



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**TESIS
DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE
AGUA DEL SUBSUELO, ALIMENTADO POR
ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN LA
LOCALIDAD CHONGOYAPE – CHICLAYO –
LAMBAYEQUE**

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

Autores

Bach. Arcila Diaz Luis Alberto

ORCID: (<https://orcid.org/0000-0002-0764-5261>)

Egres. Chilcon Huaman Jhon Charly

ORCID: (<https://orcid.org/0000-0002-4867-240X>)

Asesor

Mtro. Vives Garnique Juan Carlos

ORCID: (<https://orcid.org/0000-0003-0988-9881>)

**Línea de Investigación
Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente**

Pimentel – Perú

2023

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUA DEL SUBSUELO,
ALIMENTADO POR ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN LA LOCALIDAD
CHONGOYAPE – CHICLAYO – LAMBAYEQUE**

Aprobación del jurado

Dra. GASTIABURU MORALES SILVIA YVONE

Presidente del Jurado de Tesis

MSc. ROJAS CORONEL ANGEL MARCELO

Secretario del Jurado de Tesis

Mtro. VIVES GARNIQUE JUAN CARLOS

Vocal del Jurado de Tesis

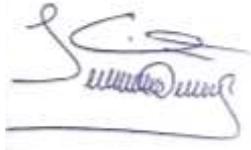
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quienes suscribimos la DECLARACIÓN JURADA, somos egresados del Programa de Estudios de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaramos bajo juramento que somos autores del trabajo titulado:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUA DEL SUBSUELO, ALIMENTADO POR ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN LA LOCALIDAD CHONGOYAPE – CHICLAYO – LAMBAYEQUE

El texto de nuestro trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación a las citas y referencias bibliográficas, respetando al derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Arcila Diaz Luis Alberto	DNI: 75404336	
Chilcon Huaman Jhon Charly	DNI: 73242567	

Pimentel, 12 de abril de 2023.

* Porcentaje de similitud turnitin:18%

Reporte de similitud

<small>NOMBRE DEL TRABAJO</small>	<small>AUTOR</small>
Diseño de un sistema de extracción de agua del subsuelo, alimentado por energía eólica para riego en	luis alberto y jhon charly arcila diaz y chilcon huaman
<small>RECUENTO DE PALABRAS</small>	<small>RECUENTO DE CARACTERES</small>
12402 Words	61914 Characters
<small>RECUENTO DE PÁGINAS</small>	<small>TAMAÑO DEL ARCHIVO</small>
93 Pages	6.7MB
<small>FECHA DE ENTREGA</small>	<small>FECHA DEL INFORME</small>
Jul 14, 2023 10:36 AM GMT-5	Jul 14, 2023 10:38 AM GMT-5

● 18% de similitud general
El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 15% Base de datos de Internet
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 11% Base de datos de trabajos entregados

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)

Dedicatoria

A mis hermanos, Juan Carlos, Liliana y Cesy, por su cariño y apoyo incondicional, A mi sobrina Nikol, aunque no está físicamente con nosotros, sé que desde el cielo siempre me cuida y guía mi camino.

Arcila Diaz Luis Alberto

A mis padres, por ser el pilar de mi vida, por apoyarme con sacrificio y dedicación en cada meta que me propuse, por los valores que me enseñaron, por el tiempo que dedicaron, por su amor incondicional, por apoyarme a pesar de las dificultades y sobre todo por ser principalmente mi fuente que me inspiró a seguir creciendo y siendo mejor cada día.

Chilcon Huaman Jhon Charly

Agradecimientos

Con el amor más sincero a Dios nuestro padre celestial por darme salud y permitirme lograr este objetivo tan importante en mi vida, A mis padres Juan y Ana por apoyarme en todo momento, Todos mis logros son suyos.

A mi asesor Mg. Juan Carlos Vives Garnique por su orientación en el desarrollo de esta investigación.

Arcila Diaz Luis Alberto

Un agradecimiento especial a la universidad señor de Sipán, a la plana docente, por sus conocimientos y experiencias transmitidas, de igual forma a nuestro asesor de investigación Mg. Juan Carlos Vives Garnique por apoyar y dirigir la realización de este proyecto, facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de nuestro informe de investigación.

Chilcon Huaman Jhon Charly

Índice

Dedicatoria.....	4
Agradecimientos	5
Índice de tablas.....	8
Índice de figuras.....	9
Resumen.....	11
Abstract.....	12
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Realidad problemática.....	13
1.2. Formulación del problema	17
1.3. Hipótesis.....	17
1.4. Objetivos.....	18
1.5. Teorías relacionadas al tema	18
II. MATERIALES Y MÉTODO	36
2.1. Tipo y Diseño de Investigación.....	36
2.2. Variables, Operacionalización	36
2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección	39
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	39
2.5. Procedimiento de análisis de datos	40
2.6. Criterios éticos.....	41
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
3.1. Resultados.....	42
3.2. Discusión.....	103
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
3.1. Conclusiones.....	104
3.2. Recomendaciones.....	105

REFERENCIAS.....	106
ANEXOS.....	109

Índice de tablas

Tabla 1. Escala de Beaufort de intensidades de viento.	24
Tabla 2: Operacionalización de la variable	37
Tabla 3. Tabla para el análisis estadístico de los datos del viento.....	41
Tabla 4. Tratamiento estadístico de los datos del viento de esta investigación.	51
Tabla 5. Diámetro – N.º de palas	65
Tabla 6. Capacidades de bomba.....	67
Tabla 7. Dimensiones del perfil del alabe.....	75
Tabla 8. Fuerzas que intervienen en el perfil.....	77
Tabla 9. Costo de materiales para la elaboración de cada uno de los componentes.....	99
Tabla 10. Costo de alquiler de la maquinaria para la construcción de la aerobomba. ...	101
Tabla 11. Costo de mano de obra para la construcción de la aerobomba.	101
Tabla 12. Gastos directos e indirectos de la construcción de la aerobomba.	102
Tabla 13. Utilidad generada por la aerobomba propuesta.	102

Índice de figuras

Figura 1. Capa freática.....	19
Figura 2. Capa freática y pozos artesianos.	19
Figura 3. Componentes de un pozo excavado.	20
Figura 4. Pozo hincado.	21
Figura 5. Perforación manual por inyección de agua.....	21
Figura 6. Paneles solares.....	22
Figura 7. Parque de energía eólica.	23
Figura 8. Viento geostrófico.	24
Figura 9. Viento de gradiente.	24
Figura 10. Representación de la velocidad del viento.	27
Figura 11. Anemómetro de rotación, cazoleta.	27
Figura 12. Aerogenerador de eje horizontal. b. aerogenerador de eje vertical.....	29
Figura 13. Tipos de rotores eólicos de eje horizontal.	31
Figura 14. Aerogeneradores de eje vertical.....	32
Figura 15. Tipos de aerogeneradores verticales.	33
Figura 16. Aeromotor para bombeo de agua.....	33
Figura 17. Típica configuración de bombeo con un aeromotor.....	35
Figura 18. Obteniendo el año promedio o “año tipo”.	43
Figura 19. Variaciones del viento por mes y hora.....	50
Figura 20. Rosa de los vientos por mes.	58
Figura 21. Frecuencias de la velocidad del viento por mes.	64
Figura 22. Potencia del rotor - radio y eje del rotor.....	69
Figura 23. Perfil CP-120-050-GN.	70
Figura 24. CL/CD de perfil CP-120-050-GN.....	70
Figura 25. CL/ α de perfil CP-120-050-GN.....	71
Figura 26. velocidad periférica del viento.	72
Figura 27. Valor del ángulo de calaje en función a SR.	74
Figura 28. Distribución de fuerzas en el perfil.....	76
Figura 29. Fuerzas Tangencial en el alabe.	77
Figura 30. Fuerza normal en el alabe.....	78
Figura 31. Torque en el alabe.	78
Figura 32. Potencia – N.º de alabes.....	79
Figura 33. Vista isométrica de la turbina.	80
Figura 34. Partes de la turbina.	81
Figura 35. Aerobomba.	82

Figura 36. Eje del rotor.....	83
Figura 37. Diagrama de fuerzas cortantes.	83
Figura 38. Diagrama de momentos.	84
Figura 39. Rotor del aerogenerador.	84
Figura 40. Plato manivela del aerogenerador.....	85
Figura 41. Biela del aerogenerador.	85
Figura 42. Vástago del aerogenerador.....	86
Figura 43. Sistema de transmisión.	86
Figura 44. Tornamesa del aerogenerador.....	87
Figura 45. Diagrama de Fuerzas.....	87
Figura 46. Diagrama de fuerzas constantes.....	88
Figura 47. Diagrama de Momentos.....	89
Figura 48. Diseño de la Torre.....	90
Figura 49. Diagrama de momentos y cortantes.....	91
Figura 50. Resultados del análisis del alabe.	92
Figura 51. Resultados del análisis de elementos finitos.	93
Figura 52. Sistema de transmisión.....	94
Figura 53. Tornamesa.....	95
Figura 54. Torre de la aerobomba.....	96
Figura 55. Análisis dinámico de fluidos.	97
Figura 56. Análisis de fluidos.	98

Resumen

En el norte del Perú muchos pobladores rurales tienen pozos artesanales de excavación del cual se abastecen de agua para su uso doméstico y agrícola, para poder extraer el agua de sus pozos utilizan desde una soga con una polea, motobombas hidráulicas y si tienen una conexión eléctrica directa emplean una electrobomba. Los mecanismos artesanales requieren de gran esfuerzo manual, las motobombas necesitan energía no renovable para poder funcionar y para accionar una electrobomba muchas veces es necesario implementar un sistema fotovoltaico, esto incluye costos elevados y sobre todo que en el futuro estos equipos serán considerados como basura contaminante. En esta investigación se ha realizado el estudio para diseñar un mecanismo accionado por energía mecánica con el uso de un aerogenerador con el objetivo de extraer agua de pozos artesanales. Para poder dimensionar el aerogenerador y la bomba se han analizado estadísticamente los datos del viento de los años 2018, 2019, 2020 y 2021 en el distrito de Chongoyape, provincia de Chiclayo, ubicado en el norte del Perú, obteniendo como resultados una velocidad media de 2.9 m/s con una dirección predominante de suroeste.

Teniendo en cuenta la velocidad promedio del viento se diseñó cada una de las partes de la aerobomba de eje horizontal, esta cuenta con 16 alabes, un rotor de diámetro de 3 m que tiene una potencia de 93.52 W y una velocidad de giro de 1.93 rad/s. La bomba tiene una potencia de 87.84W y produce un caudal de 2828.88 l/h.

Palabras Clave: Aerobomba, aerogenerador, energía eólica, agua subsuelo.

Abstract

In the north of Peru, many rural residents have artisanal excavation wells from which they supply water for their domestic and agricultural use. In order to extract the water from their wells, they use a rope with a pulley, hydraulic motor pumps, and if they have an electrical connection, directly use an electric pump. Artisanal mechanisms require great manual effort, motorized pumps need non renewable energy to function and to activate an electric pump it is often necessary to implement a photovoltaic system, this includes high costs and above all that in the future this equipment will be considered as garbage pollutant. In this investigation, the study has been carried out to design a mechanism actuated by mechanical energy with the use of a wind turbine with the aim of extracting water from artisanal wells. In order to size the wind turbine and the pump, the wind data for the years 2018, 2019, 2020 and 2021 in the Chongoyape district, Chiclayo province, located in northern Peru, have been statistically analyzed, obtaining as results an average speed of 2.9 m/s with a predominantly southwest direction.

Taking into account the average wind speed, each part of the horizontal axis windpump was designed. It has 16 blades, a 3 m diameter rotor that has a power of 93.52 W and a rotation speed of 1.93 rad. /s. The pump has a power of 87.84W and produces a flow rate of 2828.88 l/h.

Keywords: Wind pump, wind turbine, wind energy, ground water.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El agua dulce representa el 2.5% del volumen de agua del planeta, el 70% del agua dulce se encuentra en los glaciares, el 22% es agua subterránea y el resto está constituida por aguas superficiales y en cantidades mínimas por aguas atmosféricas [1]. A nivel mundial la agricultura es el mayor consumidor de las aguas subterráneas, presentando un aumento en las últimas 3 décadas [2], siendo esta actividad una de las causas de la contaminación del agua subterránea [3].

Para poder extraer el agua subterránea se realizan pozos perforados (tubulares) con un diámetro de 50mm o pozos excavados con un diámetro de hasta 300mm, la longitud de los pozos varía dependiendo del nivel freático, según la longitud los pozos se pueden realizar artesanal o mecánicamente [4].

Antiguamente la extracción de agua de los pozos se realizaba mediante poleas, utilizando la fuerza de los animales y mediante bombas impulsadas por fuerza humana, entre las bombas artesanales más conocidas podemos mencionar la bomba de pedal, bomba de remo y bomba de soga [5]. Luego aparecieron las bombas hidráulicas que reciben el trabajo mecánico generado por una fuente de accionamiento (motor) y lo transforma en energía de presión y velocidad, posibilitando la captación y elevación del agua. Según su accionamiento las bombas más utilizadas son las electrobombas y las motobombas diésel.

En el norte del Perú muchos pobladores rurales y Comisiones de regantes tienen pozos artesanales de excavación, del cual se abastecen de agua para su uso doméstico, para la alimentación de sus animales y agricultura familiar [6]. Para poder extraer el agua de sus pozos algunos utilizan una soga con una polea, otros utilizan motobombas hidráulicas, en algunos casos pueden utilizar una electrobomba hidráulica. Utilizando una bomba manual se realiza un gran esfuerzo humano y se extrae agua en pequeñas cantidades, si por otro lado se utiliza una bomba hidráulica es necesario el uso del petróleo un recurso no renovable que aumenta el efecto invernadero y además genera un costo que actualmente a nivel mundial está cada día más elevado. Si se hace uso de una electrobomba por el hecho de que los

pobladores no cuentan con una conexión directa al suministro eléctrico en su terreno o casa rural es necesario que implementen un sistema de bombeo con energía eléctrica fotovoltaica [7], este sistema cuenta con varios componentes, entre los más importantes tenemos los paneles solares y las baterías, así que el costo de implementación y de mantenimiento es elevado, además estos componentes tienen un tiempo de vida útil y cuando queden obsoletos al desecharlos también se genera contaminación [8][9], esto implica que a nivel mundial se realice estudios de investigación para poder gestionar su adecuado reciclaje [10][11]. Por esta razón es necesario el uso de mecanismos de extracción del agua subterránea cuyos costos de implementación y mantenimiento sean menores y a la vez que su uso y mantenimiento no genere contaminación para el medio ambiente. Una alternativa para la extracción del agua subterránea que se ha utilizado desde hace varios años atrás, pero que sigue siendo utilizado y se siguen diseñando mejoras son las bombas hidráulicas accionadas por un molino de viento o aerogenerador [12].

La extracción del agua del subsuelo en zonas rurales es una necesidad vigente desde tiempos antiguos, y se han tratado de buscar soluciones innovadoras para poder ofrecer una alternativa eficiente.

En el trabajo “Sistema hidráulico para riego por goteo con bombeo eólico en cultivo de plátano extradenso” [13], se ha determinado los elementos de una red hidráulica para abastecer de agua a 0.5 hectáreas de plátano extradenso mediante riego por goteo. Para poder extraer el agua subterránea utilizaron energía eólica, un molino de viento modelo brisas de eje horizontal, con 10 pies de rotor, con una torre de 10m de altura, logrando obtener 3150 l/h de un pozo de 18m de profundidad con un cilindro de la bomba de 4”.

En [14] se realizaron los cálculos para diseñar un sistema de bombeo económico y sostenible, para tierras eriazas, para realizar el diseño de su mecanismo de bombeo fue necesario conocer la temperatura mínima y máxima, presión, humedad, velocidad del viento, insolación, precipitaciones, datos que fueron necesarios para diseñar un sistema de bombeo con 3 bombas de ariete en paralelo, aprovechando la geografía del terreno, determinando

que para poder abastecer de agua para el riego de 3 hectáreas de cultivo en el mes más seco es necesario 3.35 l/s.

En el trabajo de investigación denominado “Diseño de una aerobomba para riego tecnificado, con energía eólica para el sembrío de papaya en la localidad de acerillo – Bagua – Amazonas” [15], se diseñó un molino de viento con 12 palas de material tol galvanizado con un rotor de 2.6m sobre una torre con una altura de 6m, con su respectiva bomba de pistón.

El agua extraída se almacena en un tanque de 20m³ permitiendo regar 10 hectáreas de cultivo de papaya. Concluyendo que es rentable la aerobomba tanto en su implementación como en su mantenimiento.

En el trabajo denominado “Diseño de una central generadora eólica para un sistema de bombeo hídrico en la comunidad de Maca Atápulo Parroquia Poaló cantón Latacunga provincia de Cotopaxi” [16], en la ubicación de su proyecto determinaron una velocidad del viento de 7.4m/s aceptable, para lograr determinar la dirección del viento utilizaron el programa WRPLOT. En este proyecto se ha utilizado un generador de marca Eléctrica Wind de 100KW a una altura de 30m generando 60KW, dicha energía es utilizada para alimentar un sistema de bombeo para abastecer de agua a 700 personas. Realizaron el estudio económico para determinar si su propuesta es rentable, obteniendo como resultado una tasa interna de retorno (TIR) negativa.

Bernabe Bocanegra y Castillo Fernandez [17], realizaron un proyecto cuyo principal objetivo fue diseñar y fabricar un mecanismo de molino de viento de eje horizontal para poder extraer y elevar agua, este mecanismo se conectaba a una bomba, compararon la eficiencia de una bomba de pistón y una bomba de ariete. Su mecanismo alcanzó una velocidad de rotor de 800 revoluciones por minuto (RMP), pudiendo elevar el agua a una altura aproximada de 3.66 m, cuando el molino tiene 7 palas. La potencia obtenida por la bomba de pistón fue de 11.45 W y la bomba de ariete 11.56 W.

Existen muchos tipos de aerobombas según el tipo de rotor, número de palas, tipo de

bomba hidráulica. Si queremos utilizar esta alternativa para poder extraer agua de pozos subterráneos en el norte del Perú es necesario realizar un estudio técnico para después poder diseñar las partes de la aerobomba con el objetivo de extraer agua de pozos subterráneos y su posterior almacenamiento. Existen muchos tipos de aerobombas según el tipo de rotor, número de palas, tipo de bomba hidráulica. Si queremos utilizar esta alternativa para poder extraer agua de pozos subterráneos en el norte del Perú es necesario realizar un estudio técnico para después poder diseñar las partes de la aerobomba con el objetivo de extraer agua de pozos subterráneos y su posterior almacenamiento.

El presente proyecto ha sido realizado considerando los datos de una zona rural en el distrito de Chongoyape, departamento de Lambayeque en el norte del Perú, zona donde los pobladores rurales para poder bombear agua de sus pozos subterráneos utilizan motobombas hidráulicas costosas que se abastecen de combustible fósil que cada día tiene un precio más elevado, otra alternativa de uso son las electrobombas que deben estar conectadas al suministro eléctrico, sino es posible la conexión al suministro eléctrico deben abastecerse de energía eléctrica a través de paneles solares fotovoltaicos, este sistema de bombeo es costoso para su implementación y además incluye componentes que tienen un tiempo de vida útil y cuando queden obsoletos al desecharlos también se genera contaminación. Desde una perspectiva ambiental los mecanismos actualmente empleados para poder obtener agua de pozos subterráneos nos son respetuosos con el medio ambiente. Si analizamos esta problemática desde una perspectiva social, algunos pobladores rurales para poder extraer el agua de sus pozos o de algún río cercano utilizan una soga con una polea y un balde, ya que no todos cuentan con dinero para poder invertir en un sistema de bombeo por sus precios elevados.

Después de analizar los datos estadísticos del viento en la zona geográfica de estudio, en esta investigación se ha diseñado un prototipo de sistema accionado por energía mecánica con el uso de un aerogenerador con el objetivo de extraer agua del subsuelo de un pozo de excavación, como una alternativa a la no disposición del suministro de energía eléctrica, con

costos menores de implementación, que genere poca contaminación y pocos residuos electrónicos.

1.2. Formulación del problema

En el norte del Perú muchos pobladores rurales tienen pozos artesanales de excavación para abastecerse de agua para su uso doméstico, para la alimentación de sus animales y agricultura familiar. Para poder extraer el agua de sus pozos se utilizan diversos mecanismos entre ellos tenemos, una soga con una polea, para esto el poblador realiza mucho esfuerzo y logra sacar agua en pocas cantidades; motobombas hidráulicas utilizando combustibles fósiles que cada día su precio está más elevado y su uso no es amigable con la naturaleza; electrobombas hidráulicas con conexión al suministro eléctrico, pero muchos pobladores no tienen esa conexión directa al suministro eléctrico y para hacer funcionar sus electrobombas utilizan energía eléctrica fotovoltaica a través de paneles solares, esto implica costos elevados para la compra de todos los componentes del sistema de bombeo, además del costo de mantenimiento.

En esta investigación nos planteamos lo siguiente:

¿Cómo diseñar un mecanismo de bombeo aprovechando la energía eólica para poder extraer agua del subsuelo, con costos mínimos en su implementación y mantenimiento?

1.3. Hipótesis

Un aerogenerador conectado a una bomba permitirá la extracción de agua del subsuelo para uso doméstico y agrícola, con bajos costos en su implementación y mantenimiento.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Diseñar un sistema de extracción de agua del subsuelo alimentado por energía eólica para uso doméstico y agrícola.

Objetivos específicos

- Analizar los datos del viento para el dimensionamiento del aerogenerador.
- Diseñar los componentes del aerogenerador de eje horizontal y la bomba de extracción del agua del subsuelo.
- Evaluar la integridad del aerogenerador y la bomba de agua con el criterio de resistencia mecánica, basado en las sollicitaciones externas.
- Realizar un análisis económico de diseño y fabricación de la aerobomba.

1.5. Teorías relacionadas al tema

a. Agua del subsuelo

El agua subterránea se almacena en un espacio del subsuelo denominado “acuífero”. Un acuífero es una formación geológica cubierta por un material permeable capaz de almacenar ciertas cantidades de agua, este material permeable se puede formar por distintos materiales, como arena suelta, ripio, rocas sedimentales, piedras de arena o de lodo, lava volcánica fracturada, rocas cristalizadas, entre otros materiales. El agua subterránea se almacena y recarga de manera natural, ya sea con agua de lluvia, agua proveniente de nieve derretida o proveniente de la infiltración desde el lecho de ríos y lagos, por fugas en la distribución de agua (cañerías de agua potable), riegos de cultivo en donde se usa demasiada agua, otras fuentes de agua superficial, incluso actualmente existen algunas técnicas que permiten la gestión artificial de recarga de acuíferos para aumentar la cantidad de agua que se infiltra en la tierra [18]. Esta agua filtrada fluye a través de una zona no saturada y alcanza el nivel freático, conocido también como napa o capa freática, este es el límite que separa la zona insaturada de la zona saturada (figura 1), la capa saturada es aquella donde los huecos

entre los granos de la tierra están llenos de agua. El nivel freático es una característica muy importante en hidrología porque sirve para predecir la productividad de los pozos, determinar el flujo de los manantiales y las fluctuaciones en los niveles de los lagos, este nivel freático puede ser profundo [19] o superficial, dependiendo de factores como características físicas de la región.

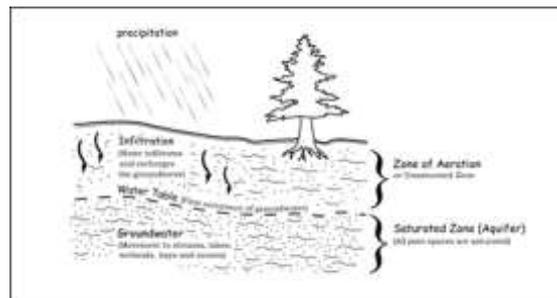


Figura 1. Capa freática.

Fuente: Clark y Briar [18]

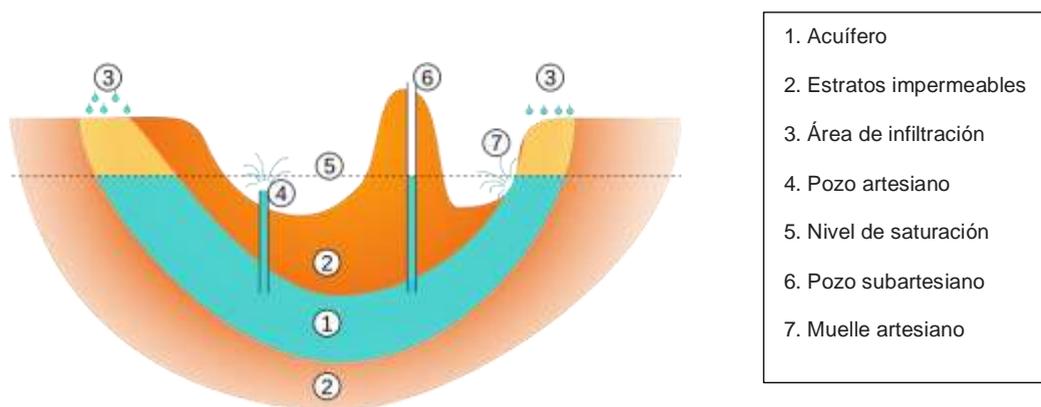


Figura 2. Capa freática y pozos artesianos.

