3,150455848	0,646633029	1,427301232
256	5,9	1,774952351	0,896491228	0,818941999	3,150455848	0,670665998	1,453583027
257	6	1,791759469	0,9	0,834032445	3,210401996	0,69561012	1,494385531
258	6	1,791759469	0,903508772	0,849425528	3,210401996	0,721523727	1,521966233
259	6,1	1,808288771	0,907017544	0,865142457	3,26990828	0,748471472	1,564427391
260	6,2	1,824549292	0,910526316	0,881206714	3,328980119	0,776525272	1,607805086
261	6,3	1,840549633	0,914035088	0,897644389	3,387622953	0,80576545	1,652159052
262	6,3	1,840549633	0,91754386	0,914484605	3,387622953	0,836282094	1,683154305
263	6,3	1,840549633	0,921052632	0,931760012	3,387622953	0,868176719	1,714950548
264	6,4	1,85629799	0,924561404	0,949507397	3,445842229	0,901564297	1,762568673
265	6,5	1,871802177	0,928070175	0,967768441	3,503643389	0,936575755	1,811471075
266	6,5	1,871802177	0,931578947	0,986590642	3,503643389	0,973361095	1,846702512
267	6,6	1,887069649	0,935087719	1,006028487	3,56103186	1,012093316	1,898445823
268	6,6	1,887069649	0,938596491	1,026144924	3,56103186	1,052973404	1,936406941
269	6,6	1,887069649	0,942105263	1,047013263	3,56103186	1,096236773	1,975786951
270	6,7	1,902107526	0,945614035	1,068719641	3,618013042	1,142161671	2,032819673
271	6,7	1,902107526	0,949122807	1,091366277	3,618013042	1,19108035	2,075896009
272	6,7	1,902107526	0,952631579	1,115075849	3,618013042	1,243394149	2,120994165
273	6,8	1,916922612	0,956140351	1,139997496	3,674592301	1,299594291	2,185286978
274	6,9	1,931521412	0,959649123	1,166315218	3,730774963	1,360291188	2,252762816
275	7	1,945910149	0,963157895	1,194259964	3,786566308	1,426256862	2,323922585
276	7	1,945910149	0,966666667	1,224127541	3,786566308	1,498488236	2,382042205
277	7,5	2,014903021	0,970175439	1,256306117	4,059834182	1,578305061	2,531334991
278	8,1	2,091864062	0,973684211	1,291320319	4,375895253	1,667508166	2,701266567
279	8,3	2,116255515	0,977192982	1,32990574	4,478537404	1,768649277	2,814420357
280	8,6	2,151762203	0,980701754	1,373143539	4,630080579	1,885523178	2,954678367
281	8,6	2,151762203	0,984210526	1,422725558	4,630080579	2,024148014	3,061367082
282	8,6	2,151762203	0,987719298	1,481542314	4,630080579	2,194967629	3,187926755
283	8,7	2,163323026	0,99122807	1,555234799	4,679966513	2,418755279	3,364475251
284	8,8	2,174751721	0,994736842	1,657661072	4,72954505	2,747840231	3,605001271
285	9,6	2,261763098	0,998245614	1,847767389	5,115572314	3,414244325	4,179212096
285	Σ	368,0509679	142,5	-164,2043608	513,8276447	558,1461966	-87,18162369

Anexo 4. Manual de operación de la estación meteorológica WatchDog Weather Station.

MANUAL DE OPERACION



**MODELOS #
600, 700 Y 900ET**

Spectrum
Technologies, Inc.

CONTENIDO

Introduccion	2
Sensores Externos	3
Senores Internos	3
Componer anemometro	4
La Pantella LCD	5
Connectar a la Computora	6
Boletin del tiempo	6
Instalacion de la Estacion	7
SpecWare Software	7
Reemplazar Baterias	8
Solucionar Problemas	8
Servicio y Apoyo	9
La Garantia	9

Este manual es para familiarizarlo con las chcaracterisiticas de su estacion y la operacion de su nuevo estacion metterologica WatchDog. Pro favor, lee esta manual antes de usar su instrumento. Para servicio o hacer una orden , puede llamar Spectrum Technologies, Inc. at (800)248-8873 or (815) 436-4440 between 7:30 am and 5:30 p.m. CST, FAX at (815)436-4460, or E-Mail at specmeters@aol.com.

Spectrum Technologies, Inc
23839 W Andrew Rd.
Plainfield, IL 60544

INTRODUCCION

Gracias por comprar su estacion meteorologica WatchDog.

Este manual describe como utilizar su estacion meteorologica WatchDog y como mantenerla por muchos anos. Por favor, lea este manual asi puede usar su estacion muy efectivamente.

La estacion lo permitiria grabar y examinar el tiempo en corriente en sitios remotos. Su estacion puede ser conectada al maximo de 4 puertas de datos por las puertas extornas. Por las software puede componer la estacion grabar de los sensores apropiados.

Puede descargarlos datos acumulados a su conveniente por usar la software SpecWare. Specware muestra los datos como graficos o tablas. Use la software calcular degrados de brotar y horas de fresco, horas de hojas mojadas, horas a una cierta temperatura o humedad relativa, o puede examinar resúmenes de semana, mes, o ano. Hay opciones para modelos sobre las enfermedades y las plagas ayudar con las decisiones de manejo integral de las plagas. Tambien puede calcular evapotranspiracion ayudar su necidades para riego con una estacion 900ET

SENSORES INTERNOS

Cada canal tiene la capacidad de 3100 medidas. Entonces, un intervalo de 30 minutos permitiría al colector de los datos grabar por 64

Sensor	Alcance de Medi-	Veracidad
Velocidad del viento	0-175 mph	±5%
Dirección del viento	2°	±7°
Temperatura	-30° a 100°C -22° a 212° F	±0.7°C ±1°F
Factor del viento	-40° a 104°C -40° a 40° F	±4°F ±2°C
Humidad Relativa (Punto de Rocio)	20% a 100% @5° a 50° C -99°F a 140°F -73°F a 60°C	±3% ±4°F ±2°C
Cantidad de Lluvia	0.01" (0.25cm) resolucion	±2%
Radiación Solar	1-1250 W/m ²	±5%

* HR y Punto de Rocio están disponibles solo en estaciones 700 y 900ET

** Incluida con la estación 900ET. Es una opción en las estaciones 600 y 700.

SENSORES EXTERNOS

Las estaciones WatchDog tienen puertas externas disponibles para conseguir datos de los sensores externos (modelos 600 y 700 tienen 4 puertas y La 900ET tiene 3 puertas.). La tabla siguiente tiene una lista de las opciones de los sensores externos. Todos de los sensores incluyen un cable de 6 pies con un conector tipo aguja.

Conectar un sensor externo al colector, mete el cable de sensor a la puerta del colector que ha sido programado para este sensor. Si el sensor no está conectado, el mensaje "sensor error" aparecerá en la pantalla LCD para la puerta que tiene el problema, hasta el sensor está conectado.