Fuente: Fijalkowski [20]

b. Pozos y perforaciones

Un pozo de agua, conocido también como perforación, es una estructura vertical diseñada para extraer agua subterránea de un acuífero. El agua puede ser extraída manualmente utilizando recipientes o mediante el uso de una bomba manual o motorizada, permitiendo así llevar el agua al nivel del suelo. En todo el mundo hay cientos de miles de pozos perforados manualmente que proporcionan agua a los ciudadanos de las zonas rurales

para su uso en la agricultura, uso doméstico, en la crianza de animales e incluso para la industria [21].

Se pueden clasificar los pozos en tres categorías principales: los pozos excavados, los pozos hincados y los pozos aforados. La elección de cada tipo dependerá de la profundidad del acuífero que se pretende alcanzar.

Excavados: Este pozo se realiza excavando el terreno con un pico y pala, es la técnica más antigua y sencilla, pero solo se puede realizar cuando la capa freática no es muy profunda, normalmente estos pozos tienen entre 10 y 20 metros, aunque hay pozos de este tipo que tienen hasta 30 o 40 metros de profundidad. Estos pozos suelen estar delimitados por piedras, aunque es recomendable encubarlos con anillos de hormigón utilizando moldes en el mismo lugar donde se realiza la excavación. Este tipo de pozos pueden secarse fácilmente al ser poco profundos y existe el riesgo que el agua se contamine [21].

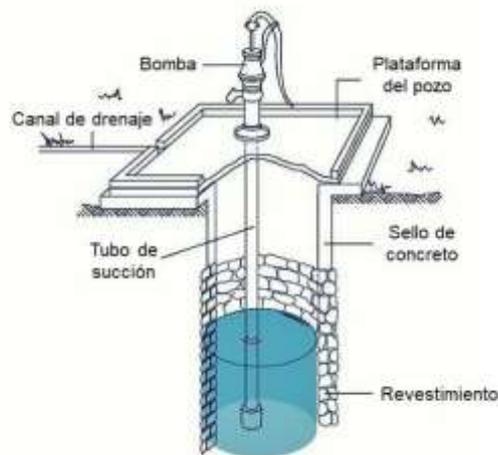


Figura 3. Componentes de un pozo excavado.

Fuente: Smet y Wijk [22]

Hincados: Se realizan con un tubo perforado de pequeño diámetro y puntiagudo, con un movimiento de vaivén vertical. Con esta técnica se puede extraer agua de profundidades entre 15 y 100 metros, también están expuestos a la contaminación y se pueden secar. Existen 3 principales técnicas para realizar estos pozos, la perforación por batido, por inyección de agua y la perforación por rozado [21].

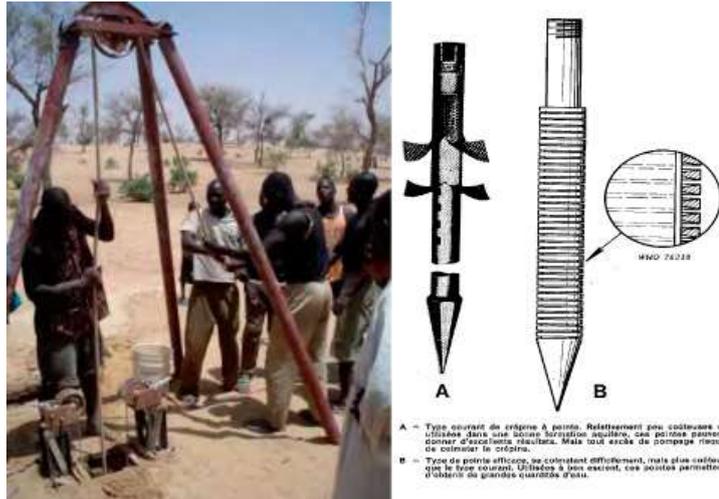


Figura 4. Pozo hincado.

Fuente: Wikiwater [21]

Aforados o perforados: La mayoría de los pozos en la actualidad son pozos aforados que se excavaron utilizando una herramienta giratoria como una taladradora o una barrena. Esta herramienta cortante gira alrededor de un eje vertical y rompe el suelo, triturando las piedras que encuentra en su camino. Los residuos resultantes se expulsan a la superficie mediante el uso de lodos. Estos pozos pueden realizarse utilizando desde técnicas manuales, utilizando medios motorizados ligeros y medios mecánicos pesados.

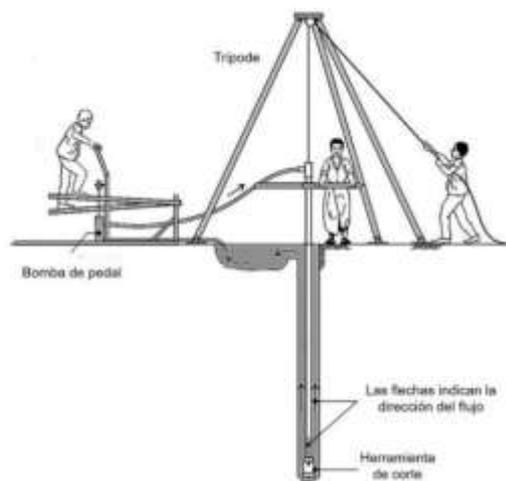


Figura 5. Perforación manual por inyección de agua.

Fuente: Elson y Shaw [23]

c. Energías renovables

Energía Solar: El combustible fósil ha sido durante mucho tiempo la forma de energía más utilizada en el planeta, pero debido al crecimiento de la población mundial el consumo de energía ha tenido un aumento significativo, afrontando el problema del agotamiento del petróleo y del calentamiento global y el desafío del uso de fuentes de energía renovables [24].

La energía solar es una fuente de energía renovable que se obtiene mediante la captura de la radiación electromagnética del sol, que puede provocar reacciones químicas o generar electricidad.

Hay dos tipos de sistemas de captación de energía solar: pasivos y activos.

En la energía solar pasiva se utilizan edificaciones como muros, techos, ventanas, que se crean de tal manera que permitan aprovechar la luz solar teniendo en cuenta dos funciones, una de ellas es captar la energía, almacenarla y distribuirla en forma de calor, esto se puede emplear en la estación de invierno; la segunda función de estas edificaciones es rechazar el calor, esta función es necesaria por ejemplo en la estación de verano.

Por otro lado, los sistemas activos requieren dispositivos que capturen la radiación, como los paneles solares o los colectores térmicos. Existen dos sistemas activos: la solar fotovoltaica que convierte la radiación solar en energía eléctrica y la solar térmica que concentra la luz para convertirla en calor [25].



Figura 6. Paneles solares.

Fuente: Osinergmin [25]

Energía eólica

Se deriva del viento y provoca diferencias de temperatura entre distintas zonas geográficas. La energía eólica es aprovechada por máquinas formadas por palas inclinadas conectadas a un eje giratorio, denominadas molinos de viento o aerogeneradores, que se encargan de convertir la energía cinética producida por el flujo del viento en energía mecánica o eléctrica. Una instalación combinada de turbinas eólicas conectadas a la red se denomina parque eólico y puede ser de dos tipos: instalaciones en tierra, en tierra, o instalaciones en alta mar, en alta mar [26].



Figura 7. Parque de energía eólica.

Fuente: Osinergmin [25]

Actualmente se están realizando investigaciones para incluir plantas de energía eólica-solar en la planificación del sistema eléctrico en algunas ciudades [27].

d. Energía eólica

El viento

El viento es el resultado del movimiento del aire en la atmósfera debido a las variaciones de temperatura causadas por la radiación solar en diferentes partes de la Tierra. Estas variaciones generan diferencias de densidad y presión, lo que a su vez provoca el desplazamiento de las masas de aire [28].

Según el tipo de fuerzas consideradas se pueden distinguir dos tipos de viento:

Viento geostrofico: Este es el viento similar de la acción de las fuerzas debidas al gradiente de presión (F_p) y de Coriolis (F_d), como se muestra en la figura 8.

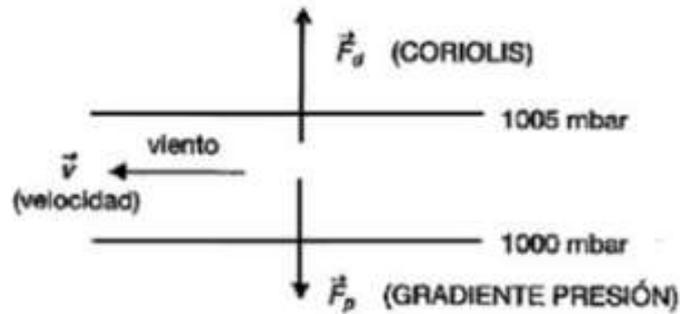


Figura 8. Viento geostrófico.

Fuente: Villarubia López [28].

El viento de gradiente es aquel que se origina debido a las fuerzas resultantes del gradiente de presión (F_p), la fuerza de Coriolis (F_d) y la fuerza centrífuga (F_c), tal como se ilustra en la figura 9.

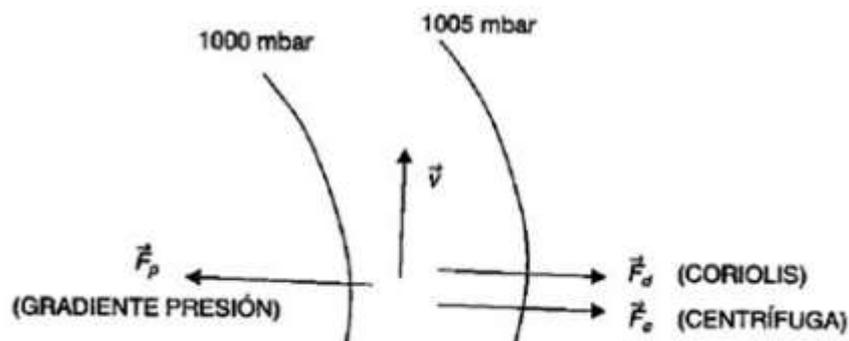


Figura 9. Viento de gradiente.

Fuente: Villarubia López [28].

Escala Beaufort

El nombre de esta escala se debe al almirante inglés del siglo XIX Lord Francis, quien lo utilizó en sus viajes marinos. Esta escala permite la estimación de la velocidad del viento teniendo en cuenta la observación de sus efectos.

Tabla 1. Escala de Beaufort de intensidades de viento.

Grados Beaufort	V(k/h)	V(m/s)	V(nudos)	Descripción	Presión sobre superficie Plana (N/m ²)
0	1	0 – 0,4	1	Calma	.....

1	1-5	0,5 – 1,5	1-3	Brisa muy ligera	1,3	1 m/s
2	6 - 11	1,3 – 3,4	4 – 6	Brisa ligera	8	2,5 m/s
3	12 - 19	3,5 – 5,5	7 - 10	Pequeña brisa	32	5 m/s
4	20 – 28	5,5 - 8	11 - 16	Moderado	64	7 m/s
5	29 - 38	8,1 – 10,9	17 - 21	fresco	130	10 m/s
6	39 - 49	11,4 – 13,9	22 - 27	Fuerte (bonancible)	220	13 m/s
7	50 - 61	14,1 – 16,9	28 - 33	Fuerte (muy fresco)	330	16 m/s
8	62 - 74	17,4- 20,4	34 - 40	Duro (Golpe de viento)	520	20 m/s
9	75 - 88	20,5 – 23,9	41 - 47	Muy Duro	690	23 m/s
10	89 - 102	24,4 - 28	48 - 55	Tempestad (Temporal)	950	27 m/s
11	103 - 117	28,4 – 32,5	56 - 63	Fuerte Tempestad	1.170	30 m/s
12	118 – 133	32,6 – 35,9	64 - 71	Huracán	1.600	35 m/s
13	134 - 149	36,9 – 40,4	72 - 80		2.080	40 m/s
14	150 - 166	40,1 – 45,4	81 - 89		2.650	45 m/s
15	167 - 183	45,1 - 50	90 - 99		3.250	50 m/s
16	184 - 201	50,1 - 54	100 - 108		3.650	54 m/s
17	202 - 220	54,1 - 60	109 - 118	Ciclón	4.700	60 m/s

Fuente: Villarubia López [28].

Datos eólicos

Para analizar si es viable utilizar el viento como fuente de energía es necesario comprender sus características. Debido a su características variables y aleatorias, el análisis requiere el uso de métodos estadísticos [28]. Para poder caracterizar el viento es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ Recolección de datos: propiedades a medir (velocidad y dirección), método de medición, tasa de muestreo, fases de promedio, etc.
- ✓ Tecnología de medición: Es necesario reconocer los dispositivos de medición del viento y llevar a cabo su instalación. Entre los instrumentos más empleados para medir el viento se encuentran el anemómetro y la veleta.

- ✓ Procedimiento de tratamiento de datos: recursos estadísticos, formato de descripción de los efectos, teniendo en cuenta sus valores medios horarios, diarios, anuales, rosa de viento, entre otros.
- ✓ Los siguientes aspectos deben tenerse en cuenta al caracterizar el viento:
 - Analizar estadísticamente la velocidad y dirección del viento.
 - Reparto provisional de la velocidad y de la dirección del viento.
 - Situaciones meteorológicas como la temperatura, tensión atmosférica, humedad referente, etc.
 - Perfil de viento vertical.
 - Condiciones turbulentas

Velocidad del viento

La velocidad del flujo del viento es una cantidad atmosférica causada por el aire que se mueve de una presión alta a una baja presión, esto sucede debido a cambios de temperatura.

La velocidad del viento se considera una cantidad vectorial, y en el contexto de la energía eólica, solo se tiene en cuenta su componente en el plano horizontal, que es similar al plano terrestre. Las mediciones de velocidad del viento realizadas con los dispositivos disponibles generalmente registran la magnitud y la dirección en el plano horizontal, sin considerar las componentes en el plano vertical.

La velocidad del viento se mide en: metros por segundo (m/s), kilómetros por hora (km/h) o nudos (kt), un nudo es una milla náutica por hora. ($1 \text{ kt} = 1852 \text{ m/h} = 0,5144 \text{ m/s}$).

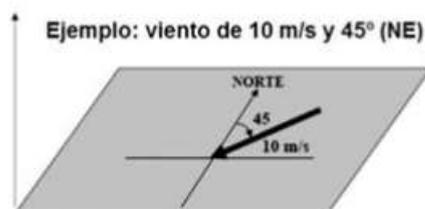


Figura 10. Representación de la velocidad del viento.

Fuente: Villarubia López [28].

Instrumentos que nos permiten medir la velocidad del viento

El anemómetro: (del griego amemos), es utilizado para medir la velocidad del viento (figura 11). Para evitar la influencia del suelo es recomendable medir la velocidad a una altura mayor a 10 metros, los valores recogidos se promedian cada 10 minutos.



Figura 11. Anemómetro de rotación, cazoleta.

Fuente: Villarubia López [28].

La veleta: Para medir la dirección del viento se mide con una veleta, que se instala junto al anemómetro, suelen instalarse juntos en una torre.

La veleta Es un dispositivo que va montado sobre un eje vertical y gira libremente al cambiar de dirección bajo la influencia del viento, por lo que es importante alinearlo y evitar efectos de sombra.

Tratamiento estadístico de los datos

La velocidad del viento puede variar rápidamente tanto en su velocidad y dirección, para medir la velocidad se hace uso del anemómetro y para medir la dirección se usa la veleta. Para el tratamiento estadístico de los datos es necesario tener datos históricos de al menos 5 años, estos datos históricos se promedian para obtener un año medio denominado “año tipo” y por lo general se considera los siguientes parámetros de centralización [28]:

Frecuencia absoluta (fi): Número de veces que se repite la velocidad del viento en el conjunto de datos.

Frecuencia absoluta acumulada (F_i): Es la suma de las frecuencias absolutas que se va acumulando hasta ese dato (ecuación 1).

$$F_i = \sum_{i=1}^N f_i \quad (1)$$

Frecuencia relativa (f_r): La frecuencia es el cociente entre el número de veces que un dato se repite y el número total de datos. En la ecuación 2 se muestra la fórmula matemática correspondiente.

$$f_r = \frac{n_i}{N} \quad (2)$$

Frecuencia Relativa acumulada (F_r): La frecuencia relativa acumulada es la suma de las frecuencias relativas que se va acumulando hasta ese dato (ecuación 3).

$$F_r = \frac{F_i}{N} \quad (3)$$

Media ($\langle v \rangle$): La velocidad promedio del viento se ha obtenido con la fórmula de la media utilizando la ecuación 4.

$$\langle v \rangle = \sum_{i=1}^n f_i v_i \quad (4)$$

Mediana: Es el valor medio de las velocidades del viento que dividen el conjunto de datos en dos partes iguales.

Moda (v_m): Es la velocidad de viento que se presenta con mayor frecuencia.

Aerogeneradores

Un aerogenerador es un dispositivo que mediante una hélice es capaz de convertir la energía cinética del viento en energía mecánica y esta energía mediante un alternador convertirla en energía eléctrica, antiguamente existían los molinos de viento para extraer agua de pozos subterráneos, se puede decir que estos molinos son los predecesores de los aerogeneradores.

Tipos de aerogeneradores

Según el funcionamiento los aerogeneradores se pueden clasificar en:

Basados en la fuerza de arrastre o resistencia (drag): Se caracterizan por tener una velocidad específica baja y un alto par de arranque. Dentro de esta categoría se encuentran

los aerogeneradores de eje vertical tipo Savonius y los aeromotores de eje horizontal de múltiples palas, que se utilizan principalmente para el bombeo de agua.

Basados en la fuerza de sustentación (lift): Los aerogeneradores de este tipo se caracterizan por tener una velocidad específica más alta, un par de arranque más bajo y una mayor producción específica de energía por unidad de superficie barrida por el rotor. Son ampliamente utilizados en la producción eléctrica. Este tipo incluye los aerogeneradores de eje horizontal tipo hélice (bipala y tripala) y los de eje vertical tipo Darrieus.

Considerando la capacidad de su eje de giro los aerogeneradores se pueden clasificar en:

- ✓ De eje horizontal: También conocidos como HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine, por sus siglas en inglés), son los más comúnmente utilizados para generar energía eléctrica. En este tipo de aerogeneradores, el eje de rotación es paralelo a la dirección del viento, es decir, horizontal (ver figura 12.a).
- ✓ De eje vertical: Denominado VAWT, del inglés Vertical Axis Wind Turbine (Figura 12b). Este tipo de aerogeneradores son poco utilizados, los más conocidos son del tipo Savonius.

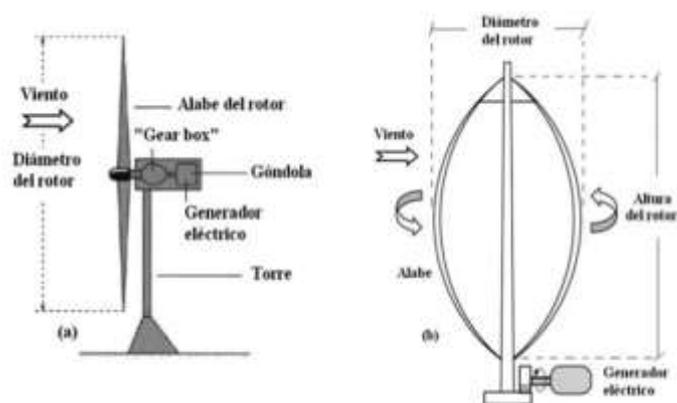


Figura 12. Aerogenerador de eje horizontal. b. aerogenerador de eje vertical.

Fuente: Villarubia López [28].

Aerogenerador de eje horizontal

Está formado por:

- ✓ Un rotor, este componente convierte el viento de energía cinética a energía mecánica de rotación. Existen dos tipos de rotores en el aerogenerador, el rotor eólico que está formado por varias palas insertadas en una pieza común denominada buje, y un rotor alternador que produce los campos magnéticos necesarios para generar la corriente inducida.
- ✓ Una caja de engranajes multiplicadora de velocidad (gear box), se encuentra ubicada entre el rotor eólico y el rotor del alternador, permitiendo aumentar la velocidad del rotor eólico. Esto es necesario debido a que el rotor gira a una velocidad mucho menor que el alternador. Algunos tipos de aerogeneradores utilizan un generador síncrono multipala en el cual el eje del rotor se acopla directamente al eje del rotor del alternador, eliminando la necesidad de la caja multiplicadora.
- ✓ Se utiliza un generador eléctrico para producir energía eléctrica.
- ✓ Una góndola alberga el multiplicador de velocidad, el generador eléctrico y otros sistemas auxiliares de regulación y control en su interior.
- ✓ Una torre que sostiene todos los componentes.

Según su velocidad de rotación, los aerogeneradores de eje horizontal se dividen en diferentes categorías.

Generadores lentos: los generadores lentos son aquellos que tienen mayor cantidad de palas o alabes, estos son conocidos como multipala tienen por lo general de 6 a 24 palas, estos aerogeneradores presentan una velocidad específica de diseño baja y un alto par de arranque. Se utilizan comúnmente para impulsar bombas de agua, comenzando a funcionar con velocidades de viento de 2 a 3 m/s y alcanzando su velocidad de operación óptima a 7 m/s.

Generadores rápidos: Estos tipos de generadores son los más utilizados para la generación de energía eléctrica utilizando una conexión con un alternador, tienen pocas palas, por lo general de dos a tres palas, aunque existen modelos en el mercado con una sola. Los más comunes son los que tienen 3 palas, conocidos como tripala. detalla una velocidad específica más elevada, tienen un par de arranque pequeño y requieren velocidades de viento inferiores a los generadores multipala, aceptan velocidades del viento entre 3 a 4 m/s para su arranque. Estos aerogeneradores tienen una amplia gama de potencias, que van desde modelos de baja potencia (1 kW) utilizados en sistemas autónomos, hasta modelos de alta potencia (de 1.000 a 3.000 kW) en parques eólicos. Incluso en la actualidad existen algunos modelos que alcanzan los 5.000 kW.

Generadores de velocidad intermedia: Su presencia en el mercado es escasa, tienen entre 3 y 6 palas y son utilizados para las prestaciones de los modelos anteriores, es decir para accionar una bomba de agua o para generar energía eléctrica. En general son de pequeña potencia y su aplicación principal es en equipos autónomos para producción de electricidad.

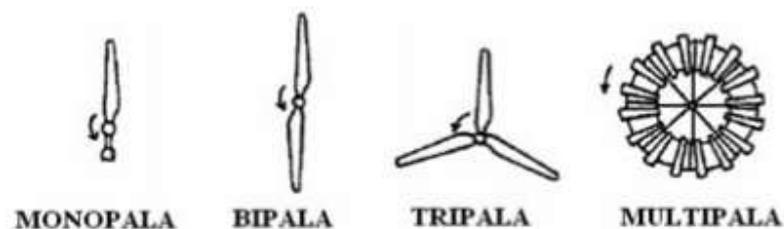


Figura 13. Tipos de rotores eólicos de eje horizontal.

Fuente: Villarubia López [28].

Aerogenerador de eje vertical

Este tipo de aerogeneradores se utilizan menos que los aerogeneradores de eje horizontal, debido a razones técnicas y económicas. En este tipo de aerogeneradores las palas rotan en torno a un eje vertical ubicado en el centro, su rendimiento se encuentra por debajo de la mitad de los de eje horizontal. La mayoría de los aerogeneradores de eje vertical se dividen en dos tipos principales. El primero es el tipo de arrastre diferencial, que aprovecha

la diferencia de fuerza del viento entre una superficie cóncava y una convexa. Su funcionamiento es similar al de un anemómetro de cazoletas, y se conoce como aerogenerador Savonius. El segundo tipo es el rotor de variación cíclica de incidencia, conocido como aerogenerador Darrieus, que utiliza un diseño de rotor que varía su ángulo de incidencia de manera cíclica durante la rotación [28]. En la figura 14 revisamos este tipo de aerogeneradores.

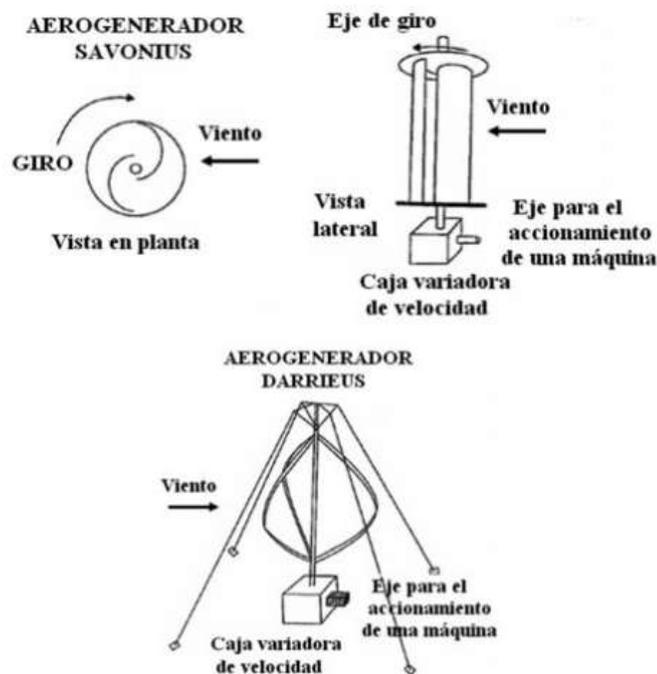


Figura 14. Aerogeneradores de eje vertical.
Fuente: Villarubia López [28].

Existen diversos tipos de aerogeneradores de eje vertical (figura 15). Los más conocidos son:

- ✓ Los aerogeneradores de tipo Savonius utilizan un rotor de arrastre diferencial, que puede estar diseñado tanto sin pantalla como con pantalla.
- ✓ El aerogenerador de tipo Darrieus que utiliza un rotor de variación cíclica de incidencia.

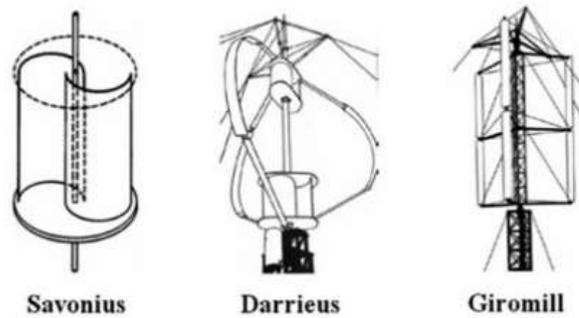


Figura 15. Tipos de aerogeneradores verticales.

Fuente: Villarubia López [28].

Aerobomba

Las aerobombas son aerogeneradores multipala de eje horizontal utilizados para extraer el agua del subsuelo para usos agrícolas, domésticos e incluso industriales en las zonas urbanas. Este tipo de aerogeneradores requiere un mayor número de palas o alabes, generalmente entre 12 y 24. Su funcionamiento se basa principalmente en la fuerza de arrastre que actúa sobre las palas, lo cual tiene un efecto más significativo en este diseño que la fuerza de sustentación. El rotor está formado por placas o palas metálicas que tienen un perfil no aerodinámico, estas palas se encuentran debidamente orientadas de tal manera que optimicen la acción del viento, provocando así una fuerza de arrastre que a su vez origina el par en el eje del rotor [28].

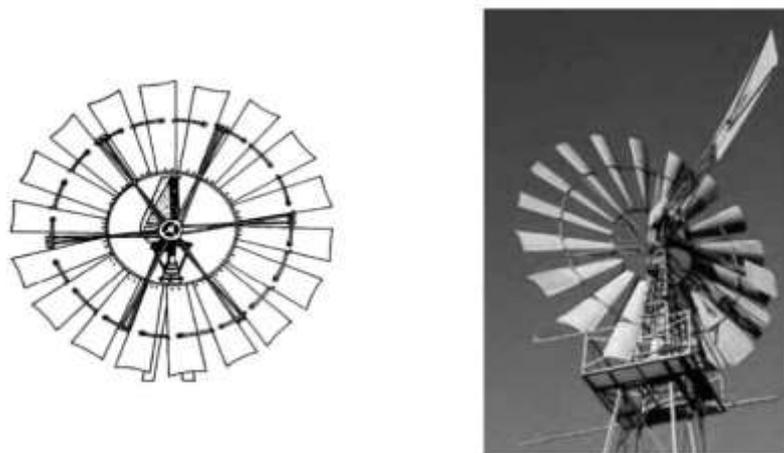


Figura 16. Aeromotor para bombeo de agua.

Fuente: Villarubia López [28].

Este tipo de aerogeneradores se destinan al bombeo del agua, el más conocido es el denominado “molino americano”. El tipo de bomba que se utiliza en este tipo de aerogeneradores es el de embolo o pistón [28].

Para calcular la potencia (P) en el eje de este aerogenerador se puede utilizar la ecuación 5.

$$P \approx 0,15 D^2 v^3 \quad (5)$$

Siendo, P: potencia (W); D: diámetro del rotor (m); v: velocidad del viento (m/s).

La potencia nominal del aerogenerador se logra alcanzar con vientos de una velocidad promedio de 5 a 7 m/s.

La figura 17 muestra un sistema de bombeo donde se utiliza un generador eólico ubicado junto al pozo. Esta configuración presenta la ventaja de prescindir de un generador eléctrico, ya que la bomba es accionada directamente por el rotor [28].

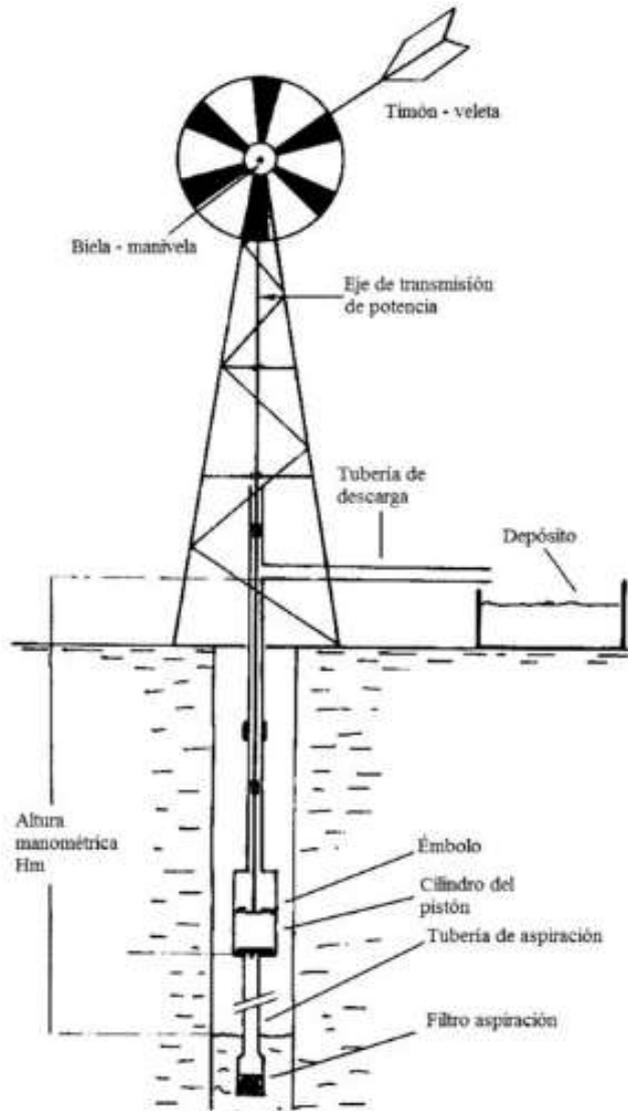


Figura 17. Típica configuración de bombeo con un aeromotor.

Fuente: Villarubia López [28].

II. MATERIALES Y MÉTODO

2.1. Tipo y Diseño de Investigación

Tipo: Aplicada

Diseño: Cuasi-experimental

La investigación aplicada es un enfoque de investigación científica que busca generar conocimiento y soluciones prácticas para resolver problemas o mejorar situaciones en la vida real. Se caracteriza por la aplicación directa de los hallazgos de la investigación en la toma de decisiones y en la práctica en el campo de aplicación, con el objetivo de abordar necesidades concretas y generar impacto en la sociedad, la industria, la salud, la educación u otros ámbitos.

2.2. Variables, Operacionalización

Variable independiente

Sistema de extracción de agua del subsuelo alimentado por energía eólica.

Variable dependiente

Extracción de agua del subsuelo.

Tabla 2: Operacionalización de la variable

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable	Escala de medición
Sistema de extracción de agua del subsuelo alimentado por energía eólica	Sistema que utiliza la fuerza del viento como fuente de energía para extraer agua de pozos o acuíferos subterráneos, este sistema consta de una bomba de agua accionada por una turbina eólica que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica para operar la bomba.	Para el sistema de extracción de agua se ha considerado dos dimensiones, el diseño mecánico y los gastos operativos.	Diseño mecánico	Velocidad del rotor	$N = \frac{60 \cdot \lambda_0 \cdot v}{\pi \cdot D}$	Observación y análisis de documentos	1.93 rad/s	Variable independiente	rad/s
				Diámetro del rotor	Diámetro según el número de alabes		3		m
				Número de alabes	Número de alabes según el diámetro del rotor		16		unidad
				Potencia	$P = \frac{63.34}{c_p}$ $c_p = 0.5926$		93.52 W		w
				Diámetro de la bomba de succión	Capacidad de bombeo		6"		pulgadas

			Gastos operativos	Costo implementación	CT= gastos directos + indirectos	Observación y análisis de documentos	5260.10		
				Costo de operación y mantenimiento	CO=CT*5 %		263.00		Moneda (soles)
Extracción de agua del subsuelo	Es un proceso mediante el cual se accede a las reservas de agua que se encuentran debajo de la superficie terrestre, ya sea mediante pozos, perforaciones o sistemas de extracción.	Para evaluar la extracción de agua del subsuelo se ha considerado la dimensión capacidad de extracción de agua.	Capacidad de extracción de agua.	Altura máxima de elevación del agua.	Capacidad de bombeo	Observación y análisis de documentos	8	Variable dependiente	m
				Capacidad en litros por hora.	Capacidad de bombeo		2828.88 l/h		Litro/hora

2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección

Población: Todos los sistemas de bombeo de agua utilizando energías renovables.

Muestra: Sistema de extracción de agua del subsuelo utilizando energía eólica.

Muestreo: Se ha utilizado el muestreo no probabilístico por conveniencia, ya que la muestra ha sido seleccionada por su disponibilidad o conveniencia para esta investigación, sin seguir un proceso de selección aleatorio o probabilístico.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnicas de recolección de datos

Observación Directa

Es la técnica más utilizada del investigador, Según (Ramos, 2018) esta técnica se puede utilizar en diferentes momentos de la investigación, se usa desde el diagnóstico del problema ya que el investigador hace uso de sus propios sentidos de los hechos significativos que están sucediendo.

Análisis de Documentos

Es la recopilación detallada de estudios previos que se relacionan con el tema, desde su soporte documental y desde su contenido mismo.

Instrumentos de recolección de datos

Guía de observación

La herramienta que permite al investigador abordar de manera sistemática su objeto de estudio con el fin de recopilar y obtener datos e información sobre los fenómenos relevantes de su investigación.

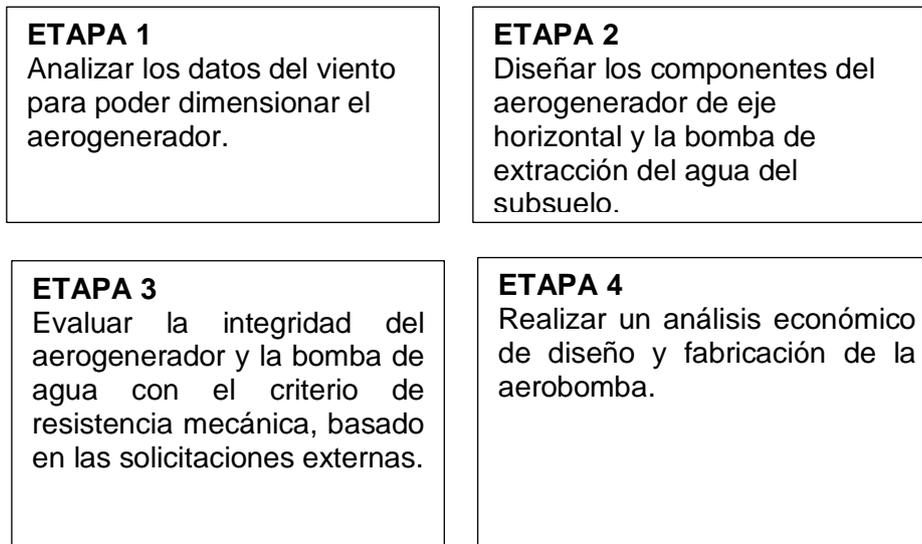
Ficha de análisis de documentos

Para trabajar con el instrumento anterior se requiere de la técnica de análisis de documentos y una ficha para recopilar la información relacionada con el tema de investigación. En el anexo 1, tenemos la ficha donde se ha estructurado los datos estadísticos

del viento. Los datos fueron obtenidos de la estación meteorológica ubicada en Tinajones (centro poblado del distrito de Chongoyape en Chiclayo, Perú) con una latitud de 6°39'17.6"S, longitud 79°25'40.51"W y altura de 181 msnm, estos datos son promediados y almacenados cada hora, para cada año se almacenan 8760 datos, es decir 24 valores correspondiente a cada hora de los 365 días del año [22]. Se ha utilizado los datos de velocidad de viento (m/s), dirección del viento (°), humedad (%), temperatura (°C) y precipitación (mm/hora) promediando los años 2018, 2019, 2020 y 2021 en un año denominado "año tipo o medio".

2.5. Procedimiento de análisis de datos

El procedimiento para el análisis de datos tiene el siguiente orden:



En la primera etapa de la presente investigación se ha realizado el tratamiento estadístico de los datos considerando los siguientes parámetros de centralización:

Frecuencia absoluta (f_i), Frecuencia absoluta acumulada (F_i) (ecuación 1), Frecuencia relativa (f_r) (ecuación 2), Frecuencia Relativa acumulada (F_r) (ecuación 3), Media ($\langle v \rangle$) (ecuación 4), Mediana, Moda (v_m). Organizados según la siguiente tabla.

Tabla 3. Tabla para el análisis estadístico de los datos del viento.

Datos		Cálculos						
Intervalo de la clase (m/s)	Centro de la clase	Frecuencia de la clase	Frecuencia Absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Productos		
	v_i (m/s)	f_i (horas)	F_i	$f_r = n_i/N$	$F_r = F_i/N$	$v_i f_i$	$f_r v_i$	$f_i v_i^2$

Fuente: Elaboración propia.

2.6. Criterios éticos

Código de Ética de la Universidad Señor de Sipán (USS)

En el marco de esta investigación, se ha considerado el código de Ética de la Universidad Señor de Sipán (USS), el cual establece los principios éticos que rigen el proceso de investigación, específicamente el artículo 1 indica que el código de ética tiene como objetivo garantizar que el proceso de investigación se lleve a cabo en conformidad con los principios éticos establecidos por las normas vigentes.

Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP)

Se ha considerado también el Código de ética del CIP, este en su artículo 14 establece que, Los ingenieros se encuentran al servicio de la sociedad y, por lo tanto, tienen la responsabilidad de contribuir al bienestar humano, otorgando máxima importancia a la seguridad y al uso adecuado de los recursos en el ejercicio de sus labores profesionales.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

Análisis estadístico de la velocidad y dirección del viento

a. Datos para el análisis del viento

Durante esta etapa de la investigación los datos del viento se analizaron estadísticamente para determinar la tasa de frecuencias de velocidades y las direcciones del viento. Los datos fueron obtenidos de la estación meteorológica ubicada en Tinajones (centro poblado del distrito de Chongoyape en Chiclayo, Perú) con una latitud de 6°39'17.6"S, longitud 79°25'40.51"W y altura de 181 msnm, estos datos son promediados y almacenados cada hora, para cada año se almacenan 8760 datos, es decir 24 valores correspondiente a cada hora de los 365 días del año [29].

Las velocidades de un solo año no son lo suficientemente significativas, deben manejarse datos almacenados en periodos de varios años, según Villarubia López (2013) es necesario periodos de 5 a 10 años promediados en un año denominado "año tipo". Para analizar estadísticamente el viento de la zona para la que se construirá el aerogenerador en esta investigación se han considerado los datos de los años 2018, 2019, 2020 y 2021, no se han podido obtener datos de años anteriores en la web de datos de Senhami - Perú, (2022), ni tampoco se ha considerado el año 2022 puesto que aún no finaliza. Los datos utilizados son de velocidad de viento (m/s), dirección del viento (°), humedad (%), temperatura (°C) y precipitación (mm/hora), estos datos han sido promediados hora a hora por cada día correspondiente para obtener el "año tipo" o "año medio" (figura 18) utilizando el programa Microsoft Excel, sobre estos datos promediados se ha realizado el análisis estadístico, los datos del "año tipo" lo podemos revisar en el anexo 1.

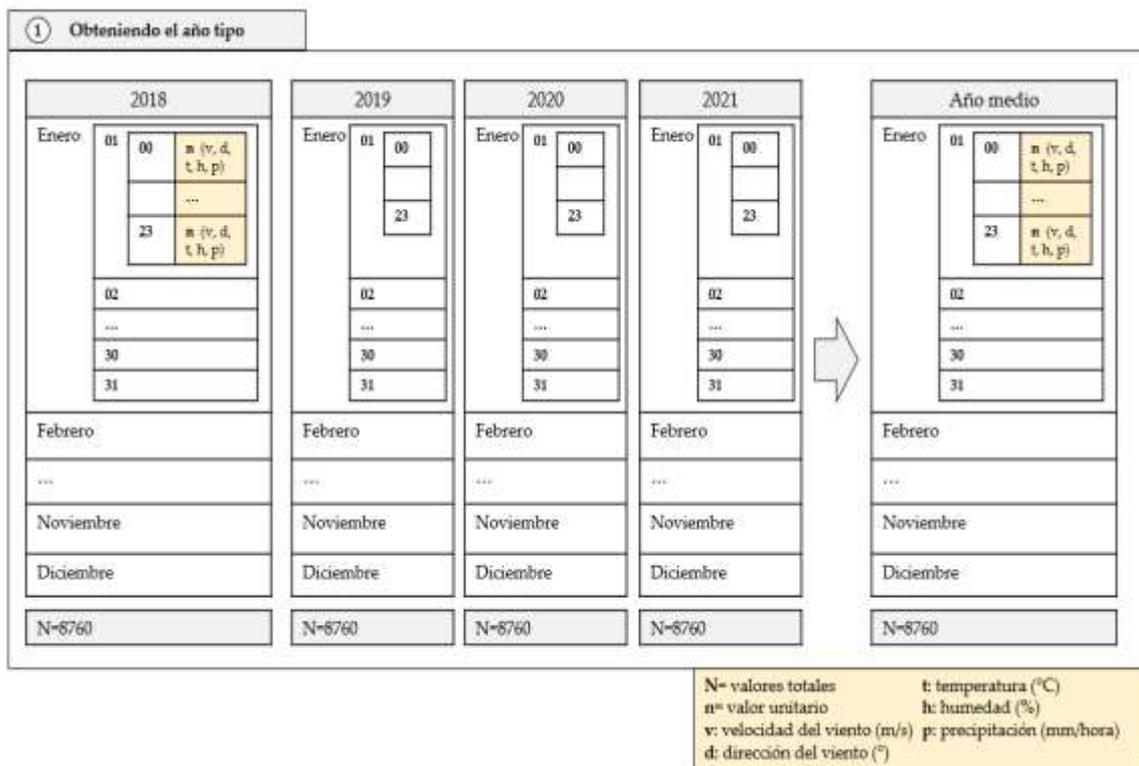


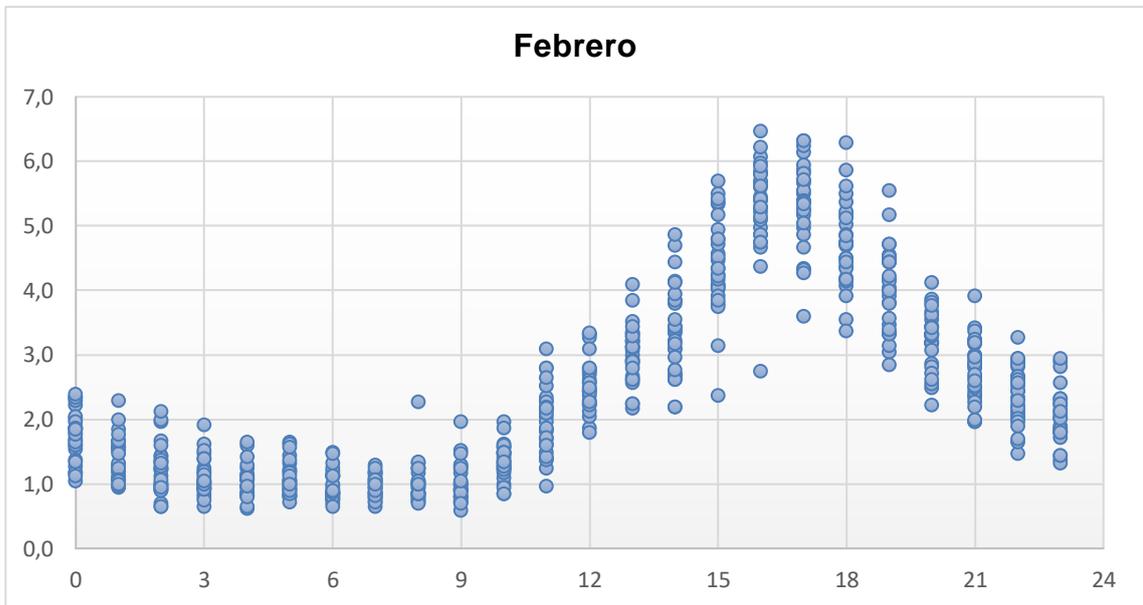
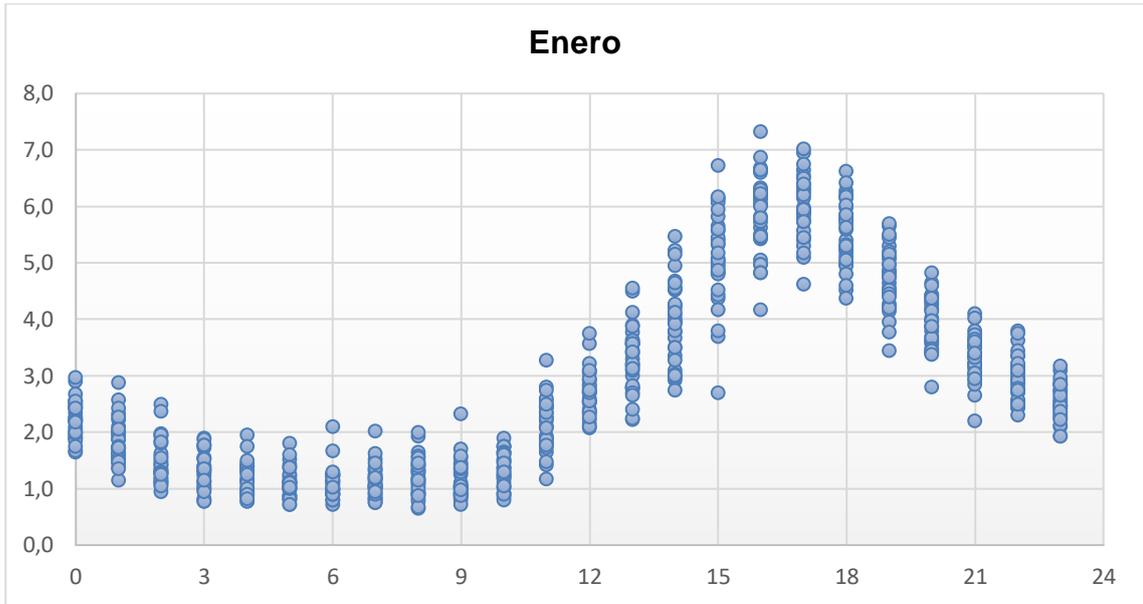
Figura 18. Obteniendo el año promedio o “año tipo”.

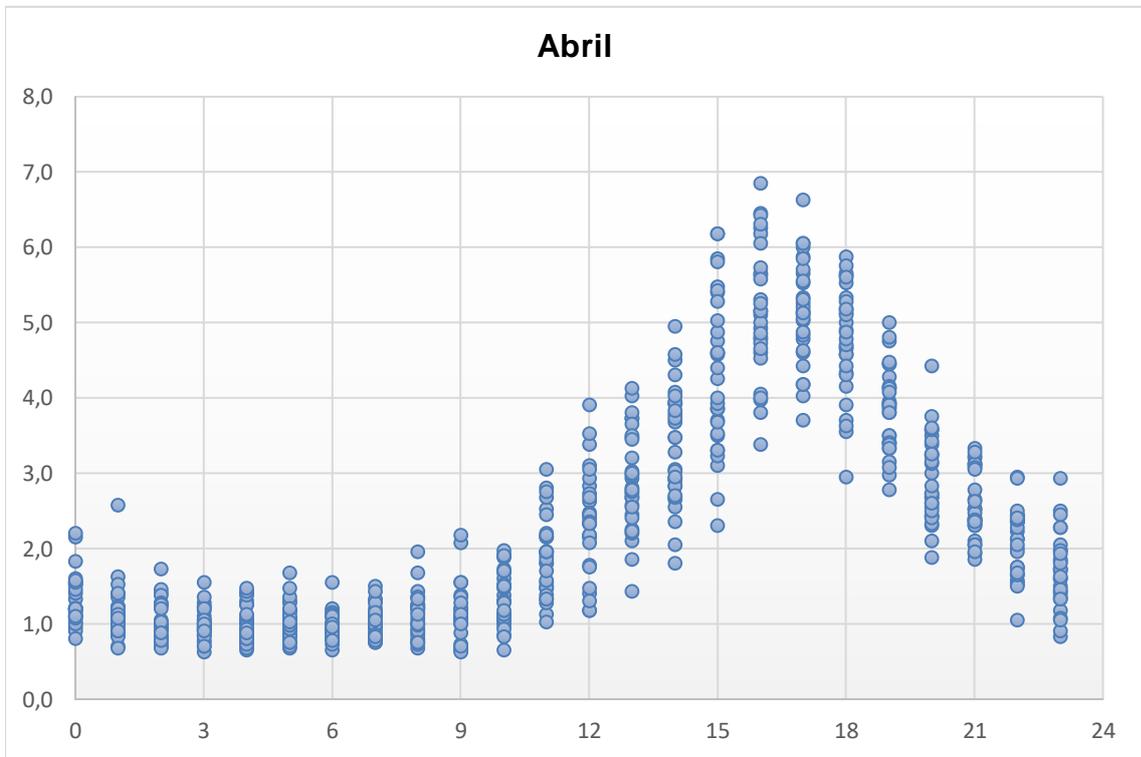
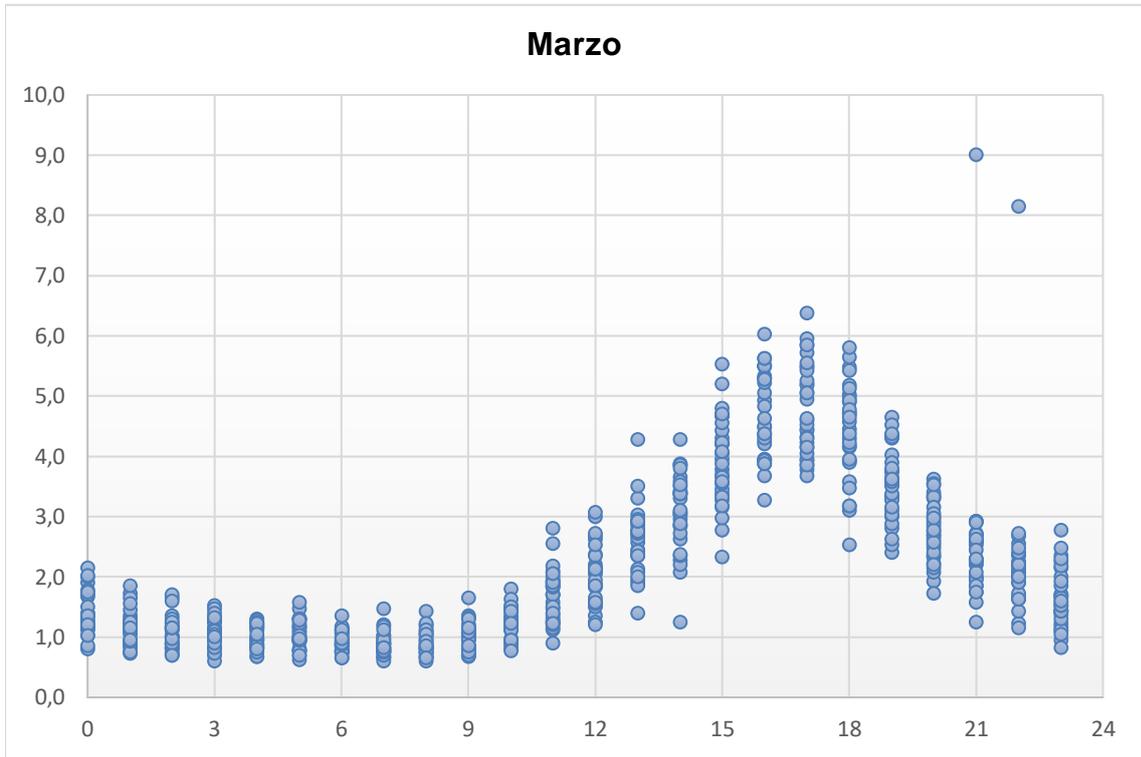
Fuente: Elaboración propia.