Artículo#	Descripción	Alcance de Medidas	Max # por estación	Veracidad
3666	Sensor de horas de hojas mojadas	0(Seco) - 15 (Mojado)	2	N/A
3667 (6pies) 3667-20 (20pies)	Sensor de temperatura del suelo	-30° to 100° C -22° to 212° F	3	±0.7°C ±1°F
3670	Pyranometro de silico	1-1250 W/m ²	1	±5%
3668	Sensor de quanta de luz	0-2500 μmol/m ² /s	2	±5%
3669, 3669LT	Transducer de humedad del suelo	0-100 kPa (tipo-R) 0-40 kPa (tipo-LT)	2	±2%
6450WD (6pies) 6450WD20 (20pies)	Sensor de Humidad del suelo, Water-mark	0-200 kPa (tipo-WM)	3	N/A
3664	20 pie. Extencion del cable	N/A	N/A	N/A
6451	Sensor de Riego	Cambia a 5 psi	1	±1 psi
N/A	User Supplied Sensor*	0 - 2.5V	3	N/A

Programar cada puerta sensor específica a través de la pantalla "Launch Option"

*Un sensor provee por el usuario tiene que ser conectado a un cable (artículo # 3664VOLT) de 6 pies, Spectrum Sensor

INSTALACION DEL ANEMOMETRO



Excepto para el anemometro, la estacion viene completamente compuesto y listo para instalacion. La rama del anemometro esta sujetado al placa adetras con dos abrazaderas. Despues la rama esta en el sitio corecto, los tornillos este apretado la rama esta segura.

Empuje las copas para medir la velocidad del viento al fundo del eje hasta esta plano con el fondo del equipo y sujete el tornillo. Cuando suelte, las copas caye un poco. Si las copas no giran suavemente, suelte el tornillo y abaje las copas un poco. La distancia entre el cubo y el equip pueda estar 1/16 pulgadas.



Anemometer clamped

Empuje la veleta del tiempo a la encima del eje y lo calibre (mire la proxima pagina para el procedimiento de calibracion)

Calibrar la veleta del tiempo

Cuando la estacion esta puesto en el campo o esta desplazada, la veleta tiene que ser calibrada. Esto procedimiento permitira tener datos corectos.

1. Lanze su estacion
2. Encenda la pantella por prender el boton "Display" y prende los botones con flechas hasta la informacion del viento aparece.
3. Gire la veleta hasta esta apuntada al norte.
4. Prende el boton "Reset" hast puede escuchar muchas sonidos, "beeps". El anemometro esta calibrado.

Si use sensores extornes, los cables este puesto atraves el fundo de la caja por poner los cables en las ranuras en la topa con muescas. Tape los cables a la puerta del colector has sido programado leen este sensor.

Refera a **SpecWare Softwae User's Guide** (Guia para Usarios de la Software SpecWare) por instrucciones sobre lanzamiento y como componer los sensores.

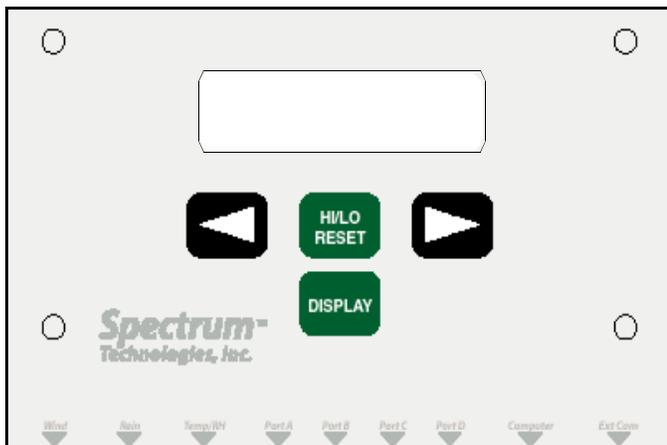
Importante: Instalar los cables externos al palo con una cinta de plastico. Esta accion prevenira los cables se vuelven desconectados durante grabar.

LA PANTALLA LCD

La pantalla LCD muestra las medidas y sus cálculos como evapotranspiración (Estación 900ET), punto de rocío (Estaciones 900ET y 700) y factor de viento. La pantalla está activa solo después de que la estación sea lanzada y está grabando datos. Mire la pantalla LCD para confirmar que el colector de los datos está sirviendo y observar el tiempo corriente. La pantalla se apagará después de 15 minutos sin actividad. La pantalla puede apagarse o encenderse presionando el botón "DISPLAY".

Datos están disponibles cada 20 segundos. Si el mensaje "sensor error" aparece en la pantalla, entonces uno de los sensores no está conectado correctamente o no está sirviendo bien. Use los botones con flechas para mover la vista adelante o atrás para mirar a los datos corrientes.

Cuando el colector de los datos está lleno, la pantalla mostrará "Memory Full" (memoria llena). Si un colector está lleno, necesita descargar y relanzarlo antes de grabar más datos.



Información de los sensores está mostrada como en la siguiente tabla:

Viento	Valor de la velocidad y su dirección corriente. El máximo de velocidad durante el intervalo anterior
Lluvia	Todo el agua que cae desde la estación desde que fue lanzada y la cantidad que cae
HR, Temperatura del Aire	Valor corriente, Max. y min. hasta la medianoche (estampa de tiempo incluye con valores max y valores min)
Radiación solar, Factor del viento, punto de rocío.	Valores corrientes
Evapotranspiración (disponible en la estación 900ET solo)	Todo en las 24 horas anteriores.
Sensores Externos (mire pg. 5)	Current value

Hi-Lo/Reset Key (Botón Max-Min/ Reempazar)

El botón **Hi-Lo/Reset** se usa para mirar los valores máximos y los valores mínimos de la temperatura del aire y la humedad relativa, fijar la cantidad de lluvia acumulada, y calibrar la dirección del viento. Antes de usar el botón **Hi-Lo/Reset**, asegúrese de que el dato de interés está en la pantalla. Los valores máximos y los valores mínimos están fijados automáticamente a la medianoche.

Para reiniciar la cantidad de lluvia acumulada a 0, necesita presionar el botón **Hi-Lo Reset** hasta que escuche muchos sonidos "beeps".

Para mirar los valores máximos y los valores mínimos para HR o temperatura del aire, presione y suelte el botón **Hi-Lo/Reset**.

Mire la instalación del anemómetro (pg. 7) para instrucciones como calibrar la veleta.

CONECTAR A LA COMPUTADORA

Estaciones ubicadas en lugares remotos

Si esta usando el Shuttle (llevador) de WatchDog (artículo# 3679) comunicar con su estación, la estación tiene que ser lanzada por una computadora antes ser instalado in el campo o cambia algo en el diseño/configuración de la estación. Operaciones normales de lanzar y de descargar pueden ser hecho por computadora o la “shuttle”. Mire a La SpecWare Software User’s Guide para instrucciones de lanzar y de descargar los colectores de los datos, WatchDog.

Durante lanzamiento o descargo, usted necesita tener una conexión entre la estación y la computadora por un cable de transmisión. Este cable esta incluido con su paquete de software WatchDog. El cable conecta a la puerta serial disponible en su computadora y la puerta se llama “computer” en la estación.

Estaciones ubicadas en sitios remotos necesitan estar conectadas sola durante descargar o durante lanzar la estación .

Si la computadora no conectara con la estación , tal vez tiene que reemplazar (mire a pg 15 para instrucciones) las baterías o cambia la configuración de la puerta de comunicación

Coneccion Directa a la Computadora

Es posible conectar su estacion directamente a su computadora . Un cable se permitira mirar el tiempo corriente y hacer las operaciones de lanzamiento y descargo de su computadora en su oficina.

El cable de 6 pies para comunicacion directa con la estacion tiene una aguja serial en un lado que esta conectado a la estacion en la puerta se llama “computer” y el otro lado es un conector de 9 agujas femininas que debe estar conectado a la computadora.

Par de Modemes de Distancia Corta

La estacion puede ser compuesto transmitir a 4000 pies a su computadora con un cable se llama “ par retorcidos” y 2 modemes de distancia corta. El cable esta conectada a la estacion y la computadora en la misma manera de cables desde 100 o 200 pies.