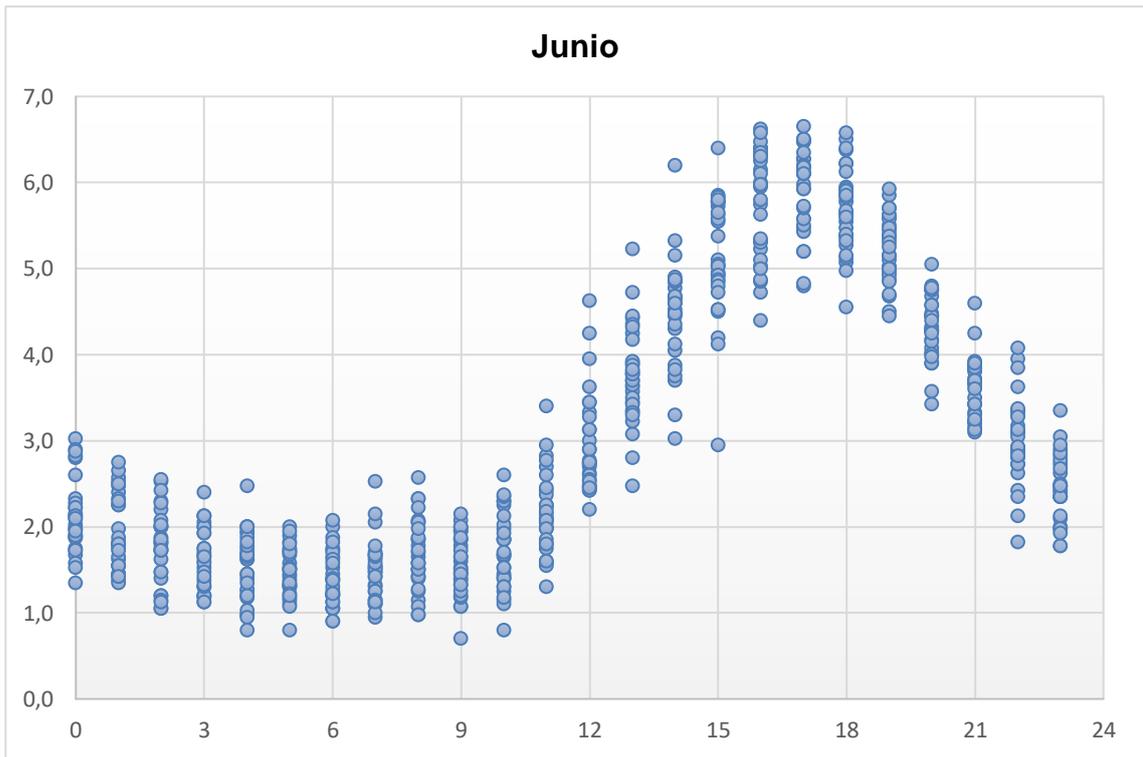
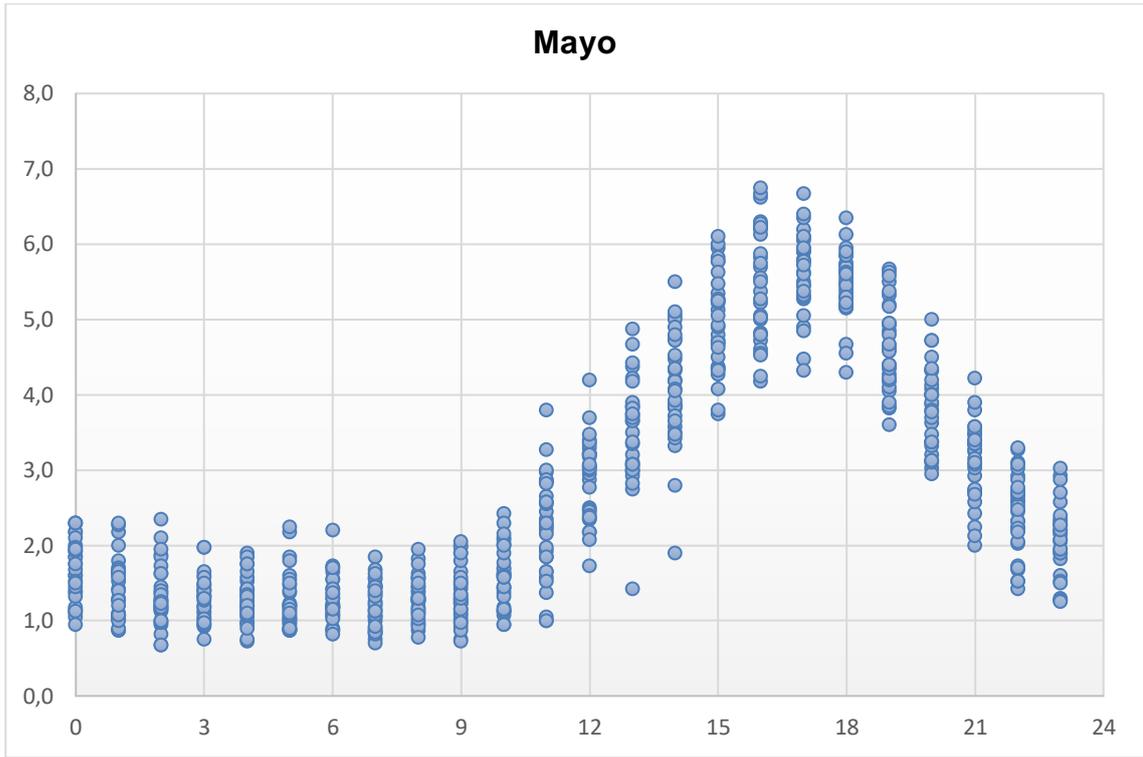
b. Velocidad del viento

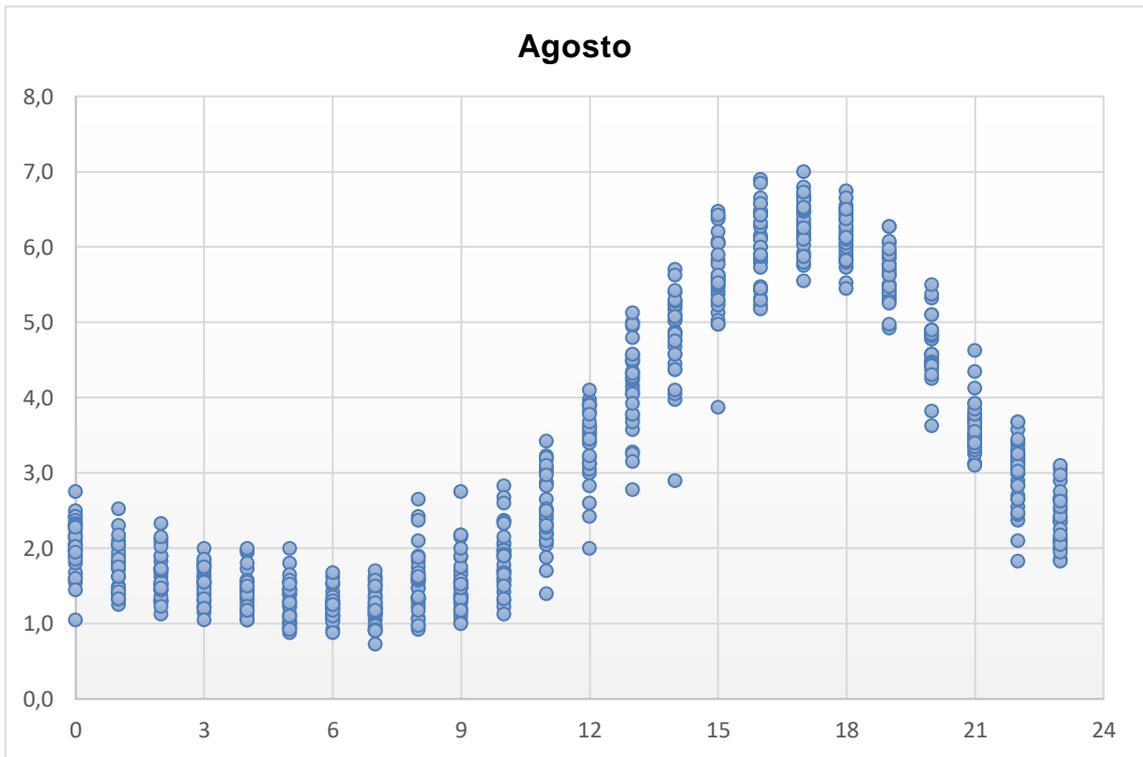
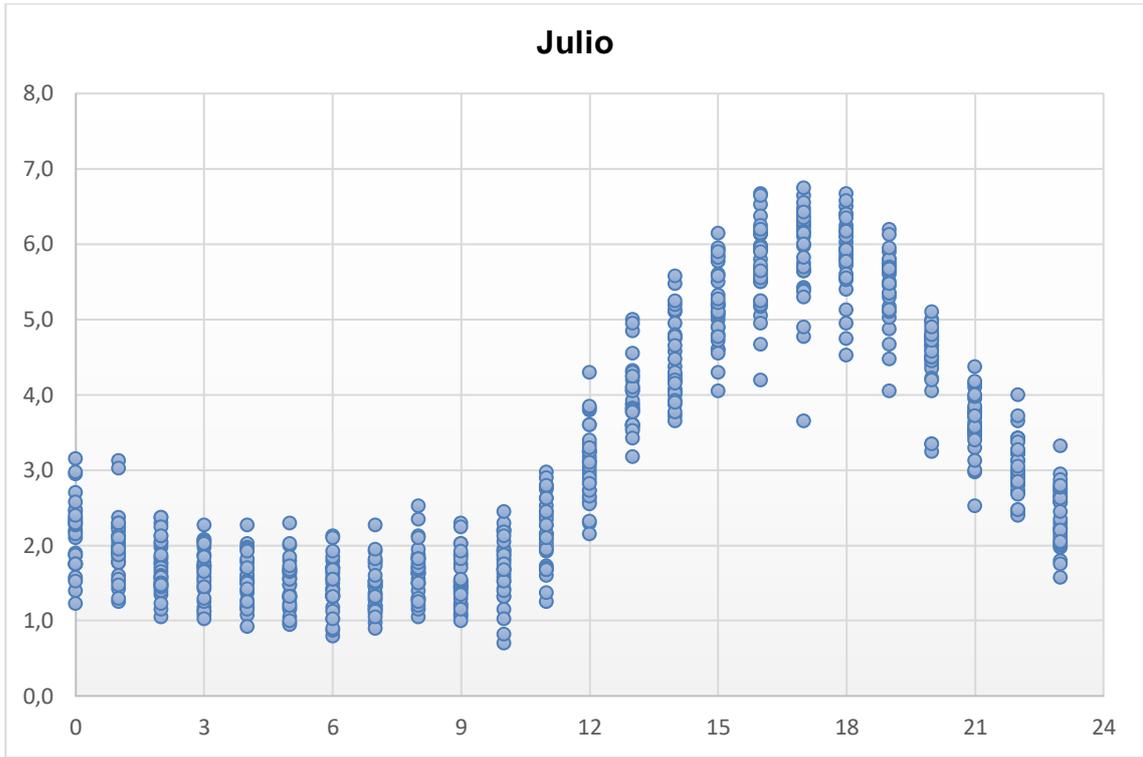
Variaciones

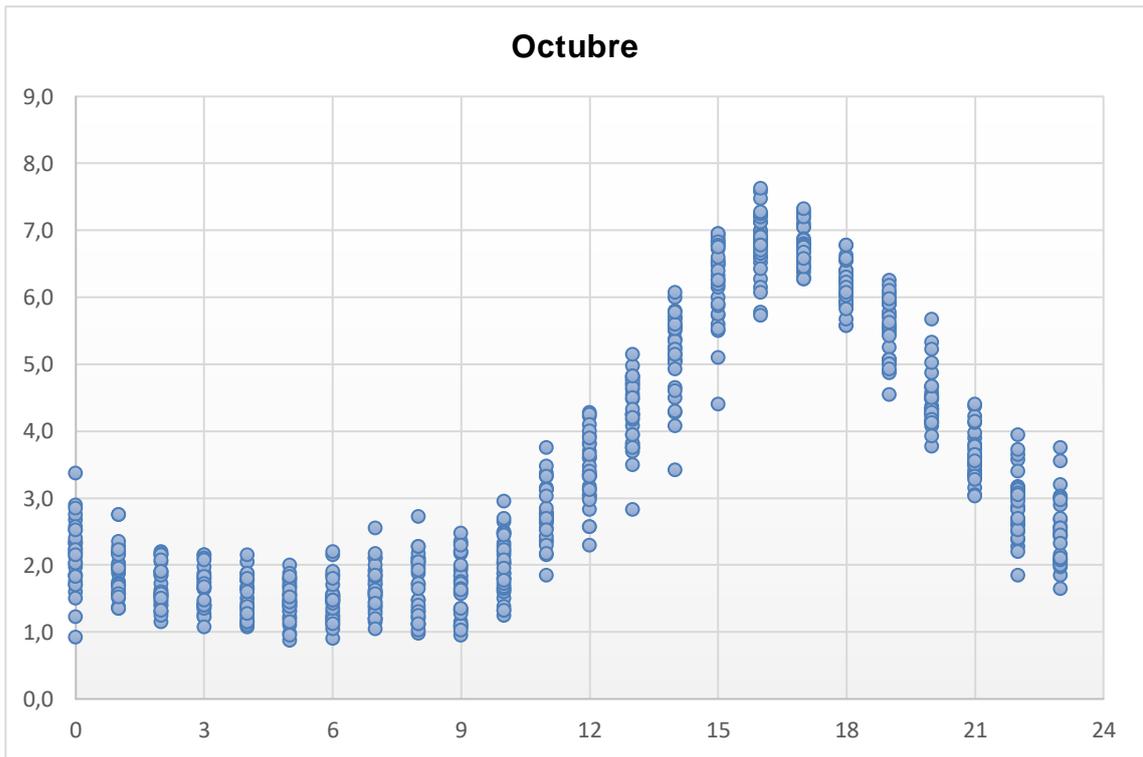
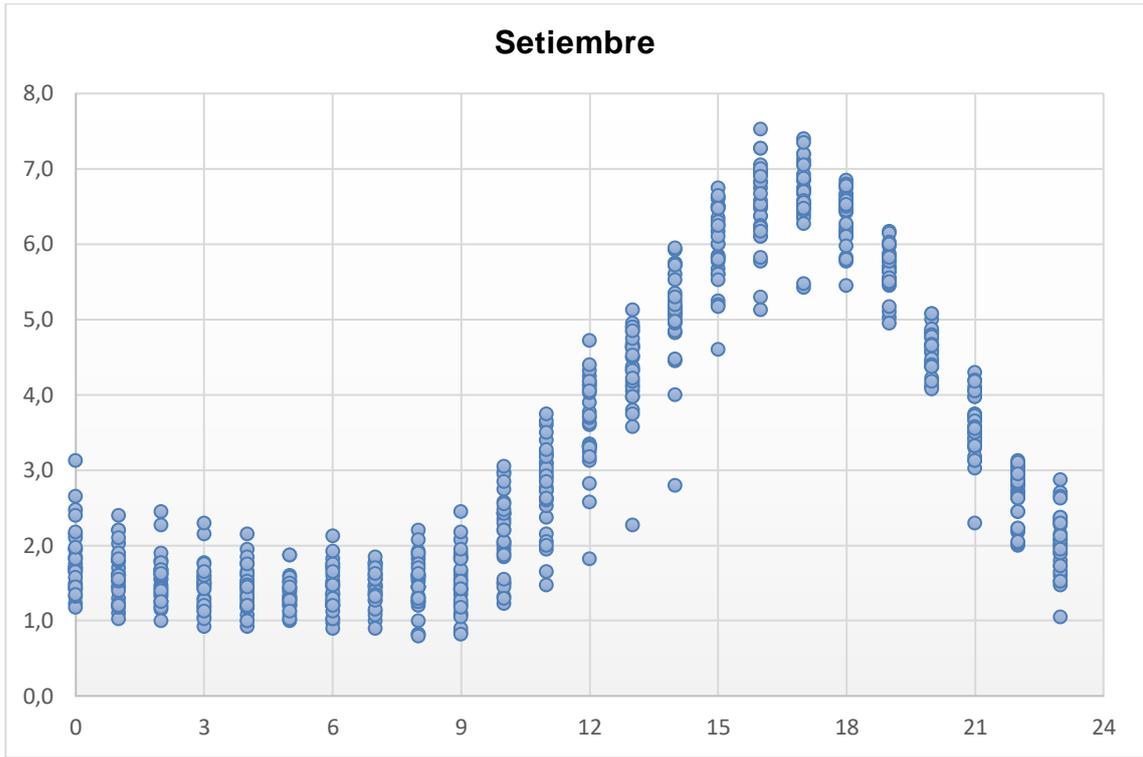
En el “año tipo” se ha tenido variación en la velocidad del viento, en la figura 19 se observa de manera mensual la variación del viento por horas del día.

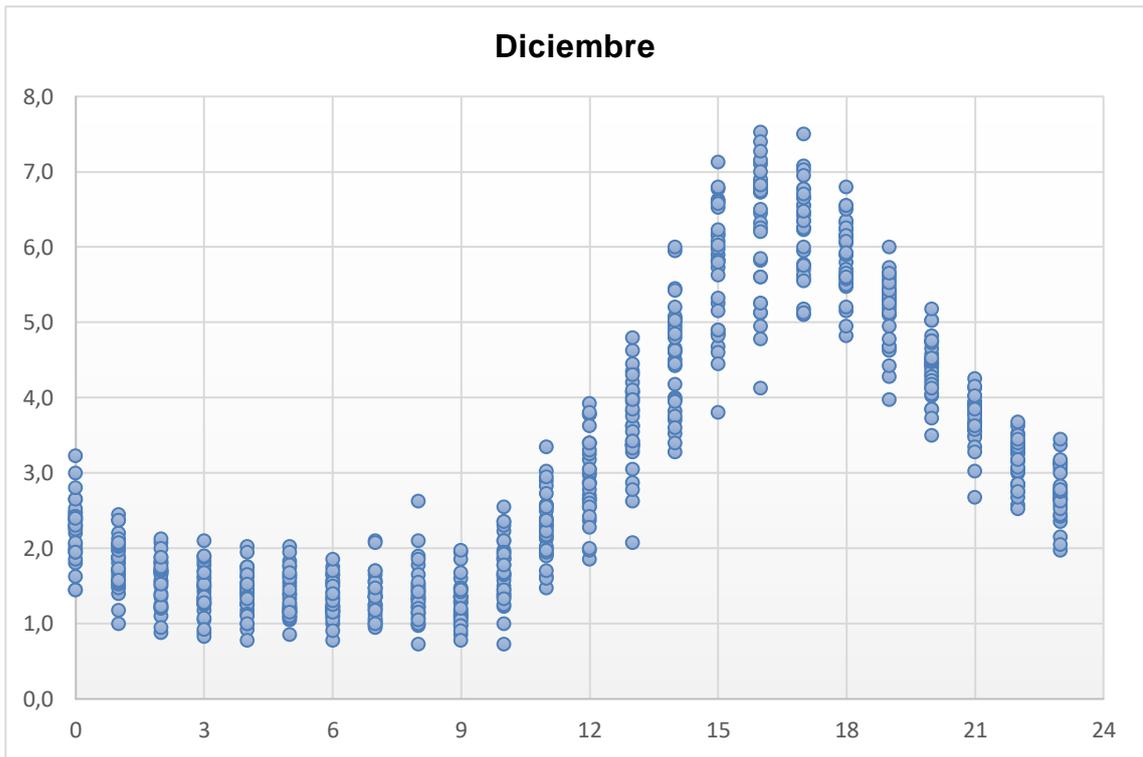
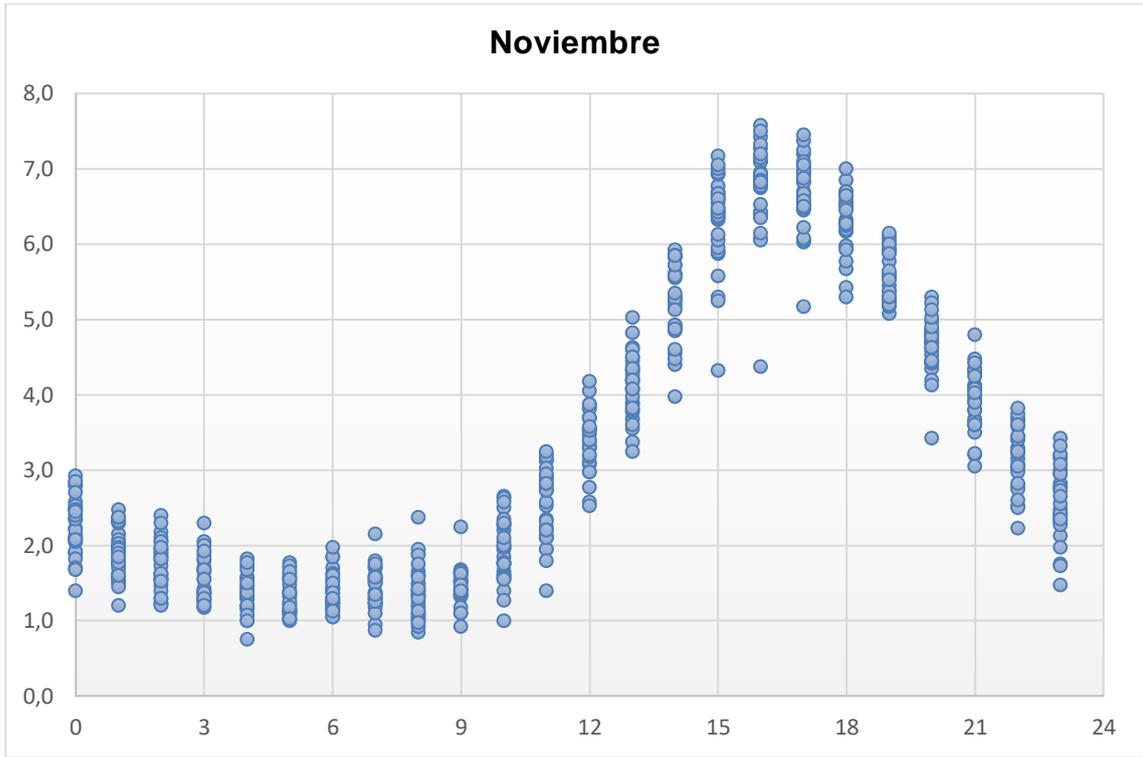












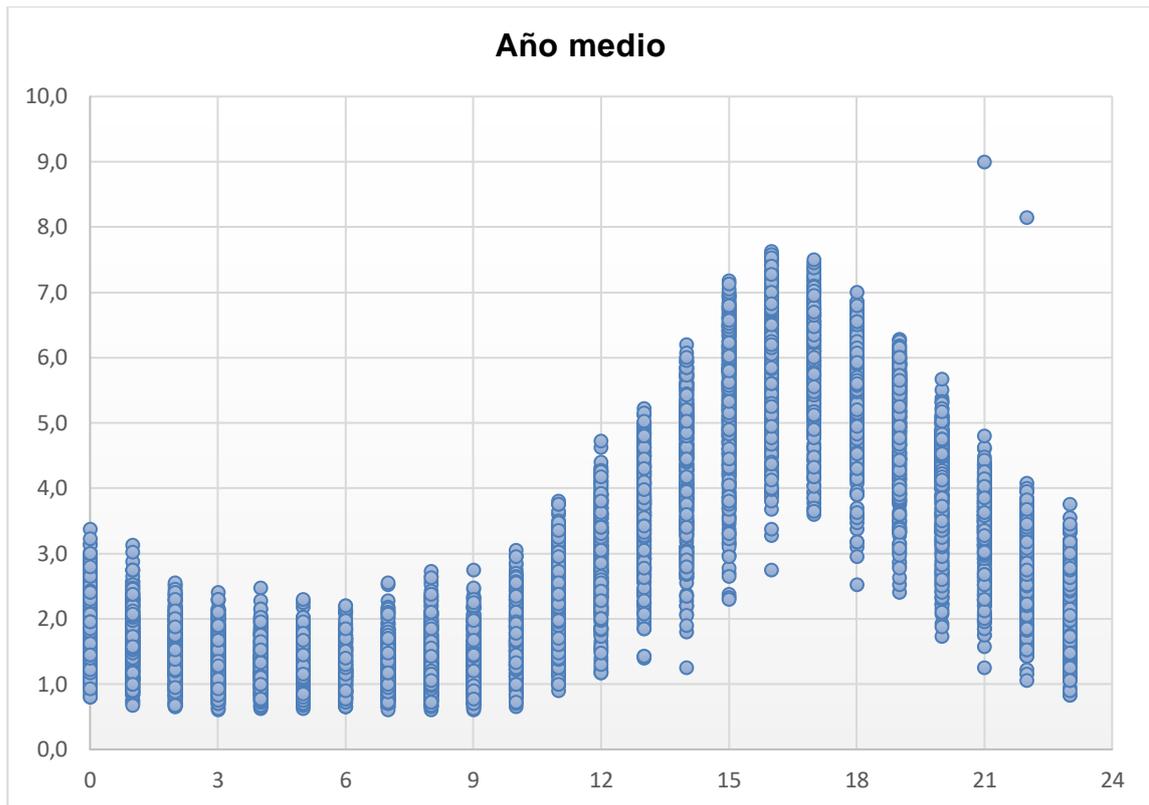


Figura 19. Variaciones del viento por mes y hora.

Fuente: Elaboración propia. Software Microsoft Excel.

En la figura 19 podemos promediar y obtener que en los meses de verano (enero, febrero, marzo) la velocidad del viento es mayor entre las 14:00 y 17:00 horas del día y este tiene una velocidad menor entre las 00:00 y 09:00 horas del día. En otoño (abril, mayo, junio) la velocidad del viento es mayor entre las 14:00 y 17:00 horas del día y es tiene una velocidad menor entre las 00:00 y 09:00 horas del día. En invierno (julio, agosto, setiembre) la velocidad del viento es mayor entre las 14:00 y 18:00 horas del día y es tiene una velocidad menor entre las 00:00 y 08:00 horas del día. En primavera (octubre, noviembre, diciembre) la velocidad del viento es mayor entre las 1:00 y 16:00 horas del día y es tiene una velocidad menor entre las 01:00 y 09:00 horas del día.

Los meses que presentan el viento con mayor velocidad son octubre y noviembre y los meses de marzo y abril presentan el viento con menor velocidad.

Tratamiento estadístico de los datos

En la tabla 3 se muestra el tratamiento estadístico de los datos de la velocidad horaria del viento para el “año tipo” o año promedio de los valores de velocidad y dirección de viento de los últimos 4 años. Se han considerado los siguientes parámetros de centralización:

Frecuencia absoluta (f_i), Frecuencia absoluta acumulada (F_i) (ecuación 1), Frecuencia relativa (f_r) (ecuación 2), Frecuencia Relativa acumulada (F_r) (ecuación 3), Media ($\langle v \rangle$) (ecuación 4), Mediana, Moda (v_m).

Tabla 4. Tratamiento estadístico de los datos del viento de esta investigación.

Datos		Cálculos				Productos		
Intervalo de la clase (m/s)	Centro de la clase	Frecuencia de la clase	Frecuencia Absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada			
	v_i (m/s)	f_i (horas)	F_i	$f_r = n_i/N$	$F_r = F_i/N$	$v_i f_i$	$f_r v_i$	$f_i v_i^2$
$0 \leq v \leq 1.5$	1	2508	2508	0.286	0.286	2508	0.286	0.286
$1.5 < v \leq 2.5$	2	2238	4746	0.255	0.542	4476	0.511	1.022
$2.5 < v \leq 3.5$	3	1209	5955	0.138	0.680	3627	0.414	1.242
$3.5 < v \leq 4.5$	4	924	6879	0.105	0.785	3696	0.422	1.688
$4.5 < v \leq 5.5$	5	831	7710	0.095	0.880	4155	0.474	2.372
$5.5 < v \leq 6.5$	6	774	8484	0.088	0.968	4644	0.530	3.181
$6.5 < v \leq 7.5$	7	269	8753	0.031	0.999	1883	0.215	1.505
$7.5 < v \leq 8.5$	8	6	8759	0.001	1.000	48	0.005	0.044
$8.5 < v \leq 9.5$	9	1	8760	0.000	1.000	9	0.001	0.009
$9.5 < v \leq 10.5$	10	0	8760	0.000	1.000	0	0.000	0.000
Total		8760		1.000		25046	2.859	11.348

Fuente: Elaboración propia.

Considerando la velocidad del viento después de elaborar la tabla de frecuencias se han obtenido los siguientes resultados:

Media: El valor promedio del viento en el año tipo es de 2.9 m/s, este dato han sido utilizado para realizar los cálculos energéticos del aerogenerador.

Valor máximo: 9.0

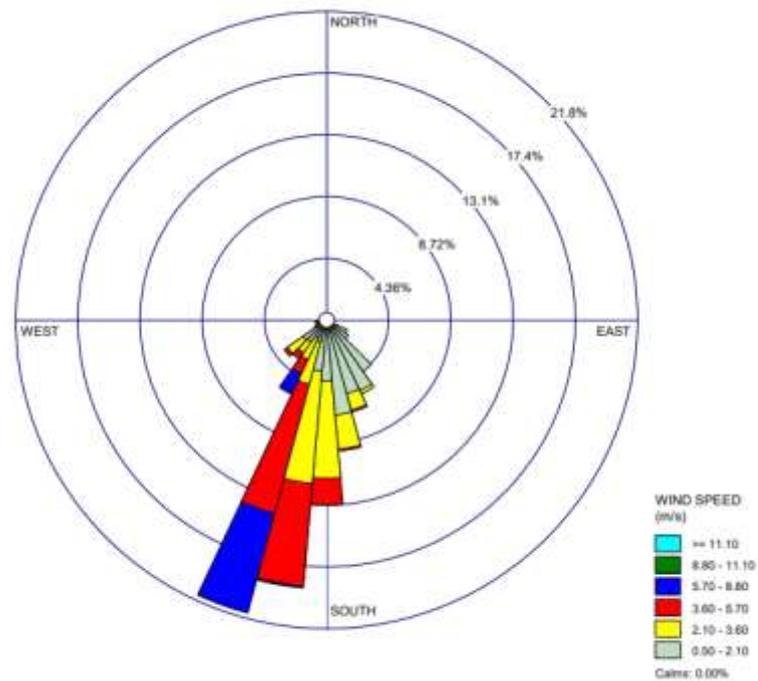
Valor mínimo: 0.6

c. Dirección del viento

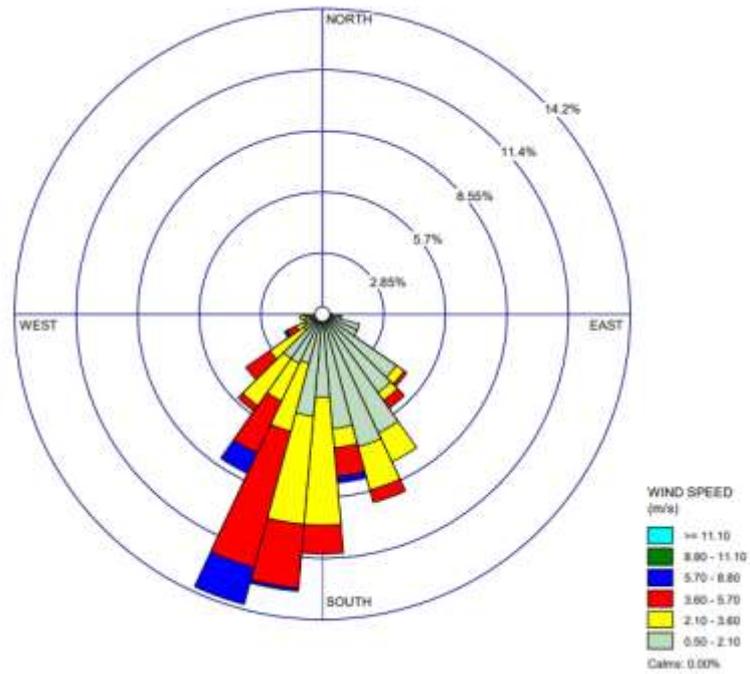
La dirección del viento permitirá determinar la ubicación que va a tener el aerogenerador para aprovechar la dirección del viento en velocidad y sobre todo para

establecerlo en una ubicación que permita la protección del aerogenerador.

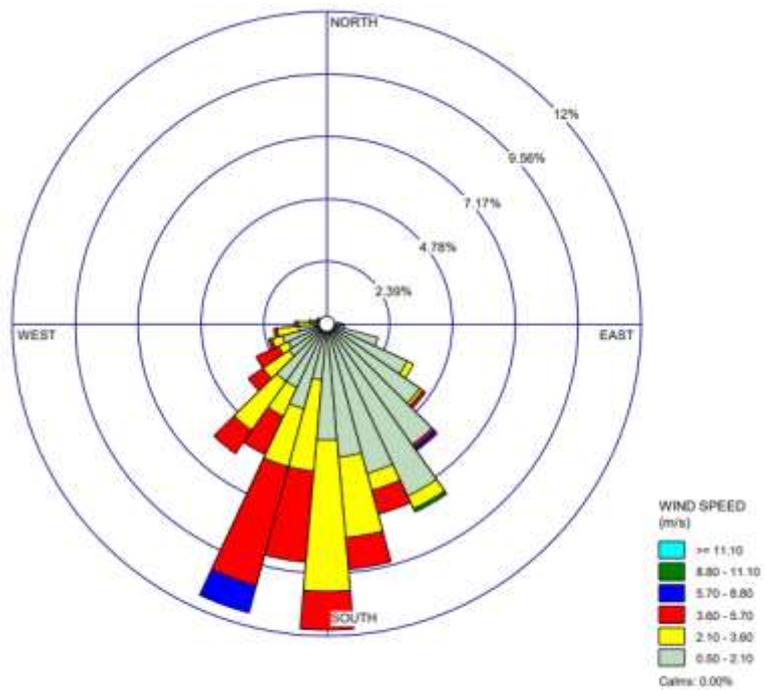
Los datos analizados se han representado utilizando la gráfica “rosa de los vientos”, esta gráfica permite representar las diferentes direcciones y velocidades del viento en un tiempo determinado. Para realizar estas graficas se ha empleado el programa WRPlot View (citar). En las figuras siguientes podemos ver los datos del viento.



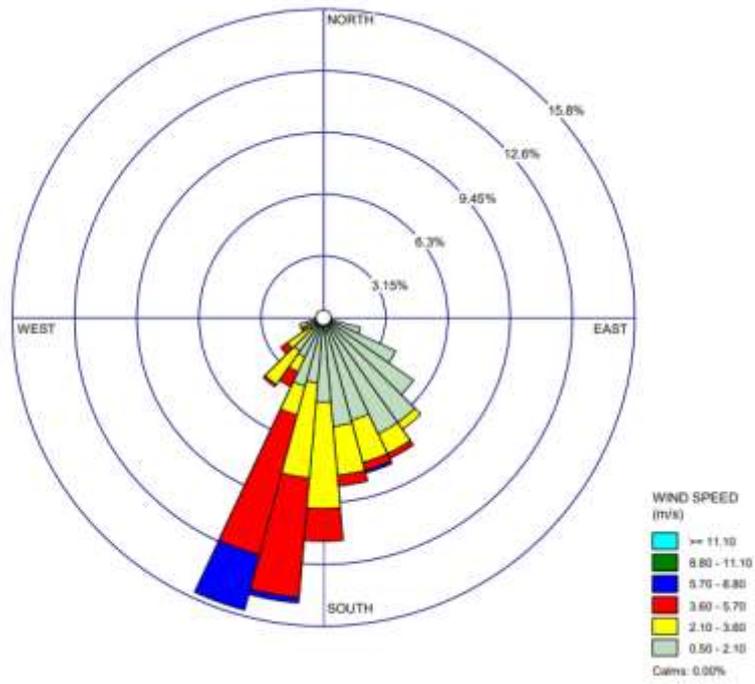
Enero



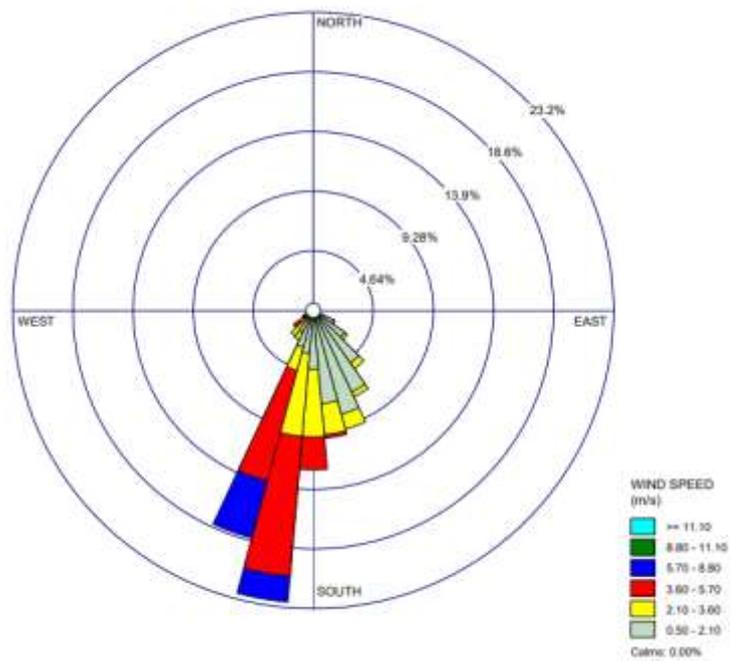
Febrero



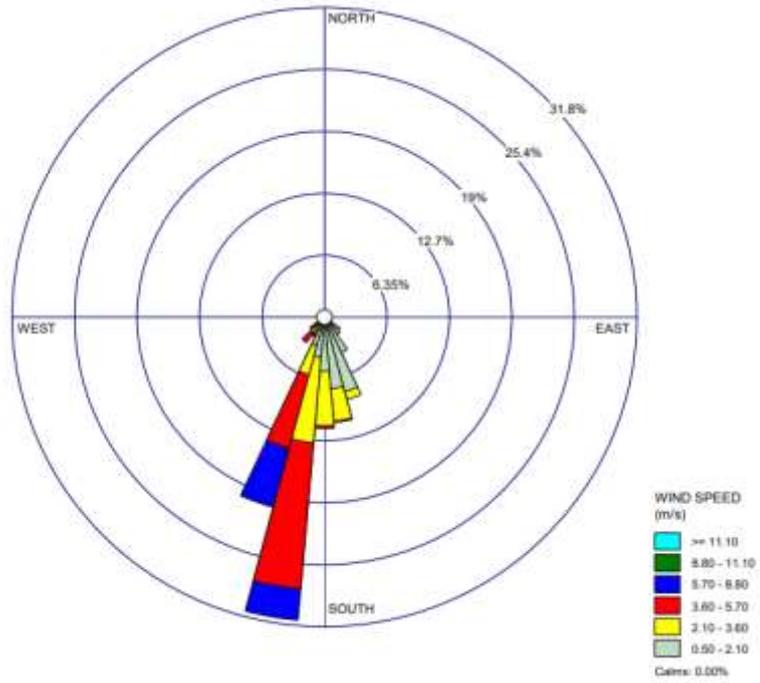
Marzo



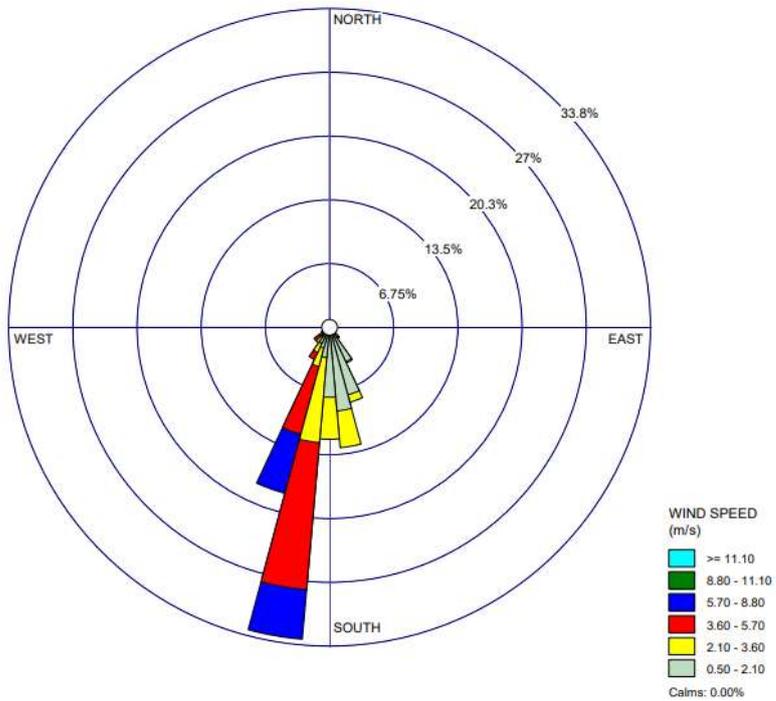
Abril



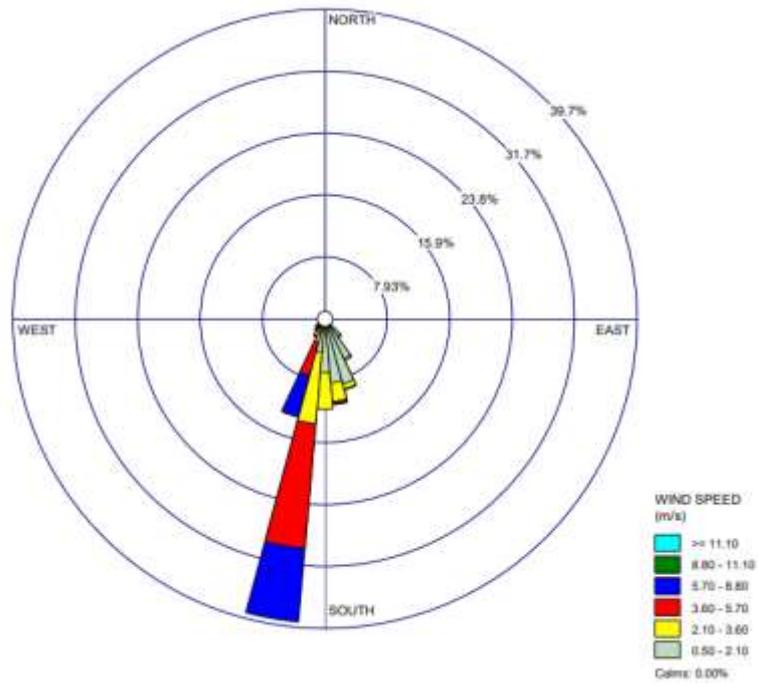
Mayo



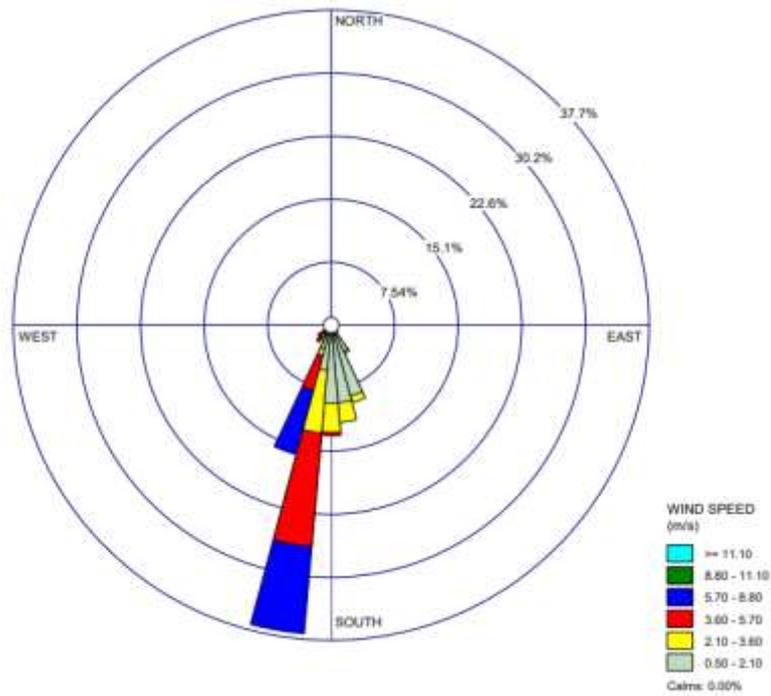
Junio



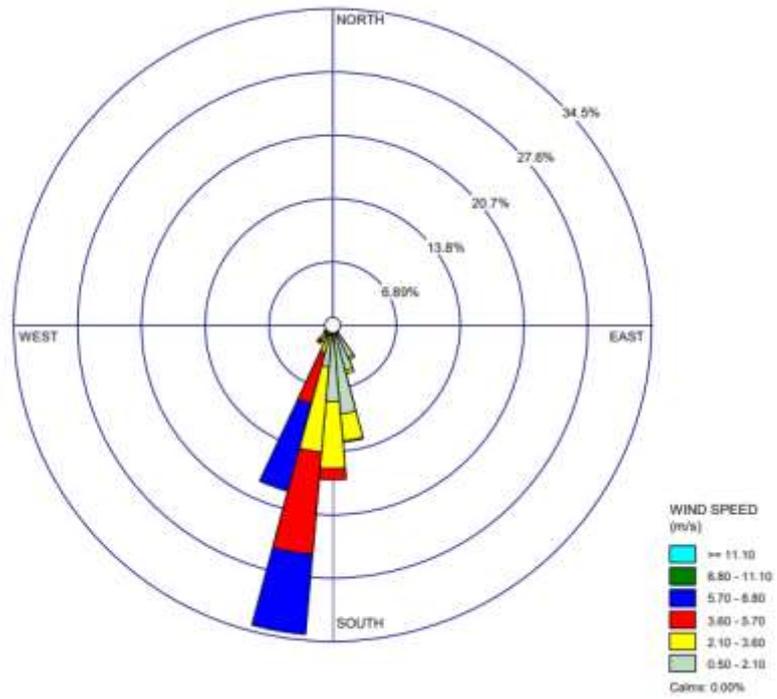
Julio



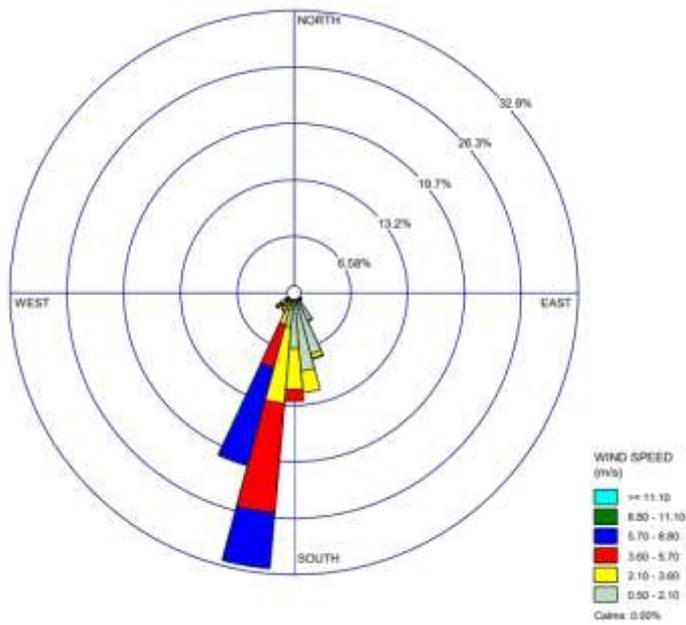
Agosto



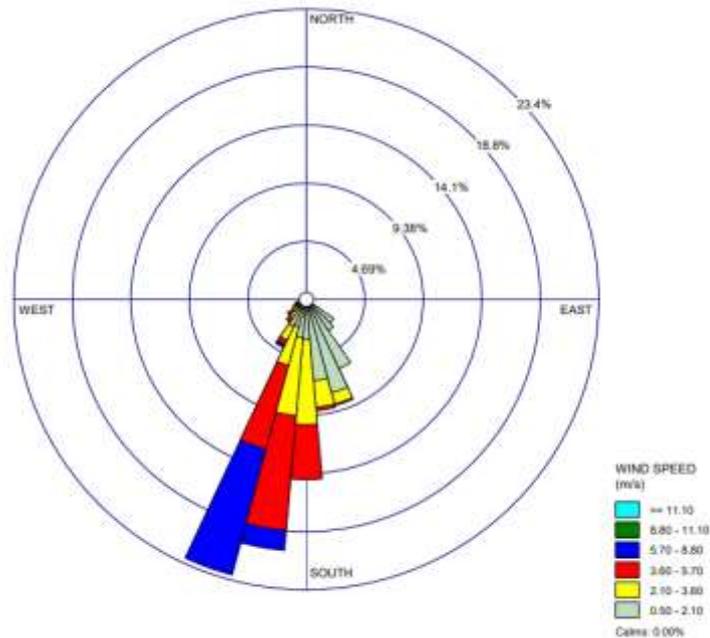
Setiembre



Octubre



Noviembre



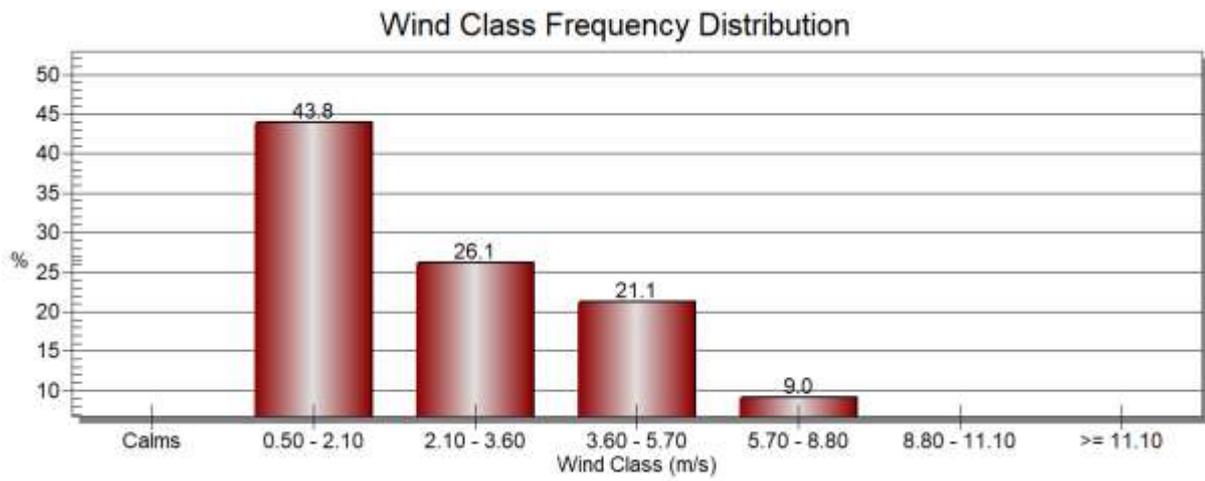
Diciembre

Figura 20. Rosa de los vientos por mes.