Peligro: Los cables largos pueden atraer relampuge. Es muy bien proteger su equipo contra sobrecargas (artículo # 3660SP).

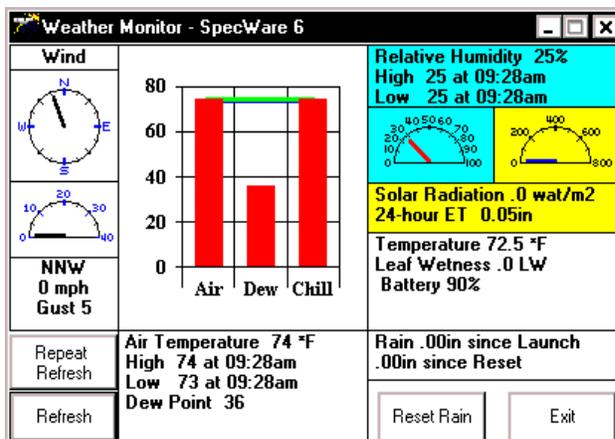
BOLETIN DEL TIEMPO

Cuando la estacion esta conectada directamente a la computadora , es posible mirar a los condicion meteorologicas corrientes por prender el boton “**Weather Station Monitor**” en la barra de herramientas **Refresh/Repeat (Refrescar/Repetir)**El usuario puede mirar el tiempo corriente a la estacion por prender el boton “**Refresh**” (refrescar). Esta parte del programa esta encendido o apagado por prender el boton **Repeat/ Refresh**. Si esta encendido , el buletin del tiempo medira el tiempo cada 5 minutos automaticamente.



Reset Rain

Prender este boton reinicializa la cantidad de lluvia acumulada a 0.



Mire en **SpecWare Software User’s Guide** para instrucciones sobre como acceder el boletin y lanzamiento y descargo funciones

INSTALACION DE LA ESTACION METEOROLOGICA

La estacion este ubicada en un lugar abierta sin obstruccion, y plano asegurar medidas verdades del viento, de la lluvia, de la luz, y de la evapotranspiracion.

Equipo para instalacion esta proveida colgar la estacion a un palo de 4 pies por 4 pies o un palo de 1.25 pulgads en diametro. El palo para instalacion este muy seguro en la tierra o colgada a un pared.

Si estara un tripode (articulo # 3396 TP), puede abrirla y ponerla donde quiere estar ubicada . Las patas del tripode pueden servir como sorporte si el suelo esta plano y duro. Resbale el palo de 3 pies a traves los tornillos en el centro y ajuste la altura hasta esta a su gusto y aprete los tornillos. Por fin, colge la estacion al palo con los tornillos de U.



La estacion instalada en un tripode

EL SOFTWARE SPECWARE

Es necesario tener El Softwae Specware 6. Es una parte integral de la familia WatchDog.

Puede usar SpecWare Software a programar o hacer la configuracion de su estacion para los sensores externos especificos a su estacion.

Usar Specware 6 lanzar la estacion grabar en intervalos de 1, 10, 15, 30, 60, y 120 minutos .

El programa puede mostrar y grabar los datos

Despues descargar los datos a su computadora. El programa tiene muchas opciones para informes como modelos de los insectos o las enfermedades

Mire la Guia de Los Usuarios de Specware para mas Inforamcion.

Channel	Port	Enabled	Sensor / Units	Reading
1	A	<input checked="" type="checkbox"/>	Temperature (°F)	
2	B	<input checked="" type="checkbox"/>	Soil Moist-WM (kPa)	
3	C	<input checked="" type="checkbox"/>	Leaf Wetness (LW)	
4	Sola	<input checked="" type="checkbox"/>	Solar Rad (wat/m2)	

REEMPLAZAR LAS BATERIAS

Cada estacion recibe su poder de 4 baterias AA. Las baterias pueden servir por 8 meses de uso continuo. Pueden ser reemplazado por baterias disponibles en las tiendas (no son baterias especiales). Sin embargo, la estacion tiene que ser relanzada despues quitar y/o reemplazar las baterias

Nota: La configuracion de la estacion no puede cambiar si la estacion esta lanzada por un "Data Shuttle" (una llevadora de los datos).

Reemplazar las baterias

1. Quite los tornillos del panel afrente y arriba de la pantalla LCD.
2. Quite las baterias
3. Meta las nuevas baterias AA
4. Reponga el cubierto
5. Aprete los tornillos

La estacion producira un "beep" cuando la ultima bateria esta metida . Esto sonido confirma que la estacion esta sirviendo. La pantalla LCD no va a iluminar hasta la estacion esta lanzada.



COMO SOLUCIONAR LOS PROBLEMAS OCOMUNES

Las preguntas comunes incluyen:

P. Por que mi estacion no puede conectar con mi computadora?

R. La estacion necisita baterias nuevas o usted necisita cambiar la puerta de comunicacion.

P. Por que la pantalla tiene el mensaje "sensor error"?

R. Hay un problema con un sensor. Cheque la coneccion entre la estacion y la computadora o cambia la puerta de comunicacion en la computadora.

P. Por que la estacion tiene medidas afuera de realidad ?

R. Un o mas de los sensores no estan conectados a las puertas corectas.

P. Por que la pantalla LCD no sirve?

R. La estacion necisita estar lanzada.

P. Por que mi boletin no tiene nuevos datos?

R. Verifique que la estacion esta lanzada y esta encendida.

SERVICIO Y APOYOLLO

Si tanga un problema con su estacion o una pregunta, puede contactar:

Su vendedor

Spectrum Technologies Directamente
Cuando llame Spectrum , por favor, es importante tener 2 cosas listas

1. Una descripcion completa (los sensores, el modelo, software, su computadora)de su equipo
2. Una descripcion del problema con todos de los detalles.

GARANTIA

Esto producto esta garantizado ser libre de defectos de materiales o de artesenia por un ano de la fecha de su compra. Durante el periodo de la garantia Spectrum , a su opcion, arreglara o reemplazara los productos que estan probados estar defectos. La garantia no aplica si el producto ha sido danado por el comprador o hat esta cambiado por el comprador.

Volver Productos a Spectrum

Ants de volver una unidad fallada , necesita conseguir numero de productos revueltos autoizados (RGA en Ingles). El paquete necesita arreglado appropiamente y mandado a Spectrum al costo del comprador. Por favor, escriba el numero RGA afuera del paquete. Spectrum no esta responsable por paquetes perdidos en

Spectrum Technologies, Inc
23839 W Andrew Rd
Plainfield IL 60544
(800) 248-8873 or (815) 436-4440
Fax (815) 436-4460
E-Mail: specmeters@aol.com

Spectrum
Technologies, Inc.

Anexo 5. Características de los ejes del catálogo de DIPAC, que se puede utilizar para la implementación.

EJES ACERO DE TRANSMISIÓN



Especificaciones Generales

Calidad: AISI 1018

Descripción: Es un acero de cementación no aleado principalmente utilizado para la elaboración de piezas pequeñas, exigidas al desgaste y donde la dureza del núcleo no es muy importante.

Aplicaciones: Levas, uniones, bujes, pines, pivotes, pernos grado 3

Longitud: 6 m

Composición Química				
%C	%Si	%Mn	%P	%S
0 - 0.20	0 - 0.25	0 - 0.70	0 - 0.04	0 - 0.05

Dimensiones			
Diámetro			
3/8"			
1/4"			
5/8"			
3/4"			
7/8"			
1"			
1 1/4"			
1 1/2"			
1 3/4"			
2"			
2 1/4"			
2 1/2"			
2 3/4"			
3"			
4"			
5"			
6"			

Propiedades Mecánicas			
Resistencia Mecánica (N/mm ²)	Punto de Fluencia (N/mm ²)	Elongación %Min.	Dureza ROCKWELL B
410 - 520	235	20	143



EJES

www.dipacmanta.com

Anexo 6. Características de las planchas de acero A36 del catálogo de DISMETAL, que se puede utilizar para la implementación.