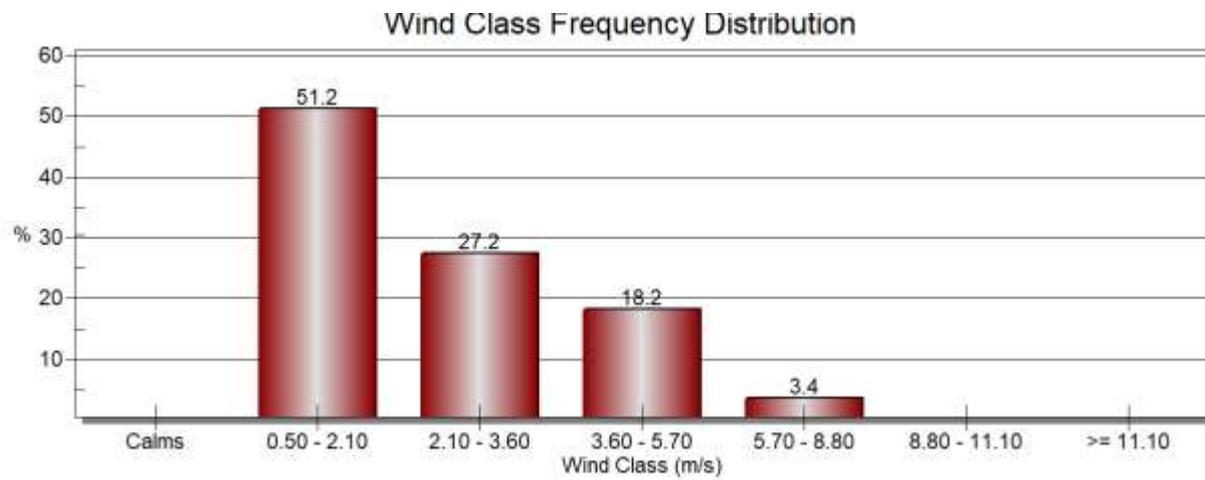
Fuente: Elaboración propia. Software WRPlot.

A partir de los gráficos anteriores, se puede concluir que durante los meses de verano (enero, febrero, marzo), la dirección predominante del viento es suroeste, con presencia ocasional de vientos en dirección sureste. En otoño (abril, mayo, junio), también se observa una dirección predominante suroeste con vientos en dirección sureste. En invierno (julio, agosto, septiembre), la dirección predominante del viento es suroeste, mientras que en primavera (octubre, noviembre, diciembre), nuevamente se registra una dirección predominante suroeste.

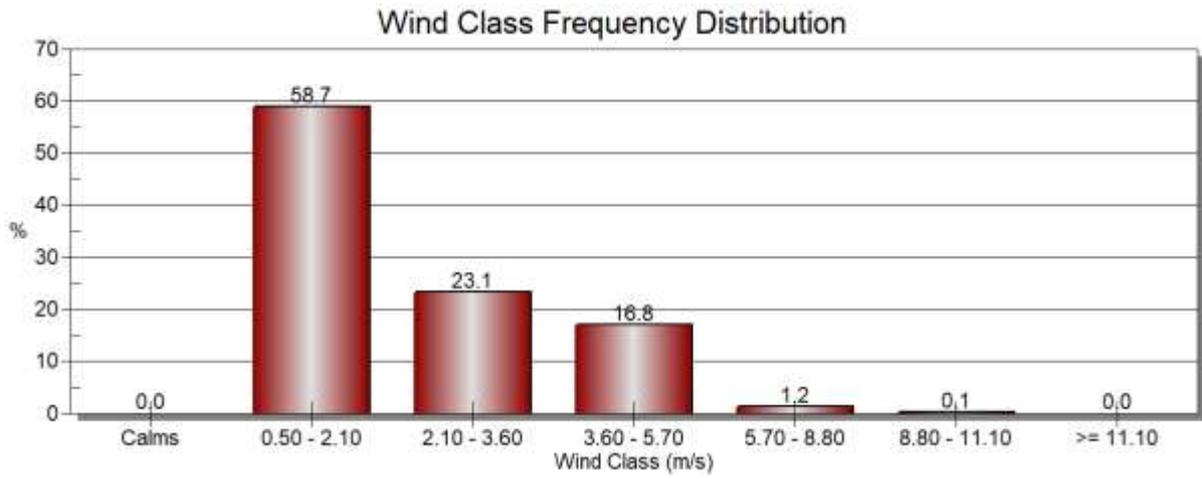
Se puede observar que hay poca variabilidad en la dirección del viento a lo largo del año, prevaleciendo la dirección suroeste en todas las estaciones. Además, en la figura 21 se muestra la distribución de frecuencia de la velocidad del viento, lo que permite determinar la velocidad predominante en un determinado periodo de tiempo.



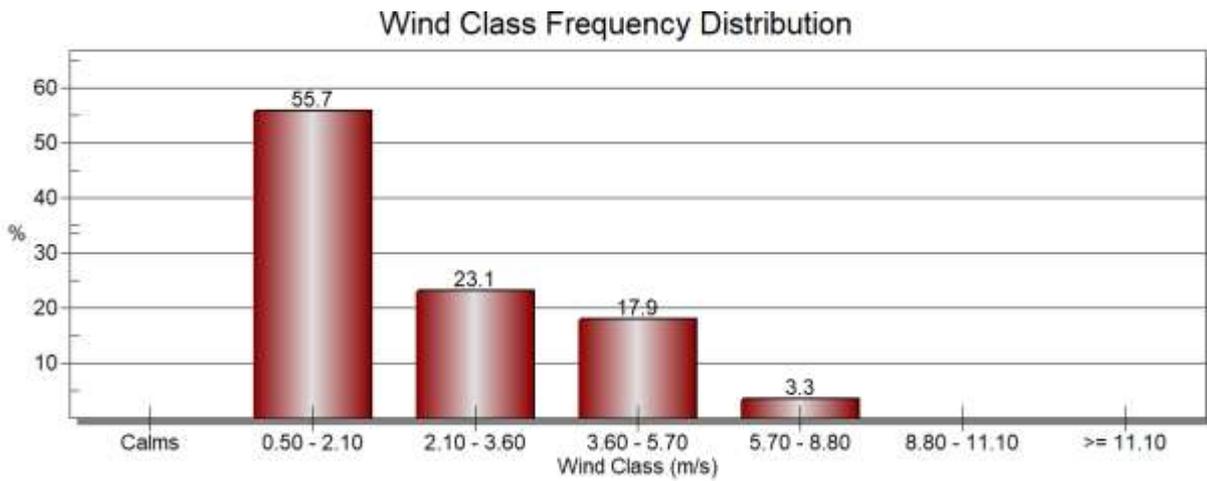
Enero 2.8 m/s



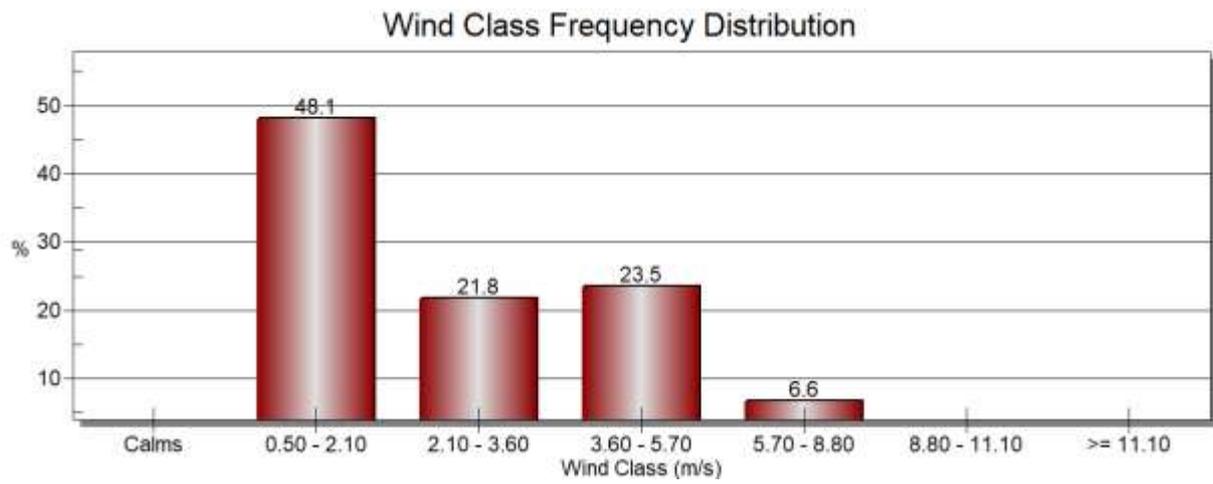
Febrero 2.43 m/s



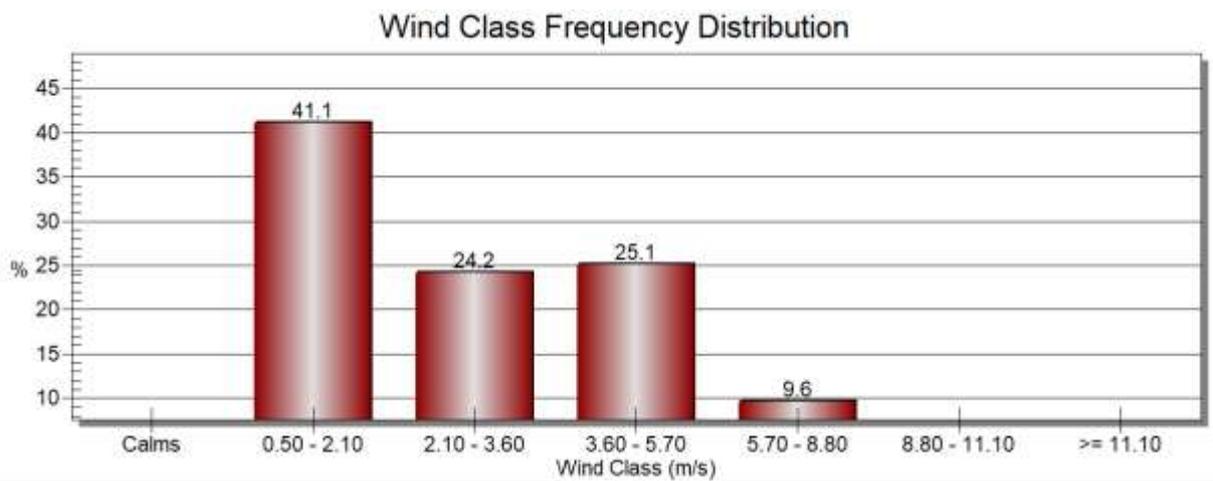
Marzo 2.15 m/s



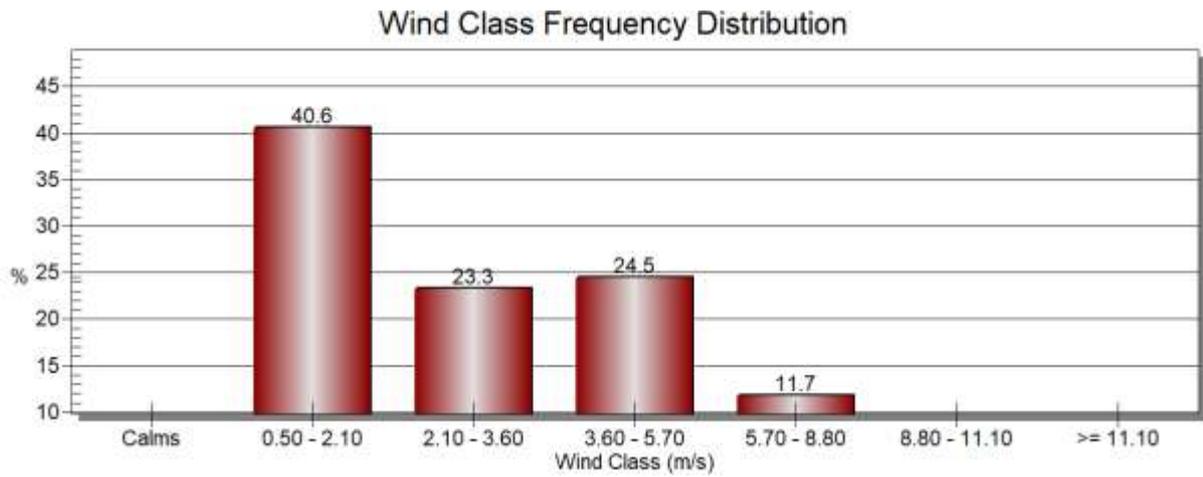
Abril 2.30 m/s



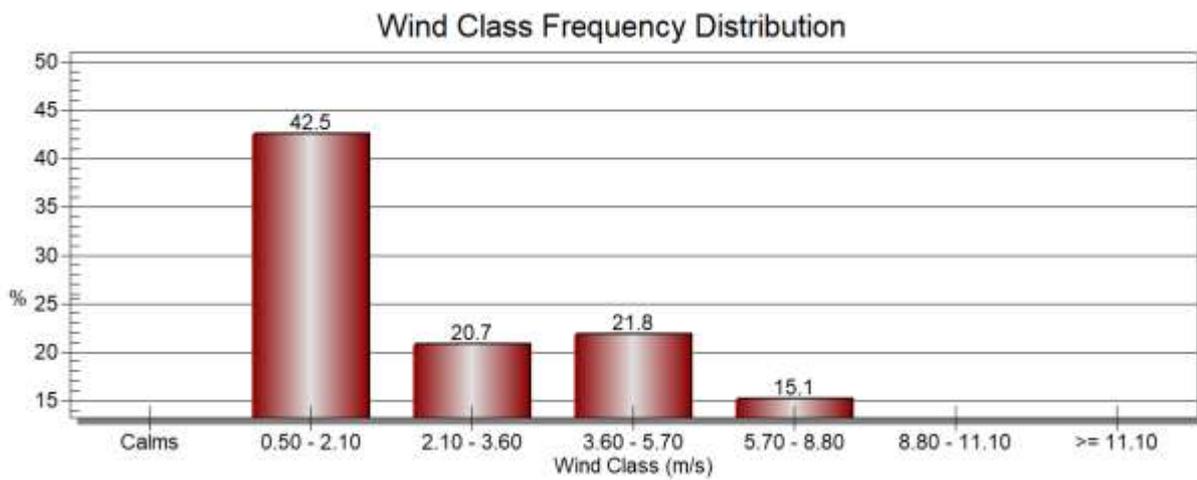
Mayo 2.73 m/s



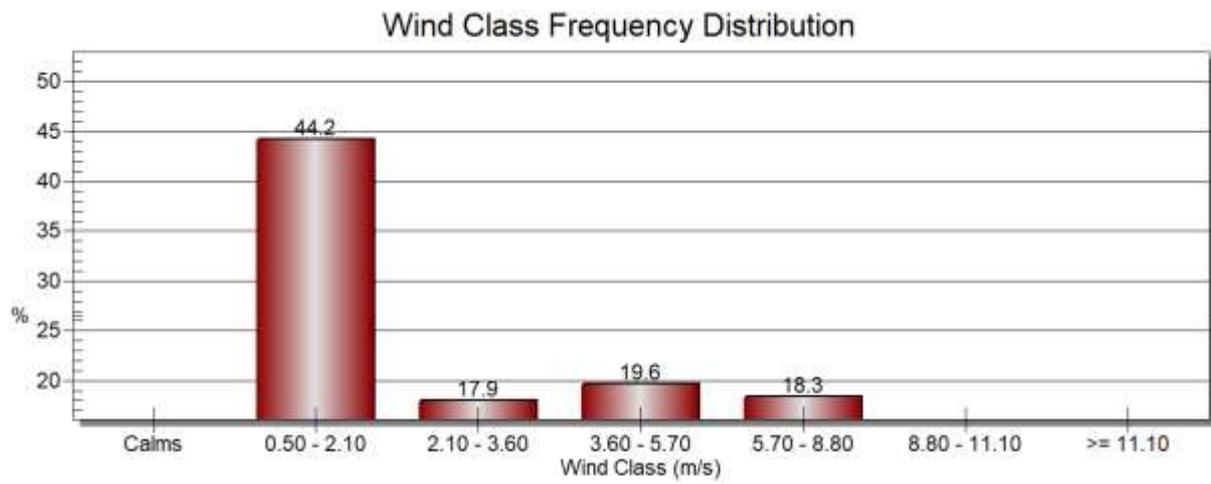
Junio 3.03 m/s



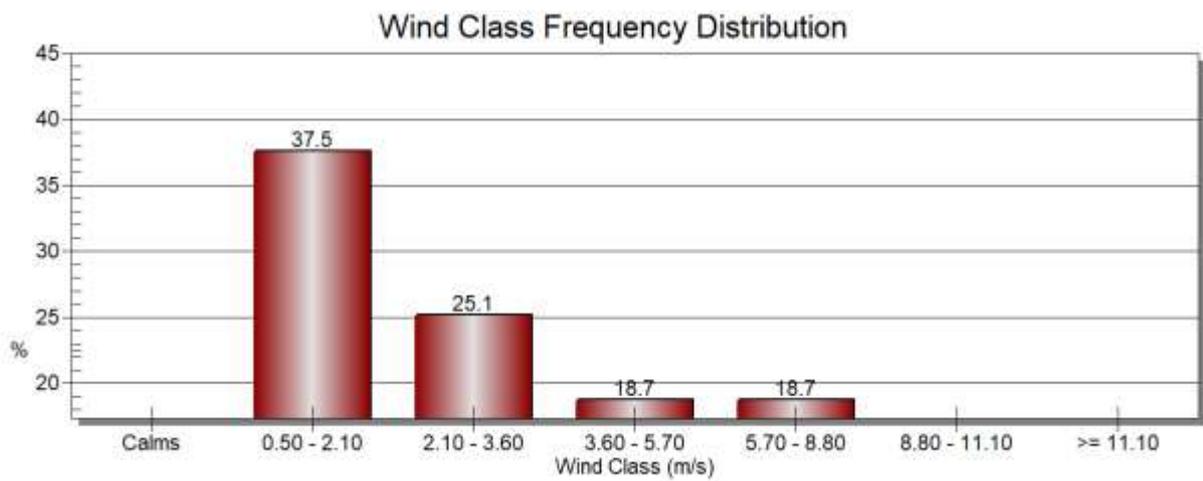
Julio 3.07 m/s



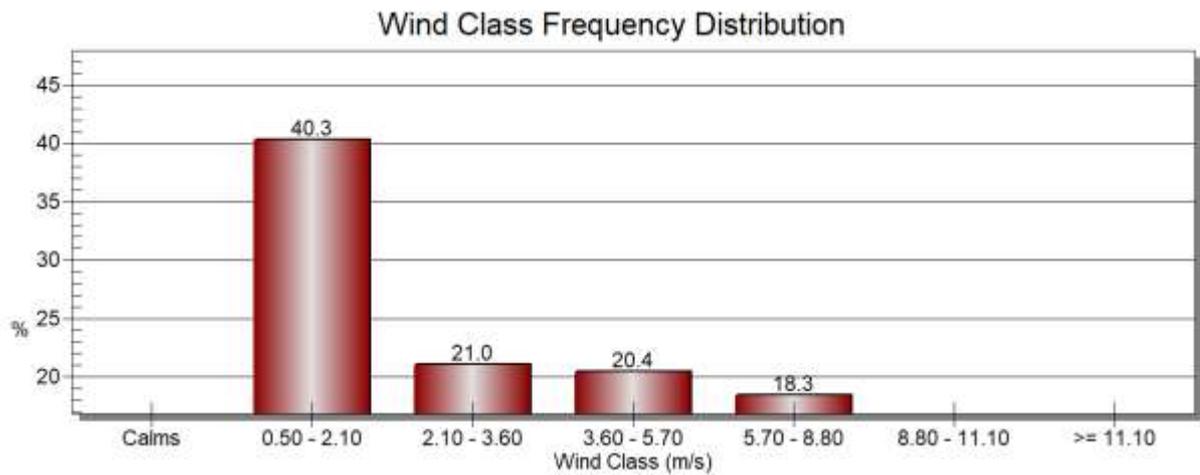
Agosto 3.15 m/s



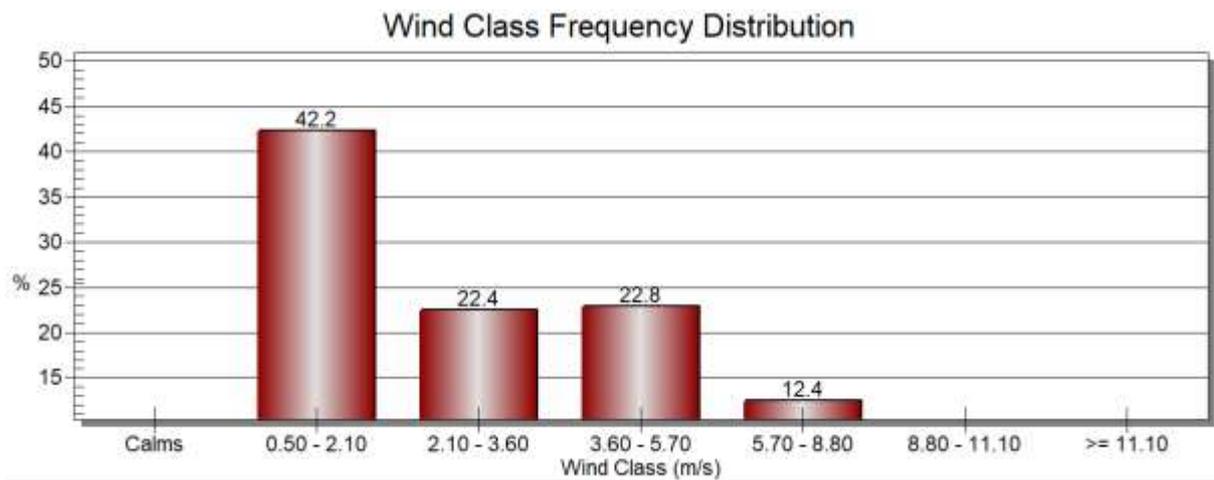
Setiembre 3.22 m/s



Octubre 3.31 m/s



Noviembre 3.30 m/s



Diciembre 3.07 m/s

Figura 21. Frecuencias de la velocidad del viento por mes.

Fuente: Elaboración propia. Software WRPlot.

Después de analizar el gráfico anterior se puede determinar que la velocidad promedio anual del viento es de 3.0 m/s, en los meses de verano (enero, febrero, marzo) el viento tiene una velocidad promedio de 2.5 m/s, la mayor frecuencia de la velocidad del viento se encuentre entre 0.5 y 3.6. En otoño (abril, mayo, junio) el viento tiene una velocidad promedio

de 2.7 m/s, la mayor frecuencia de la velocidad del viento se encuentre entre 0.5 y 3.6. En invierno (julio, agosto, setiembre) el viento tiene una velocidad promedio de 3.15 m/s, la mayor frecuencia de la velocidad del viento se encuentre entre 0.5 y 3.6. En primavera (octubre, noviembre, diciembre) el viento tiene una velocidad promedio de 3.23 m/s, la mayor frecuencia de la velocidad del viento se encuentre entre 0.5 y 3.6. En la estación de primavera se observa una mayor velocidad de viento.

Diseño de los componentes del aerogenerador de eje horizontal y la bomba de extracción del agua del subsuelo.

Los planos de cada uno de los componentes del aerogenerador lo podemos ver a detalle en el anexo 4.

Para fortalecer la investigación ha sido necesario el análisis de diversos factores como:

a. Potencia del viento

El cálculo de la potencia del viento se resuelve utilizando la ecuación 6.

Desarrollo

$$P_{eólica} = c_p \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \right) \quad (6)$$

Donde:

c_p = coeficiente de potencia limite de betz, 0.5926.

ρ = densidad del viento, $1.24 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ a 12°C .

A = area del rotor en m^2 .

v = velocidad del viento en m/s

Tabla 5. Diámetro – N.º de palas

Diámetro	N.º de palas	N.º de sectores
-----------------	---------------------	------------------------

2	15	5
3	18-16	6-4
4	21-20	7-5
5	24	8
6	27	9

Fuente: Riva [30]

Teniendo los valores de entrada de 3m como diámetro del rotor y 2.9m/s de velocidad del viento, se obtiene la siguiente potencia (ecuación 7):

$$P_{eólica} = 63.34 \text{ W/m}^2 \quad (7)$$

b. Velocidad de giro del rotor

La velocidad del giro del rotor se obtiene utilizando la ecuación 8.

$$N = \frac{60 \cdot \lambda_0 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (8)$$

Donde:

$\lambda_0 =$ Coeficiente de velocidad, 1

$v =$ velocidad del viento, 2.9m/s

$D =$ diametro del rotor, 3m

Con los siguientes valores se obtiene la velocidad del rotor de:

$$N = 18.46 \text{ rpm} \approx 1.93 \text{ rad/s}$$

c. Potencia de molino

La potencia del molino se obtiene dividiendo la potencia eólica entre el coeficiente de potencia límite de betz (ecuación 9).

$$P = \frac{63.34}{c_p} = 93.52 \text{ W} \quad (9)$$

d. Determinación de la bomba

Teniendo los datos de diámetro de rotor, 3m equivalente a 6 feet y una altura de bombeo de 8m utilizamos la siguiente tabla.

Tabla 6. Capacidades de bomba.

DIAMETRO DEL CUERPO DE UNA BOMBA	CAPACIDAD DE BOMBEO		Altura en metros a que puede elevarse el agua					
	EN LITROS POR HORA		TAMAÑO DEL MOLINO DE VIENTO					
	6	8 -16	6 m	8 m	10 m	12 m	14 m	16 m
2 ¼	680	1000	23	34	52	77	110	180
2 ½	850	1230	20	29	43	65	92	150
2 ¾	1000	1460	17	25	37	55	80	130
3	1200	1780	14	21	31	47	67	110
3 ¼	.....	2075	.....	.....	27	40	57	93
3 ½	1670	2420	11	15	23	35	49	82
3 ¾	.....	2750	.....	.....	20	30	44	70
4	2150	3150	8	11	18	26	38	61
4 ½	2750	4000	7	9	14	21	30	49
5	3400	4900	5	8	11	17	24	40
6	.....	7100	.....	5	8	11	17	28

Fuente: Enciso y Mecke [31]

e. Caudal de bombeo

El cálculo del caudal se realiza utilizando la ecuación 10.

$$Q = \frac{w \cdot D_p^2 \cdot S}{8} = 0.0007858 \text{ m}^3/\text{s} \quad (10)$$

Donde:

$Q = \text{Caudal de bombeo, m}^3/\text{s}$

$D_p = \text{Diámetro de piston, m}$

$S = \text{Carrera de piston, m}$

$w = \text{Velocidad angular, rad/s}$

f. Potencia hidráulica de la bomba

La potencia hidráulica de la bomba con una eficiencia del 70%, se calcula con la ecuación 11.

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{n_p} = 87.84W \quad (11)$$

Donde:

$P =$ Potencia hidraulica de bomba, W

$\rho =$ densidad del agua, $997 \frac{kg}{m^3}$

$g =$ gravedad, m/s^2

$Q =$ Caudal de agua, m^3/s

$H =$ Altura, $8m$

$n_p =$ Rendimiento de bomba

g. Cálculo de alabes

Para poder realizar el cálculo de los albes, se ha escogido el material para el diseño y construcción de los alabes del molino de viento que será acero galvanizado.

En la siguiente imagen se aprecia la potencia aportada por el rotor con relación al radio y eje del rotor.

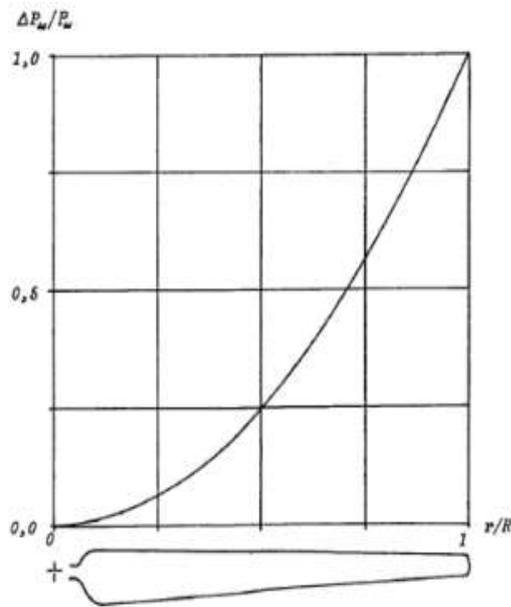


Figura 22. Potencia del rotor - radio y eje del rotor
Fuente: Riva [30]

La imagen muestra la Potencia total de alabe del eje, hasta la parte externa del alabe que está en función a esa curva, Eso quiere decir que la mayor potencia sacada del alabe se encuentra en la parte superior, mientras más te encuentras en el centro puedes sacar menos potencia, debido a que hay menos punto de palanca y hay menos velocidad tangencial.

Perfil del Alabe

Tras realizar una comparativa entre las curvas polares de varios perfiles alabeados, se pudo identificar y emplear el perfil CP-120-050-GN debido a su alta relación CL/CD.

Cambered plate C=12% T=5% R=1.1 - HAWT pipe blade with coordinates based on top surface. Camber=12% Wall thickness=5% Radius=1.102

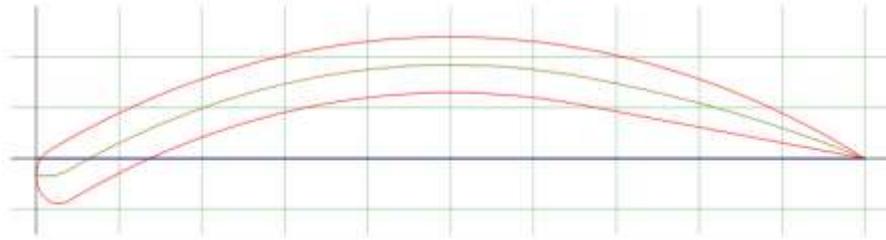


Figura 23. Perfil CP-120-050-GN.
Fuente: Airfoil Tools.

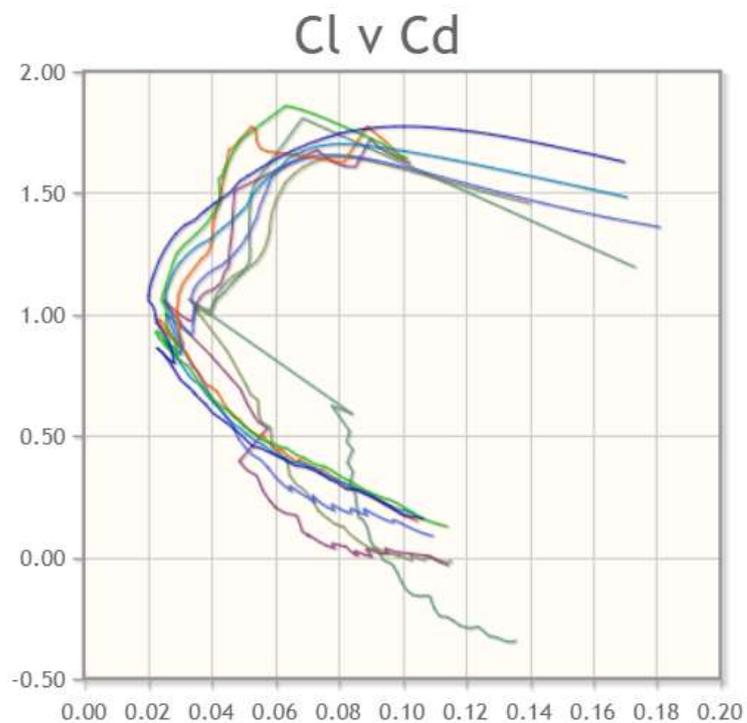


Figura 24. CL/CD de perfil CP-120-050-GN
Fuente: Airfoil Tools.

La figura muestra la relación que existe entre el coeficiente de arrastre y el coeficiente de sustentación, esto se obtiene de laboratorio de túneles de viento.

El valor de coeficiente de sustentación se obtiene de la siguiente Figura.

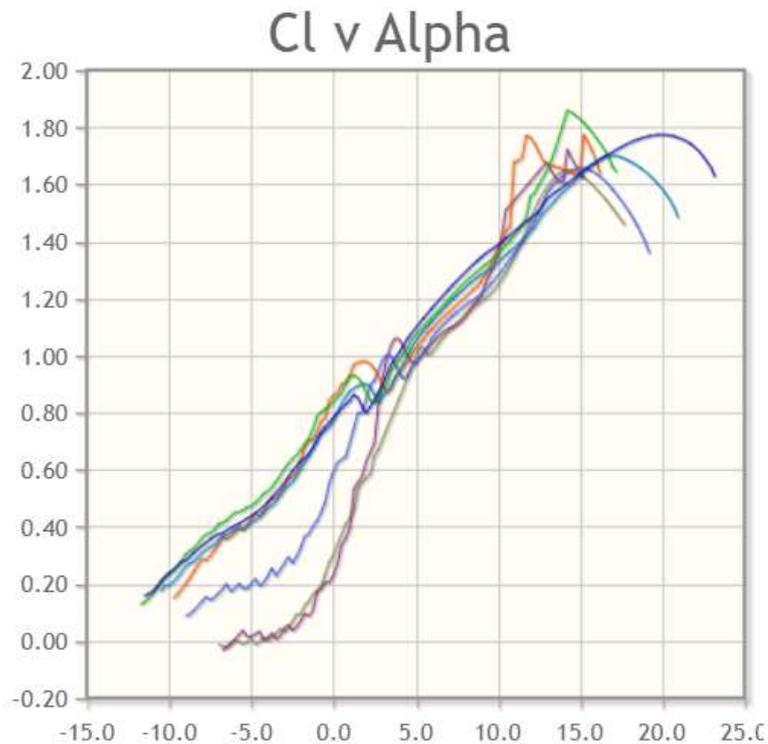


Figura 25. Cl/α de perfil CP-120-050-GN
Fuente: Airfoil Tools.

La figura 25 muestra la relación que existe entre el ángulo de ataque (6.0) y el coeficiente de sustentación (0.9). En el anexo 2 podemos ver el archivo que se ha utilizado para el diseño del alabe.

h. Cálculo de Speed Ratio (SR)

El SR es una relación de velocidad, relación comprendida entre la velocidad periférica y la velocidad del viento a un radio determinado. Para realizar el diseño de un proyecto eólico se pretende que exista un valor mayor de la velocidad periférica con respecto a la velocidad del viento. El SR se calcula considerando que $k=1$, (k es un valor constante de ajuste de unidades considerando a la velocidad en “m/s” y al radio en “m”) (ecuación 12).

$$SR = \frac{2\pi \cdot r \cdot N}{60 \cdot k \cdot v} \quad (12)$$

Donde:

$r =$ Radio de alabe, m

$N = \text{Velocidad angular, rpm}$

$v = \text{Velocidad del viento, m/s}$

Cálculo de la velocidad periférica del viento sobre el álabe

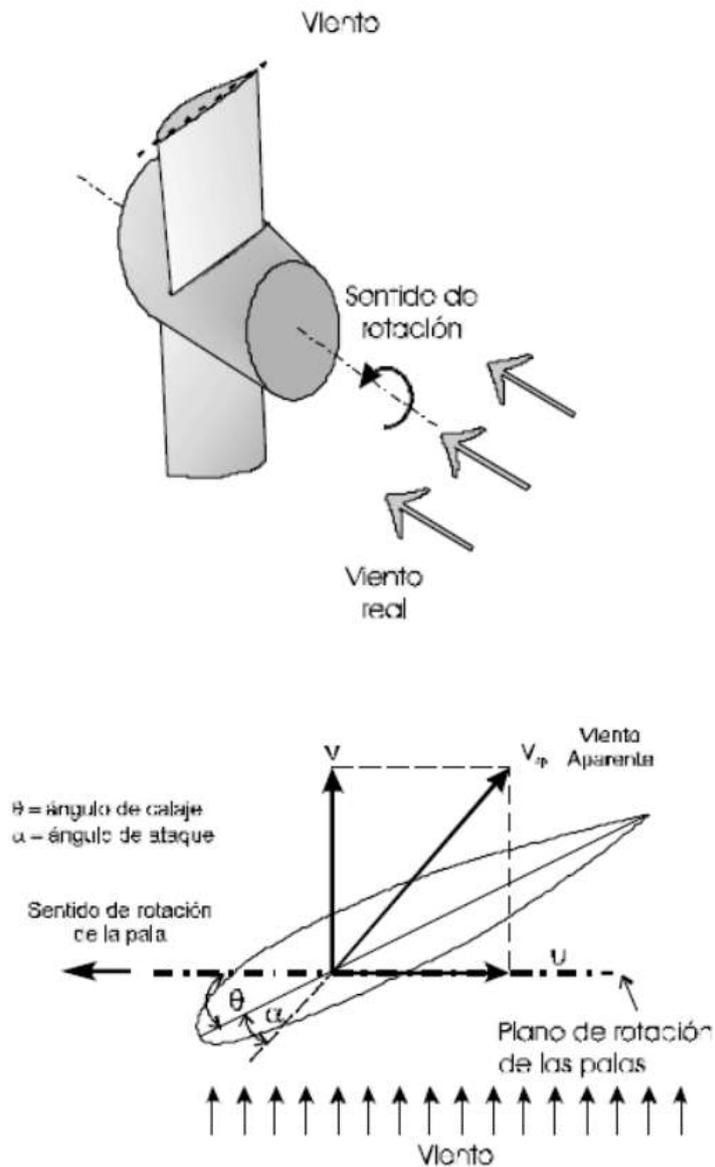


Figura 26. velocidad periférica del viento.

Fuente: Airfoil Tools.

La figura muestra la velocidad del viento que se divide en una, dirección rotacional y otra que va colineal al ángulo de ataque del álabe (la velocidad aparente). Utilizando la ecuación 13 podemos obtener el valor de la velocidad del viento de rotación (U).

$$\vec{U} = \frac{\pi \cdot r \cdot N}{30} \quad (13)$$

Donde:

$r =$ Radio de alabe, m

$N =$ Velocidad angular, rpm

De acuerdo al triángulo de velocidades y utilizando la ecuación 14 podemos calcular la velocidad del viento aparente (C).

$$\vec{C} = \sqrt{\vec{U}^2 + V^2} \quad (14)$$

Donde:

$U =$ Velocidad del viento de rotacion, m/s

$C =$ Velocidad del viento aparente, m/s

$V =$ Velocidad real del viento, m/s

i. Cálculo de ángulos del perfil

El cálculo del ángulo de calaje se realiza mediante la ecuación 15, en función al factor de forma SR.

$$\theta = \frac{2}{3} \tan^{-1}\left(\frac{1}{SR}\right) \quad (15)$$

En la siguiente imagen se aprecia los ángulos que intervienen en el funcionamiento dinámico del alabe.

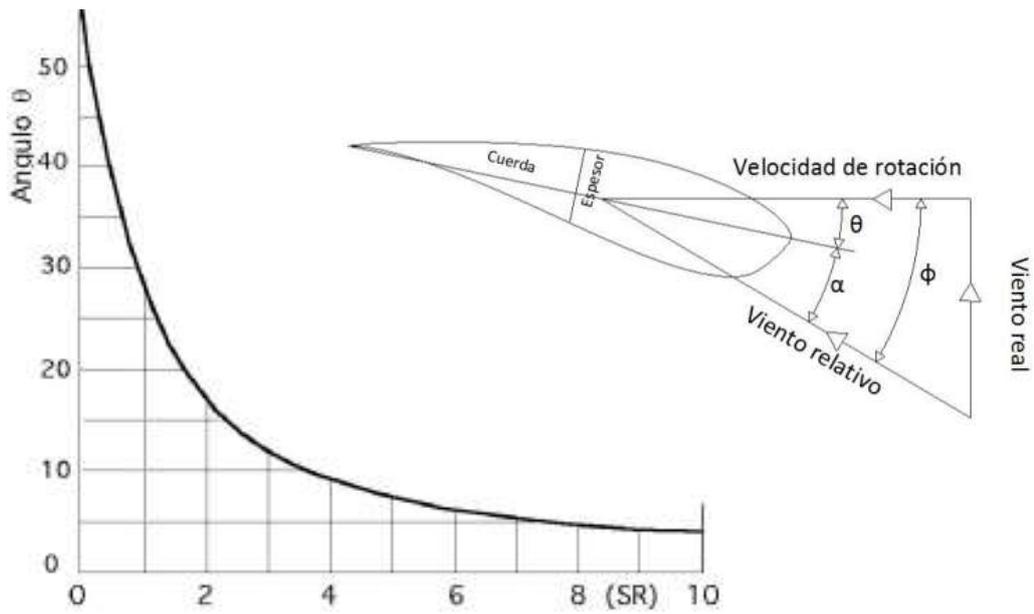


Figura 27. Valor del ángulo de calaje en función a SR.
Fuente: Airfoil Tools.

En la figura se muestra la relación que existe entre la velocidad del viento y la velocidad aparente del viento, existe una relación entre esta, en función al ángulo que viene hacer el SR.

j. Cálculo de la cuerda del perfil

El cálculo de la cuerda se realiza utilizando la ecuación 16.

$$L = \frac{8\pi(1 - \cos(\theta))}{N^{\circ}_{alabes} \cdot C_L} \tag{16}$$

Con las ecuaciones antes expuestas se obtiene todos los valores necesarios para el diseño del alabe, en la siguiente tabla.

Tabla 7. Dimensiones del perfil del alabe.

Sección	Radio	U(m/s)	V(m/s)	C(m/s)	SR	Angulo de calaje ϕ	Angulo de calaje θ	Cuerda(m)	Radio de perfil	Camber de perfil
1	1.5	2.90	2.9	4.10	1.00	30.00	24.00	0.23	0.21	0.025
2	1.35	2.61	2.9	3.90	0.90	32.01	26.01	0.27	0.24	0.028
3	1.2	2.32	2.9	3.71	0.80	34.23	28.23	0.30	0.27	0.032
4	1.05	2.03	2.9	3.54	0.70	36.67	30.67	0.35	0.31	0.037
5	0.9	1.74	2.9	3.38	0.60	39.36	33.36	0.40	0.35	0.043
6	0.75	1.45	2.9	3.24	0.50	42.29	36.29	0.45	0.41	0.049
7	0.6	1.16	2.9	3.12	0.40	45.47	39.47	0.52	0.47	0.056
8	0.45	0.87	2.9	3.03	0.30	48.87	42.87	0.60	0.53	0.064
9	0.3	0.58	2.9	2.96	0.20	52.46	46.46	0.68	0.61	0.073
10	0.15	0.29	2.9	2.91	0.10	56.19	50.19	0.77	0.69	0.083

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6 se muestra un resumen en la dimensión del alabe que está en función a la velocidad del viento, por ejemplo: en la ecuación mostrada de la cuerda, la longitud de la cuerda está en función al ángulo y al coeficiente de sustentación, eso quiere decir que va cambiando en función al radio cambia la longitud de la cuerda.

k. Fuerza de sustentación y arrastre

La fuerza de sustentación es la que genera el giro al rotor de la turbina, esta depende del ángulo de ataque o coeficiente de sustentación y el área del perfil, por otro lado, la fuerza de arrastre es la que contrarresta el giro de la turbina en un determinado ángulo. Se calcula mediante la ecuación 17.

$$F_{L/D} = \frac{1}{2} \cdot C_{L/D} \cdot \rho \cdot C^2 \cdot Ldr \quad (17)$$

Donde:

C_L = Coeficiente de sustentación.

C_D = Coeficiente de arrastre.

ρ = densidad del viento, $1.24 \frac{kg}{m^3}$ a $12^\circ c$.

C = Velocidad del viento aparente, m/s

$L =$ Longitud de cuerda, m
 $dr =$ diferencial de radio, m

La fuerza necesaria para realizar el giro del rotor de la turbina, se calcula mediante la ecuación 18, entendiendo los componentes de las fuerzas que intervienen en la siguiente imagen.

$$F_T = F_L \cdot \text{seno}(\varphi) - F_D \cdot \text{cos}(\varphi) \quad (18)$$

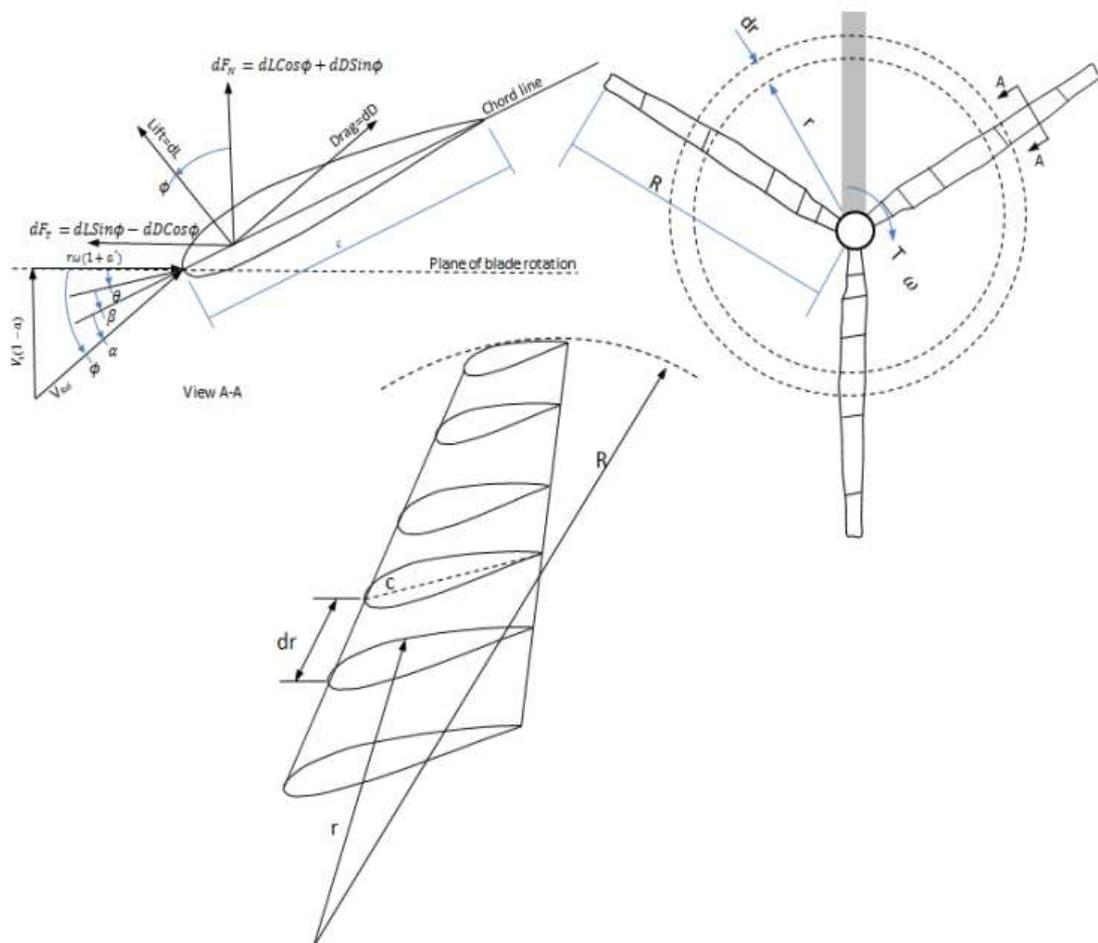


Figura 28. Distribución de fuerzas en el perfil.

Fuente: Airfoil Tools.

En la Figura 28 se muestra la Distribución de las fuerzas que intervienen en el alabe

Con la ecuación se obtiene la siguiente tabla y grafica de fuerza de sustentación.

Tabla 8. Fuerzas que intervienen en el perfil.

Sección	Radio(m)	C(m/s)	Cuerda(m)	Fuerza de sustentación(N)	Fuerza de arrastre(N)	Fuerza tangencial(N)	Fuerza normal(N)
1	1.5	4.06	0.23	0.33	0.007	0.16	0.28
2	1.35	3.87	0.27	0.34	0.008	0.17	0.28
3	1.2	3.69	0.30	0.35	0.008	0.19	0.28
4	1.05	3.52	0.35	0.36	0.008	0.21	0.29
5	0.9	3.37	0.40	0.38	0.008	0.23	0.29
6	0.75	3.23	0.45	0.40	0.009	0.26	0.29
7	0.6	3.12	0.52	0.43	0.009	0.30	0.29
8	0.45	3.02	0.60	0.46	0.010	0.34	0.29
9	0.3	2.96	0.68	0.50	0.011	0.39	0.30
10	0.15	2.91	0.77	0.55	0.012	0.45	0.30

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla nos muestra el resumen de las fuerzas que intervienen en el alabe que está en función a su radio.