PLANCHAS DE ACERO 1220 x 2440



CALIDAD: ASTM A36
OTRA CALIDAD: PREVA CONSULTA
FORMATO: 1220 x 2440
ACABADO: NATURAL

E & PESO	DIMENSIONES		PESO
	ancho	largo	
mm	mm	mm	kg.
2	1220	2440	46.74
3	1220	2440	70.11
4	1220	2440	93.48
5	1220	2440	116.85
6	1220	2440	140.22
8	1220	2440	186.96
9	1220	2440	210.33
10	1220	2440	233.70
12	1220	2440	280.44
15	1220	2440	350.55
18	1220	2440	420.66
20	1220	2440	467.40
22	1220	2440	514.14
25	1220	2440	584.25
30	1220	2440	701.10
38	1220	2440	888.06
50	1220	2440	1168.50

Anexo 7. Características de la tubería estructural redonda que se puede utilizar para la torre de la turbina.



ESTOY INTERESADO EN ESTE PRODUCTO

DESCARGAR ESPECIFICACIONES

Especificaciones:

Largo Normal: 6 metros
 Recubrimiento: Galvanizado
 Norma de calidad: ASTM A 500 Gr. A, B ó C
 Norma de Fabricación: NTE INEN 2415
 Espesores: Desde 1,50 a 7,11 mm
 Observaciones: Otras dimensiones y largos, previa consulta

Certificados:



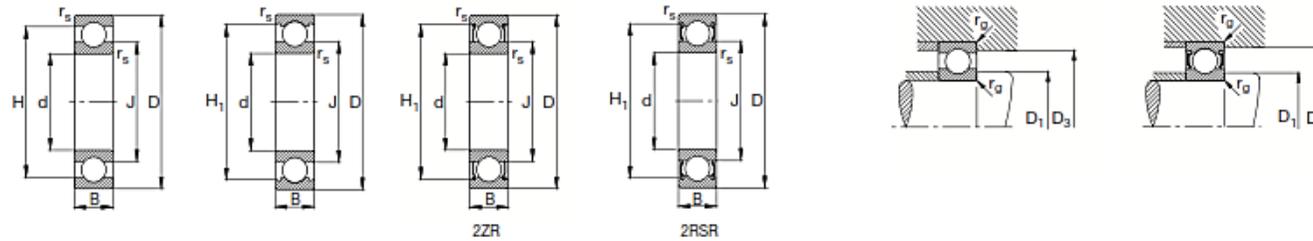
Tubería Estructural Redonda Para Postes

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas			
Diámetro Exterior	Espesor			Flexión			
D	e	A	P	I	W	i	
pulg.	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
1/2	21,20	1,50	0,93	0,73	0,45	0,43	0,70
		2,00	1,21	0,95	0,56	0,53	0,68
3/4	26,70	1,50	1,19	0,93	0,95	0,71	0,89
		2,00	1,55	1,22	1,19	0,89	0,88
1	33,50	1,50	1,51	1,18	1,93	1,15	1,13
		2,00	1,98	1,55	2,46	1,47	1,12
		3,00	2,87	2,26	3,37	2,01	1,08
1 1/4	42,20	1,50	1,92	1,51	3,98	1,88	1,44
		2,00	2,53	1,98	5,11	2,42	1,42
		3,00	3,69	2,90	7,14	3,38	1,39
1 1/2	48,10	1,50	2,20	1,72	5,97	2,48	1,65
		2,00	2,90	2,27	7,71	3,21	1,63
		3,00	4,25	3,34	10,85	4,51	1,60
		4,00	5,54	4,35	13,58	5,65	1,57
2	60,30	1,50	2,77	2,18	11,98	3,97	2,08
		2,00	3,66	2,88	15,58	5,17	2,06
		3,00	5,40	4,24	22,22	7,37	2,03
		4,00	7,07	5,55	28,17	9,34	2,00
3	88,9	2,00	5,46	4,29	51,57	11,60	3,07
		3,00	8,10	6,36	74,76	16,82	3,04
		4,00	10,67	8,38	96,34	21,67	3,00
		5,00	13,18	10,35	116,37	26,18	2,97
4	114,3	2,00	7,06	5,54	111,27	19,47	3,97
		3,00	10,49	8,23	162,55	28,44	3,94
		4,00	13,86	10,88	211,07	36,93	3,90
		5,00	17,17	13,48	256,92	44,96	3,87
		6,00	20,41	16,03	300,21	52,53	3,83

Anexo 8. Selección del rodamiento del eje de la turbina.

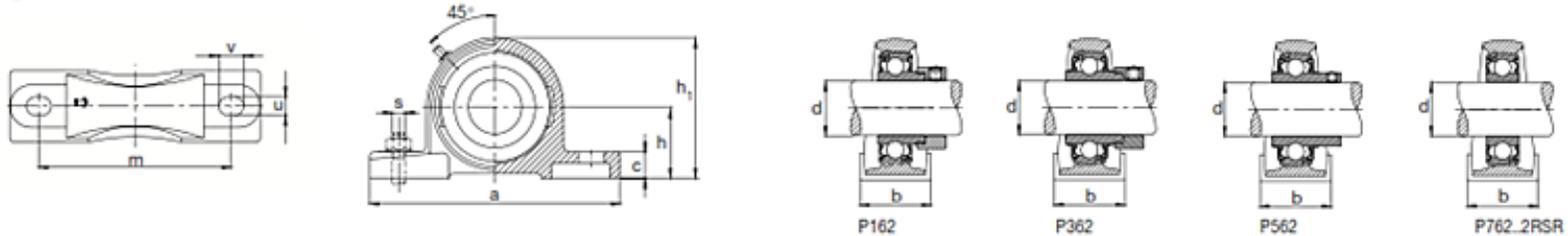
Rodamientos FAG rígidos de bolas de una hilera

Los rodamientos pueden alcanzar una duración de vida ilimitada, si $C_0/P_0 \geq 8$, ver Pág.41.



Eje	Dimensiones							Peso kg	Capacidad de carga		Velocidad límite min ⁻¹	Velocidad de referencia	Denominación abreviada Rodamiento FAG	Medidas auxiliares		
	d mm	D	B	rs min	H	H ₁	J		dyn. C	stat. C ₀				D ₁ min mm	D ₂ max	r _a max
30	30	62	16	1	52,1	54,9	40	0,195	19,3	11,2	14000	14000	6206	35,6	56,4	1
	30	62	16	1	52,1	54,9	40	0,205	19,3	11,2	14000	14000	S6206.W203B	35,6	56,4	1
	30	62	16	1	52,1	54,9	40	0,201	19,3	11,2	11000	14000	6206.2ZR	35,6	56,4	1
	30	62	16	1	52,1	54,9	40	0,201	19,3	11,2	7500		6206.2RSR	35,6	56,4	1
	30	62	16	1	52,1	54,9	40	0,211	19,3	11,2	7500		S6206.2RSR.W203B	35,6	56,4	1
	30	62	20	1	52,1	54,9	40	0,245	19,3	11,2	7500		62206.2RSR	35,6	56,4	1
	30	72	19	1,1	59,6	61,6	44,6	0,355	29	16,3	24000	13000	6306	37	65	1
	30	72	19	1,1	59,6	61,6	44,6	0,355	29	16,3	24000	13000	S6306.W203B	37	65	1
	30	72	19	1,1	59,6	61,6	44,6	0,363	29	16,3	9500	13000	6306.2ZR	37	65	1
	30	72	19	1,1	59,6	61,6	44,6	0,365	29	16,3	6300		6306.2RSR	37	65	1
	30	72	19	1,1	59,6	61,6	44,6	0,365	29	16,3	6300		S6306.2RSR.W203B	37	65	1
	30	72	27	1,1	59,6	61,6	44,6	0,499	29	16,3	6300		62306.2RSR	37	65	1
30	90	23	1,5	70,1		50,1	0,76	42,5	23,2	19000	12000	6406	41	79	1,5	
35	35	62	9	0,3	53,5	54,8	43,7	0,105	12,2	8,8	14000	10000	16007	37	60	0,3
	35	62	14	1	53,3	55,4	43,2	0,157	16	10,2	28000	13000	6007	39,6	57,4	1
	35	62	14	1	53,3	55,4	43,2	0,157	16	10,2	28000	13000	S6007.W203B	39,6	57,4	1
	35	62	14	1	53,3	55,4	43,2	0,163	16	10,2	11000	13000	6007.2ZR	39,6	57,4	1
	35	62	14	1	53,3	55,4	43,2	0,163	16	10,2	7500		6007.2RSR	39,6	57,4	1
	35	62	14	1	53,3	55,4	43,2	0,163	16	10,2	7500		S6007.2RSR.W203B	39,6	57,4	1
	35	72	17	1,1	60,7	63,3	47,2	0,291	25,5	15,3	24000	12000	6207	42	65	1
	35	72	17	1,1	60,7	63,3	47,2	0,285	25,5	15,3	24000	12000	S6207.W203B	42	65	1
	35	72	17	1,1	60,7	63,3	47,2	0,299	25,5	15,3	9500	12000	6207.2ZR	42	65	1

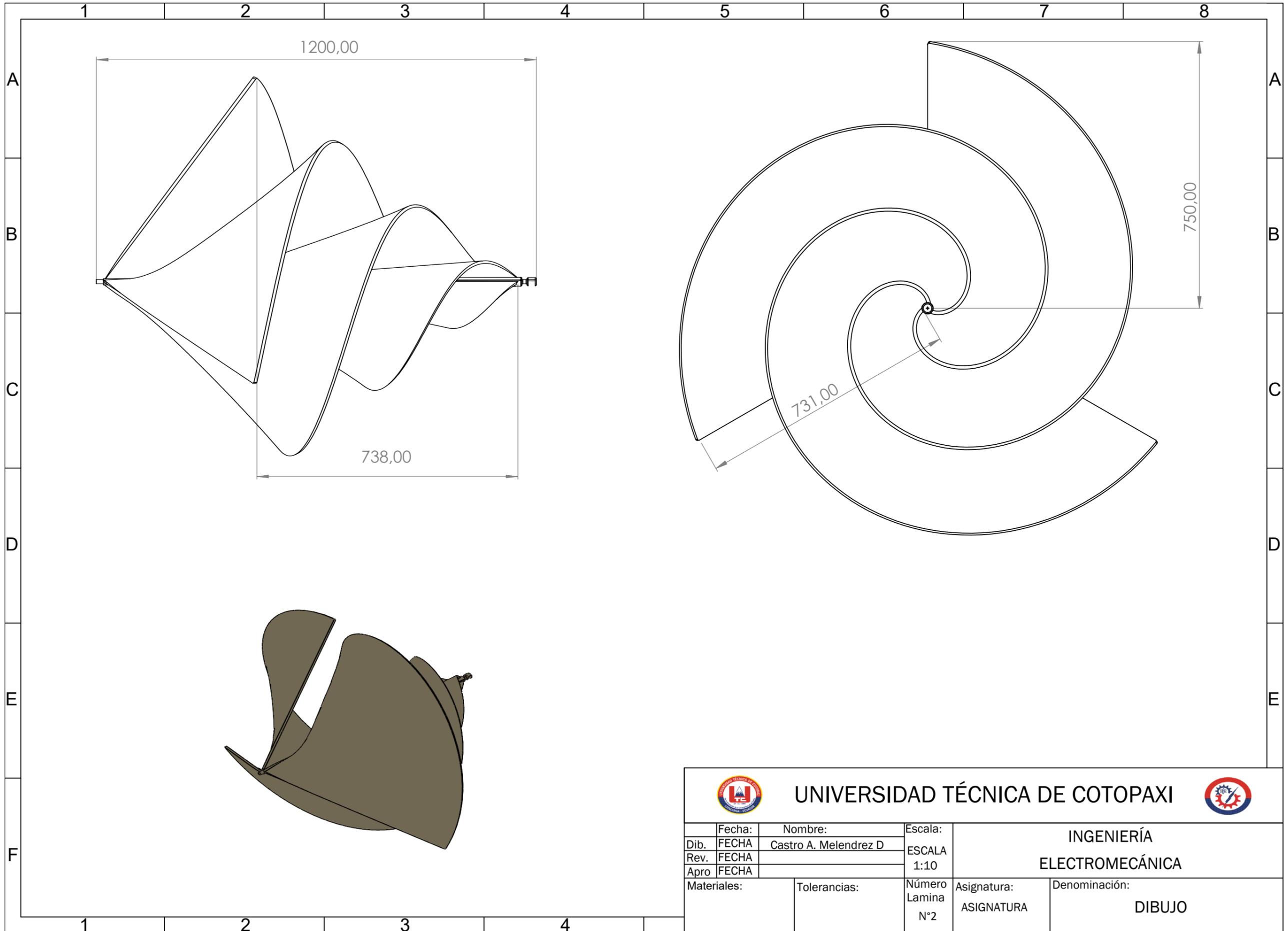
Anexo 9. Selección de la chumacera para la base de la turbina.



Eje	Dimensiones									Tornillos de fijación		Denominación abreviada			Peso ~ Unidad de rodamento S kg	
	d	a	b	c	h	h ₁	m	u	v	s	mm	in	Unidad de soporte FAG	Rodamiento con dispositivo de seguridad FAG		Soporte FAG
mm in	mm															
50	50	206	60	21	57,2	114	159	18	20,5	M16	5/8		P16210	16210	P210	3,17
	50	206	60	21	57,2	114	159	18	20,5	M16	5/8		P36210	36210	P210	3,41
	50	206	60	21	57,2	114	159	18	20,5	M16	5/8		P56210	56210	P210	3,17
	50	206	60	21	57,2	114	159	18	20,5	M16	5/8		P76210.2RSR	76210.2RSR	P210	2,86
	50	206	60	21	57,2	114	159	18	20,5	M16	5/8					
2	50,8	219	60	23	63,5	126	171	18	20,5	M16	5/8		P16211.200	16211.200	P211	4,01
	50,8	219	60	23	63,5	126	171	18	20,5	M16	5/8		P36211.200	36211.200	P211	4,61
	50,8	219	60	23	63,5	126	171	18	20,5	M16	5/8		P56211.200	56211.200	P211	4,31
	50,8	219	60	23	63,5	126	171	18	20,5	M16	5/8					
2 1/8	53,975	219	60	23	63,5	126	171	18	20,5	M16	5/8		P16211.202	16211.202	P211	3,92
	53,975	219	60	23	63,5	126	171	18	20,5	M16	5/8		P36211.202	36211.202	P211	4,5
	53,975	219	60	23	63,5	126	171	18	20,5	M16	5/8		P56211.202	56211.202	P211	4,26
	53,975	219	60	23	63,5	126	171	18	20,5	M16	5/8					
55	55	219	60	23	63,5	126	171	18	20,5	M16	5/8		P16211	16211	P211	3,88
	55	219	60	23	63,5	126	171	18	20,5	M16	5/8		P36211	36211	P211	4,39
	55	219	60	23	63,5	126	171	18	20,5	M16	5/8		P56211	56211	P211	4,24
	55	219	60	23	63,5	126	171	18	20,5	M16	5/8		P76211.2RSR	76211.2RSR	P211	3,72
	55	219	60	23	63,5	126	171	18	20,5	M16	5/8					
2 1/4	55,563	219	60	23	63,5	126	171	18	20,5	M16	5/8		P16211.203	16211.203	P211	3,86
	55,563	219	60	23	63,5	126	171	18	20,5	M16	5/8		P36211.203	36211.203	P211	4
	55,563	219	60	23	63,5	126	171	18	20,5	M16	5/8		P56211.203	56211.203	P211	4,19
	55,563	219	60	23	63,5	126	171	18	20,5	M16	5/8					
2 1/4	57,15	241	70	25	69,9	138	184	18	22	M16	5/8		P16212.204	16212.204	P212	4,9
	57,15	241	70	25	69,9	138	184	18	22	M16	5/8		P36212.204	36212.204	P212	5,6
	57,15	241	70	25	69,9	138	184	18	22	M16	5/8		P56212.204	56212.204	P212	5,19

Anexo 10. Selección del rodamiento axial.

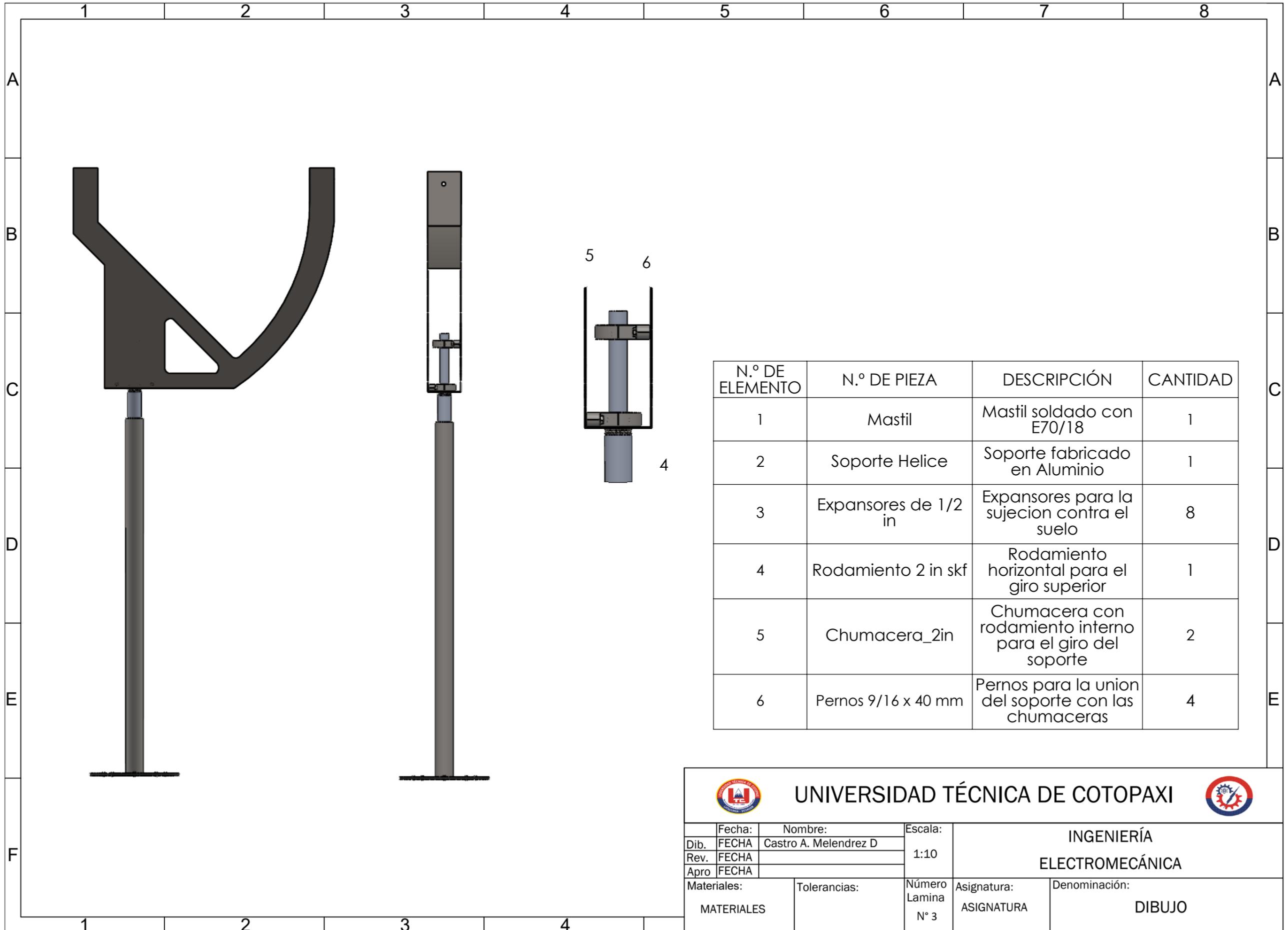
Eje	Dimensiones												Peso		Capacidad de carga		Coeficiente de carga mínimo M	Velocidad límite min ⁻¹	Denominación abreviada		Medidas auxiliares			
	d _w mm	d _o	D _w	D _o	H	r _s min	R	A	d _u	D _u	s _u	H _u	Rodamiento kg	Contra-placa	din. C	estát. C _o			Rodamiento FAG	Contraplaca FAG	D ₁ mm	D ₂ max	r _s max	
35	35	37	52	52	12	0,6							0,085			17,6	37,5	0,01	5300	51107		45	42	0,6
	35	37	62	62	18	1							0,198			35,5	67	0,028	4000	51207		51	46	1
	35	37	62	62	19,9	1	50	24	48	65	7	22	0,265	0,057		35,5	67	0,028	4000	53207	U207	51	48	1
	35	37	68	68	24	1							0,351			50	88	0,05	3600	51307		55	48	1
	35	37	68	68	25,6	1	56	24	52	72	7,5	28	0,437	0,084		50	88	0,05	3600	53307	U307	55	52	1
35	37	80	80	32	1,1								0,855			86,5	156	0,13	3000	51407		62	53	1
40	40	42	60	60	13	0,6							0,125			23,2	50	0,016	4500	51108		52	48	0,6
	40	42	68	68	19	1							0,257			46,5	98	0,05	3800	51208		57	51	1
	40	42	68	68	20,3	1	56	28,5	55	72	7	23	0,259	0,07		46,5	98	0,05	3800	53208	U208	57	55	1
	40	42	78	78	26	1							0,536			61	112	0,08	3200	51308		63	55	1
	40	42	78	78	28,5	1	64	28	60	82	8,5	31	0,561	0,12		61	112	0,08	3200	53308	U308	63	60	1
40	42	90	90	36	1,1								1,17			112	204	0,22	2400	51408		70	60	1
45	45	47	65	65	14	0,6							0,148			24,5	57	0,02	4500	51109		57	53	0,6
	45	47	73	73	20	1							0,279			39	80	0,043	3600	51209		62	56	1
	45	47	73	73	21,3	1	56	26	60	78	7,5	24	0,278	0,087		39	80	0,043	3600	53209	U209	62	60	1
	45	47	85	85	28	1							0,612			75	140	0,12	3000	51309		69	61	1
	45	47	85	85	30,1	1	64	25	65	90	10	33	0,783	0,17		75	140	0,12	3000	53309	U309	69	65	1
45	47	100	100	39	1,1								1,6			129	245	0,32	2200	51409		78	67	1
50	50	52	70	70	14	0,6							0,165			25,5	63	0,024	4300	51110		62	58	0,6
	50	52	78	78	22	1							0,346			50	106	0,07	3400	51210		67	61	1
	50	52	78	78	23,5	1	64	32,5	62	82	7,5	26	0,341	0,098		50	106	0,07	3400	53210	U210	67	62	1
	50	52	95	95	31	1,1							0,932			86,5	170	0,18	2800	51310		77	68	1
	50	52	95	95	34,3	1,1	72	28	72	100	11	37	0,97	0,23		86,5	170	0,18	2800	53310	U310	77	72	1
50	52	110	110	43	1,5								2,18			156	310	0,48	2000	51410		86	74	1,5
55	55	57	78	78	16	0,6							0,247			31	78	0,038	3800	51111		69	64	0,6
	55	57	90	90	25	1							0,382			61	134	0,11	3200	51211		76	69	1
	55	57	90	90	27,3	1	72	35	72	95	9	30	0,609	0,152		61	134	0,11	3200	53211	U211	76	72	1
	55	57	105	105	35	1,1							1,3			102	208	0,26	2400	51311		85	75	1
	55	57	105	105	39,3	1,1	80	30	80	110	11,5	42	1,38	0,28		102	208	0,26	2400	53311	U311	85	80	1
55	57	120	120	48	1,5								2,91			180	360	0,67	1800	51411		94	81	1,5



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



	Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib.	FECHA	Castro A. Melendrez D	ESCALA		
Rev.	FECHA		1:10		
Apro	FECHA			Asignatura:	Denominación:
Materiales:		Tolerancias:	Número Lamina N°2	ASIGNATURA	DIBUJO



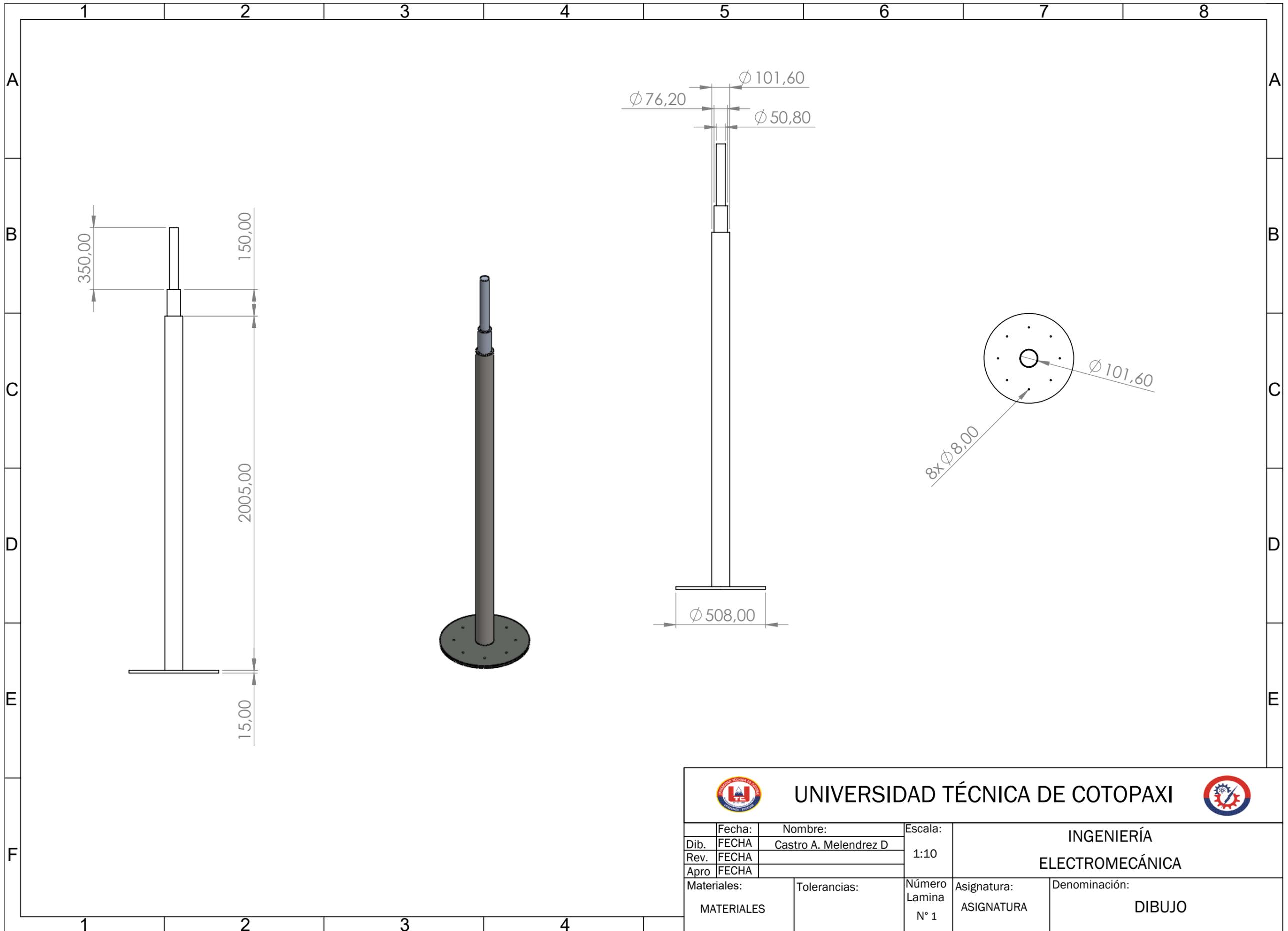
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Mastil	Mastil soldado con E70/18	1
2	Soporte Helice	Soporte fabricado en Aluminio	1
3	Expansores de 1/2 in	Expansores para la sujecion contra el suelo	8
4	Rodamiento 2 in skf	Rodamiento horizontal para el giro superior	1
5	Chumacera_2in	Chumacera con rodamiento interno para el giro del soporte	2
6	Pernos 9/16 x 40 mm	Pernos para la union del soporte con las chumaceras	4



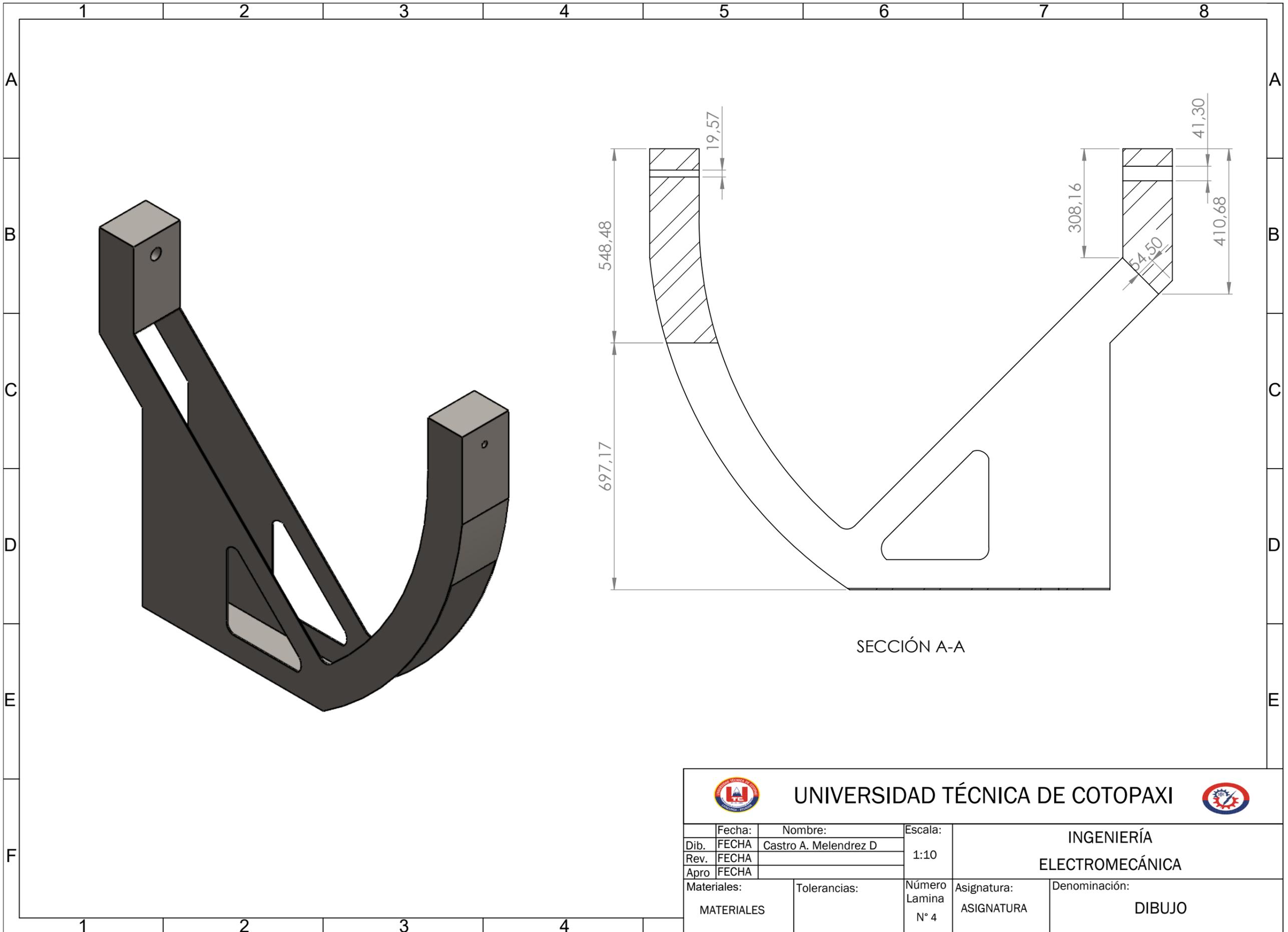
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib. FECHA	Castro A. Melendrez D	1:10	DIBUJO	
Rev. FECHA				
Apro. FECHA				
Materiales:		Tolerancias:	Número Lamina N° 3	Asignatura: ASIGNATURA
MATERIALES				



		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI			
	Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib.	FECHA	Castro A. Melendrez D	1:10		
Rev.	FECHA				
Apro	FECHA				
Materiales:		Tolerancias:	Número Lamina N° 1	Asignatura:	Denominación:
MATERIALES				ASIGNATURA	DIBUJO



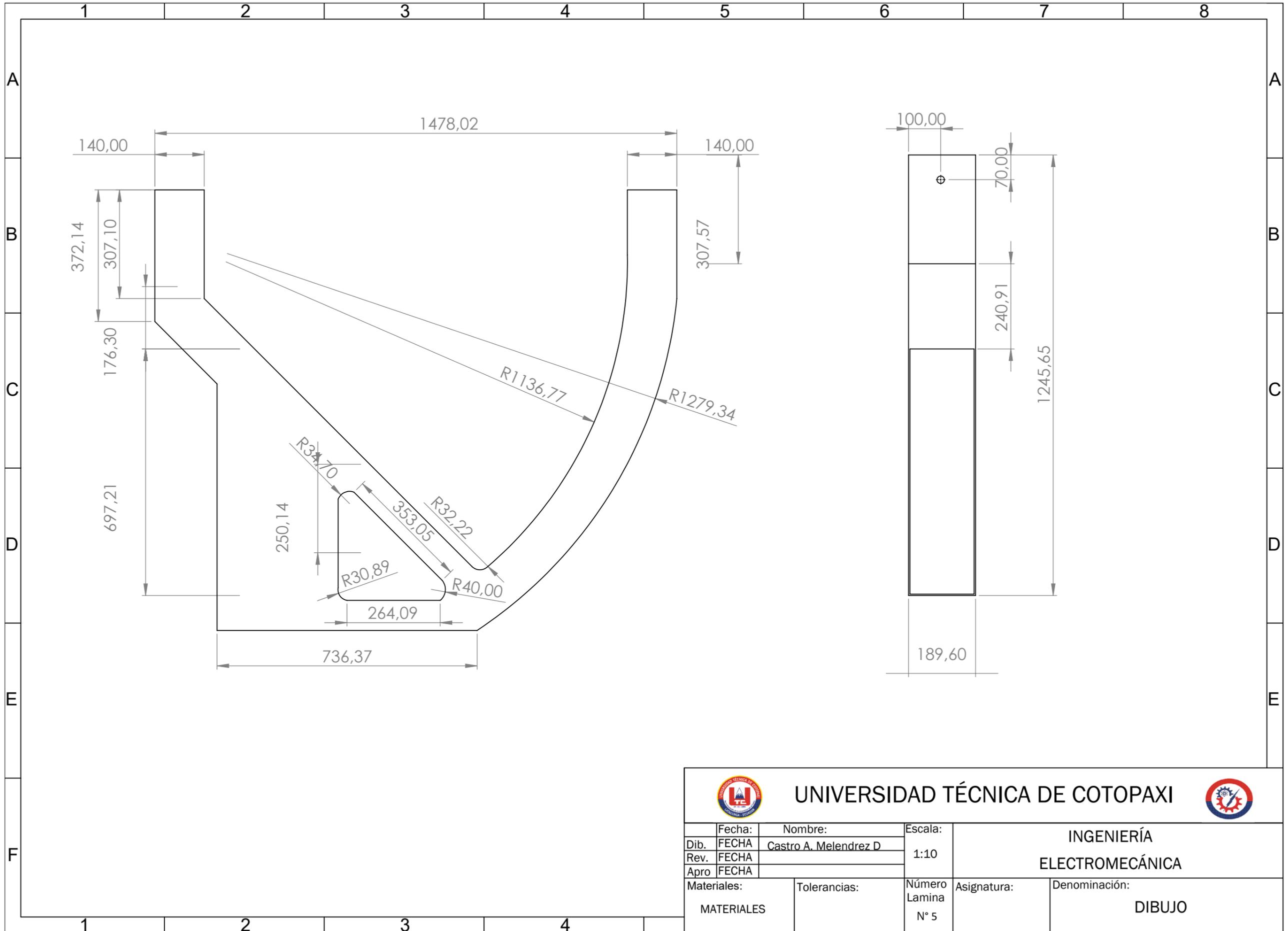
SECCIÓN A-A



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



	Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib.	FECHA	Castro A. Melendrez D	1:10		
Rev.	FECHA				
Apro	FECHA				
Materiales:		Tolerancias:	Número Lamina N° 4	Asignatura:	Denominación:
MATERIALES				ASIGNATURA	DIBUJO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



Fecha:		Nombre:		Escala:		INGENIERÍA	
Dib.	FECHA	Castro A. Melendrez D		1:10		ELECTROMECAÁNICA	
Rev.	FECHA						
Apro	FECHA						
Materiales:		Tolerancias:		Número Lamina	Asignatura:	Denominación:	
MATERIALES				Nº 5		DIBUJO	