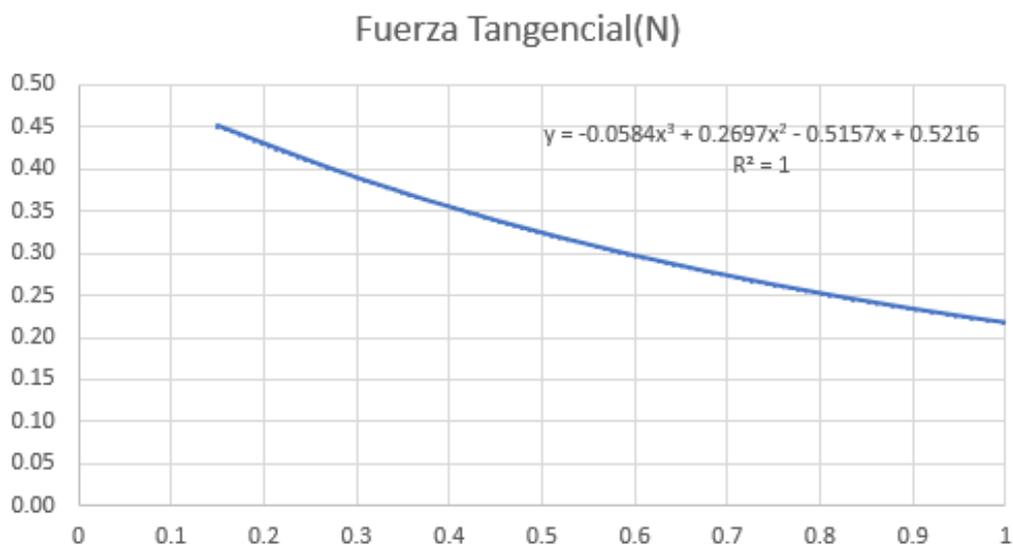


Figura 29. Fuerzas Tangencial en el alabe.

Fuente: Elaboración propia.

Donde el eje X es el radio del alabe, y el eje Y es la fuerza tangencial que generara el giro del rotor en el alabe. Se utilizará el perfil desde el radio 0.4m para facilidades de construcción.

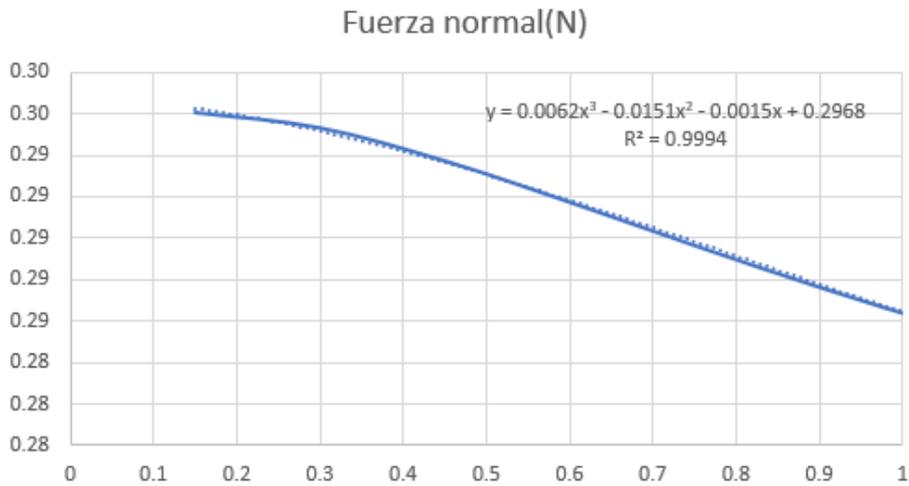


Figura 30. Fuerza normal en el alabe.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 30 podemos ver la fuerza normal, esta es la fuerza que empuja el rotor a la misma dirección del viento.

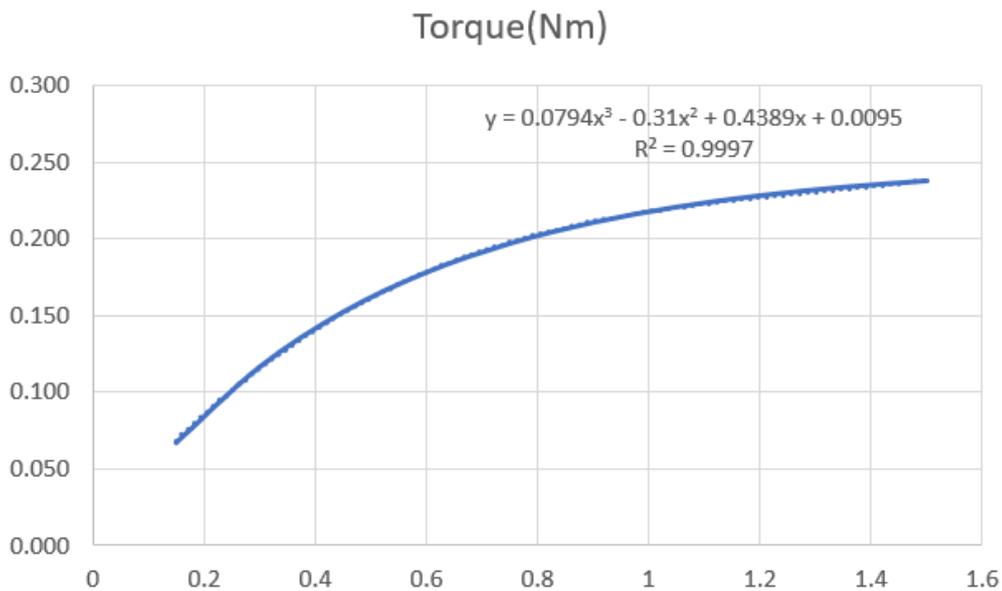


Figura 31. Torque en el alabe.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 31 podemos ver la fuerza de torque, esta es la fuerza que ejerce en la sección a la fuerza tangencial multiplicado por su respectivo radio del alabe.

La potencia en un solo alabe, se calcula con el producto del torque que ejerce dicho alabe y la velocidad angular (ecuación 19).

$$P_{al} = \frac{T_{al} \cdot \omega}{c_p} = 5.404 \text{ w} \quad (19)$$

Donde:

c_p = *coeficiente de potencia limite de betz*, 0.5926.

La potencia por número de alabes se aprecia en la figura 32.

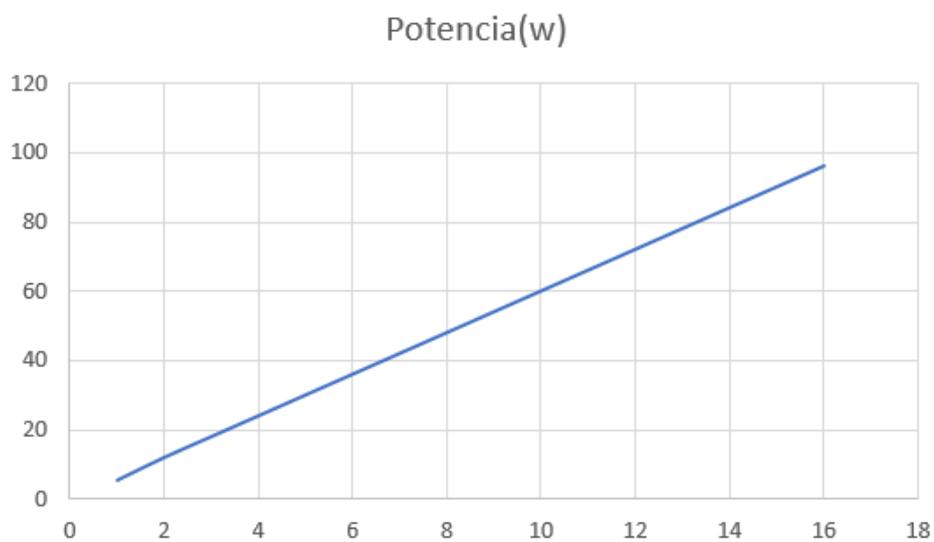


Figura 32. Potencia – N.º de alabes
Fuente: Elaboración propia.

Potencia con respecto al número de alabes, a mayor número de alabes la potencia aumenta.

Con los anteriores valores, se procede a realizar un modelo en 3D de la turbina, para realizar los análisis de elementos finitos.

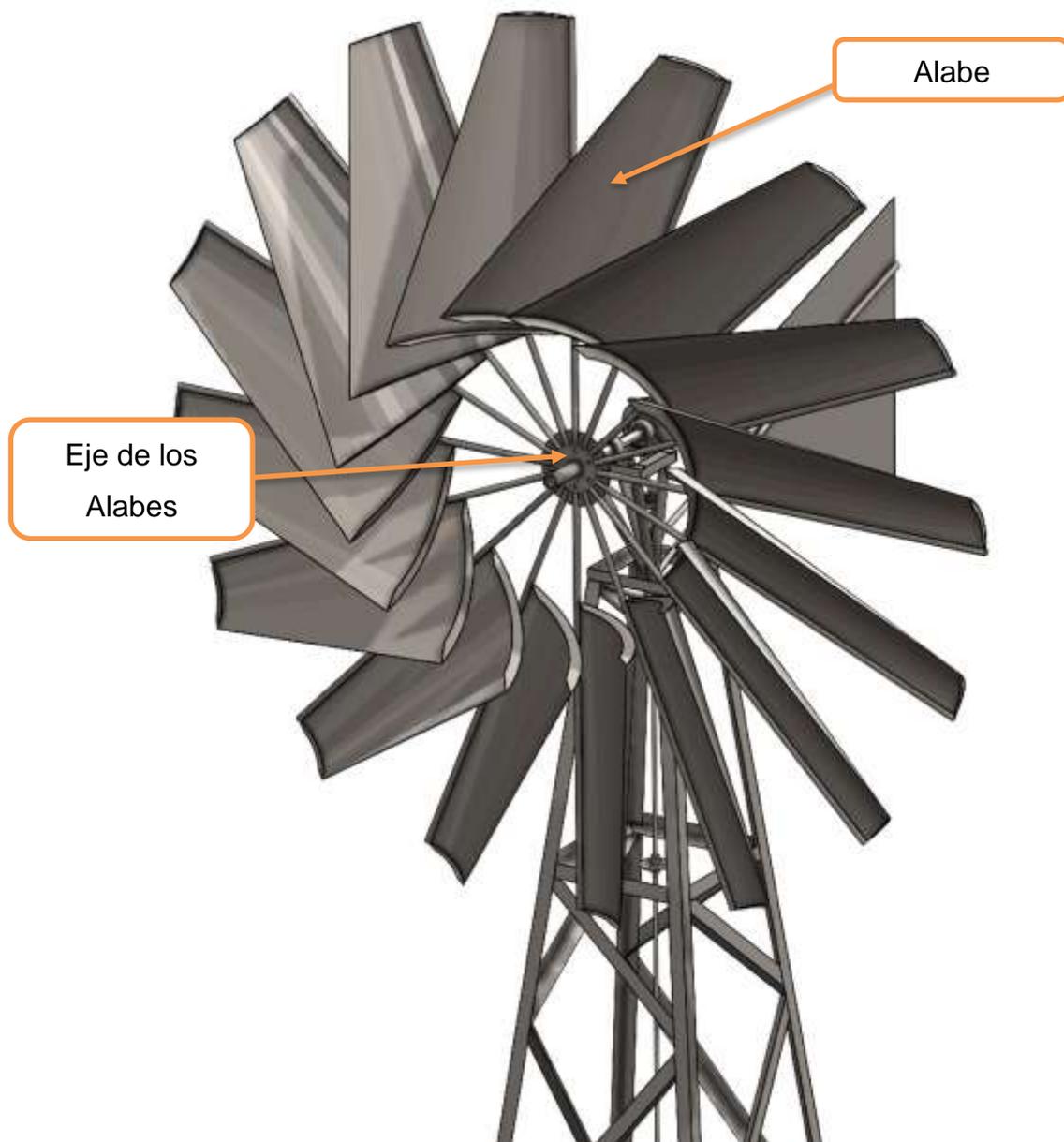


Figura 33. Vista isométrica de la turbina.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

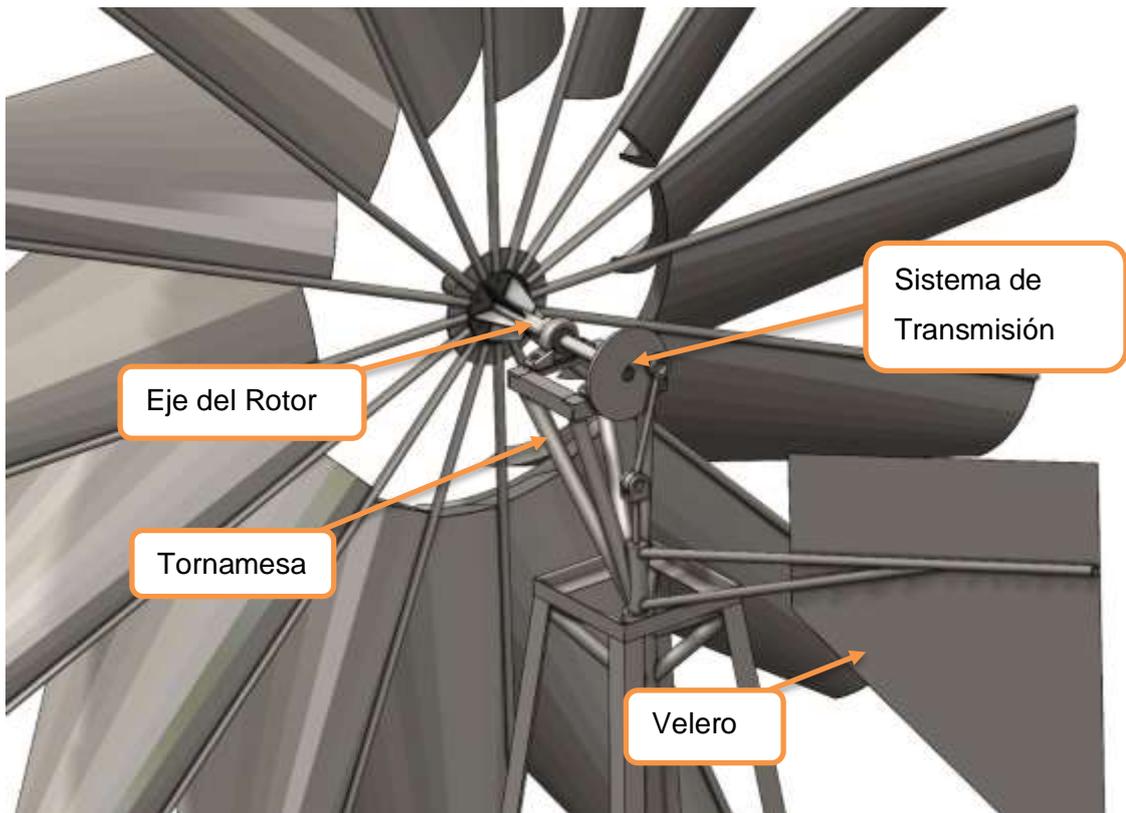


Figura 34. Partes de la turbina.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

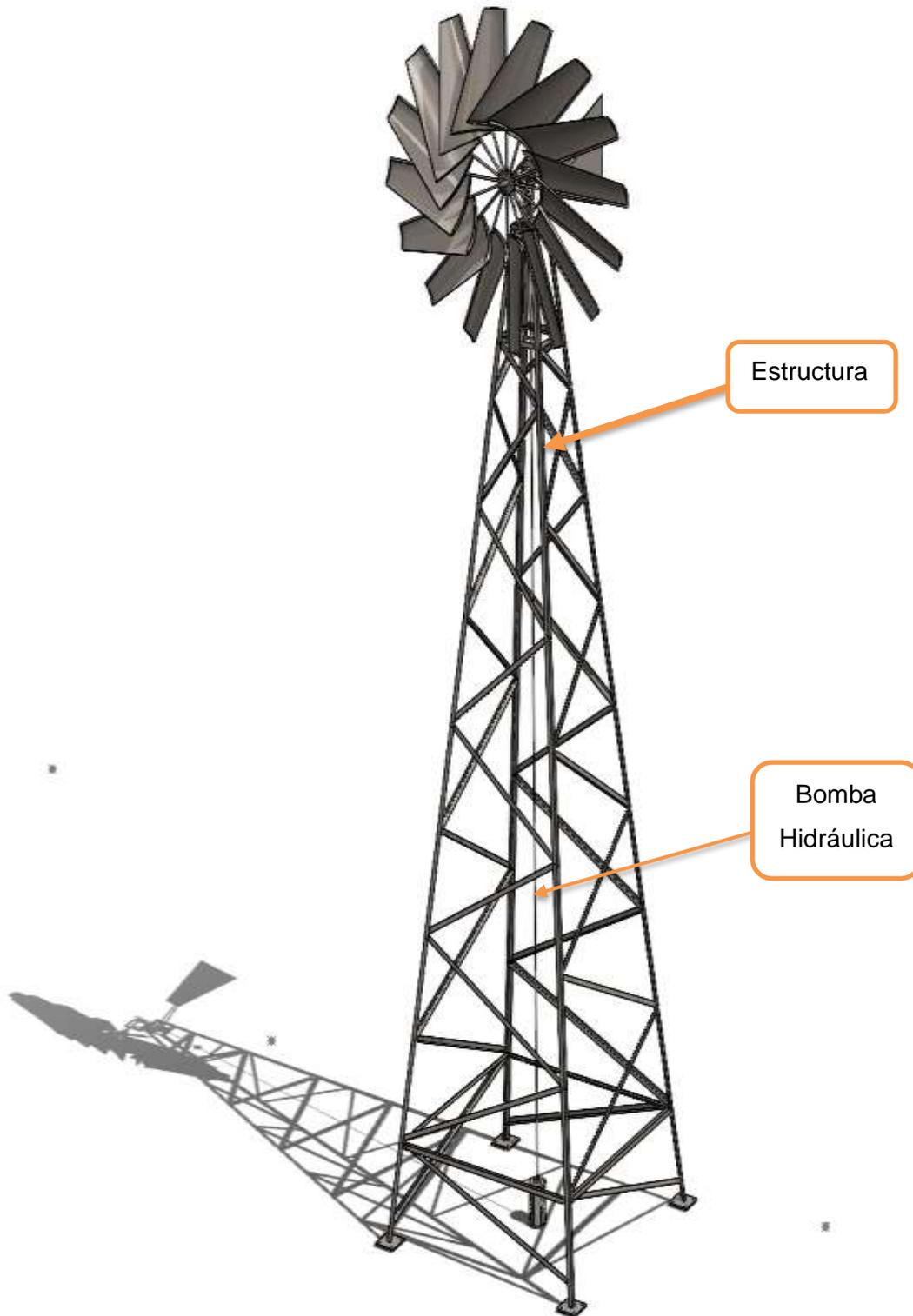


Figura 35. Aerobomba.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

Evaluación de la integridad del aerogenerador y la bomba de agua con el criterio de resistencia mecánica, basado en las sollicitaciones externas

a. Diseño del eje del rotor

El eje del rotor está sometido a las cargas del torque, fuerzas normales del viento y el peso de los alabes.

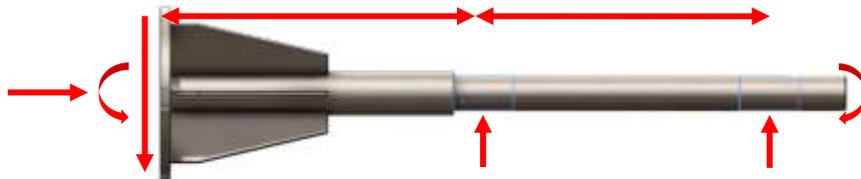


Figura 36. Eje del rotor.

Fuente: Elaboración propia en el programa.

Donde:

$T1 = \text{torque total del rotor}, 26.504Nm$

$F_n = \text{Fuerza normal}, 36.8N$

$F_w = \text{Peso de los alabes}, 120kg$

$R1, R2 = \text{Reaccion en chumacera.}$

$T2 = \text{Reaccion en Plato manivela.}$

El diagrama de fuerzas se aprecia en la siguiente imagen.



Figura 37. Diagrama de fuerzas cortantes.

Fuente: Elaboración propia en el programa.

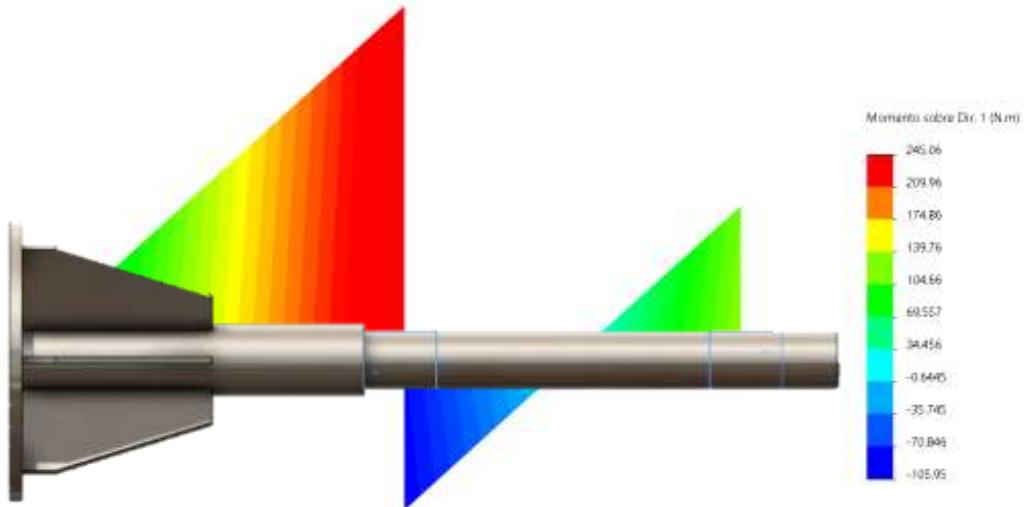


Figura 38. Diagrama de momentos.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

En la figura 38 se observa un máximo momento de 245.06Nm, en la R1 y una cortante de 1177.2N

Este componente está diseñado en acero AISI 1020 de 30mm de diámetro, con un límite de fluencia de 351Mpa.



Figura 39. Rotor del aerogenerador.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

b. Sistema de transmisión.

El sistema de transmisión está hecho de una calidad de acero ASTM A36, estará sometido al torque que ejerce el rotor del molino, y convertirá en una fuerza lineal que accionará la bomba. Esto se realiza mediante el vástago que une la biela con la bomba.

El plato manivela tiene un radio de acción de 0.14m y material de ASTM A36, que convierte el movimiento rotacional, en movimiento lineal, que accionara la biela del sistema de transmisión.



Figura 40. Plato manivela del aerogenerador.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

La biela tiene las dimensiones de 250mm de longitud y 1/2" de espesor y material ASTM A36, esta se encargará de convertir el movimiento rotacional, en movimiento lineal.



Figura 41. Biela del aerogenerador.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

El vástago es la unión de la biela con el pistón de la bomba, esta está diseñada con material de calidad ASTM A36, con un diámetro de ½”.



Figura 42. Vástago del aerogenerador.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

Se realiza un análisis de elementos finitos bajo la condición de 26.504Nm de torque que ejerce el rotor del molino.

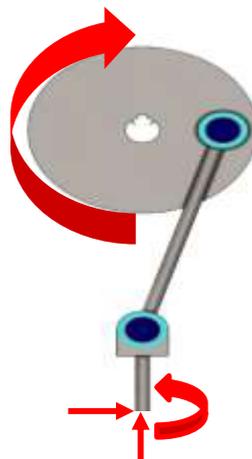


Figura 43. Sistema de transmisión.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

Donde:

$T1 = \text{Torque}, 26.504Nm$

$R1, R2 = \text{Reaccion en vástago.}$

$T2 = \text{Reaccion de momento en vástago.}$

c. **Diseño de tornamesa**



Figura 44. Tornamesa del aerogenerador.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

La tornamesa se utiliza para permitir la alineación de la turbina con el viento. Consta de 2 chumaceras y un eje de rotación acoplado a la torre. Este soportara el peso del eje del rotor y los alabes, pesando 90kg, ubicado a 510mm del eje de la tornamesa, expuesta en la siguiente imagen.

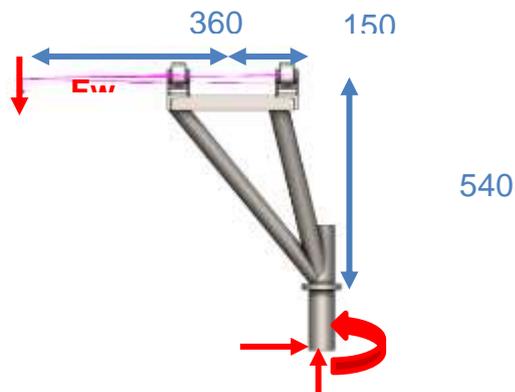


Figura 45. Diagrama de Fuerzas.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

Donde:

$F_w =$ Peso de turbina, 90kg

$R_1, R_2 =$ Reaccion en vastago.

$T_2 =$ Reaccion de momento en vastago.

El diagrama de fuerzas se aprecia en las siguientes imágenes.

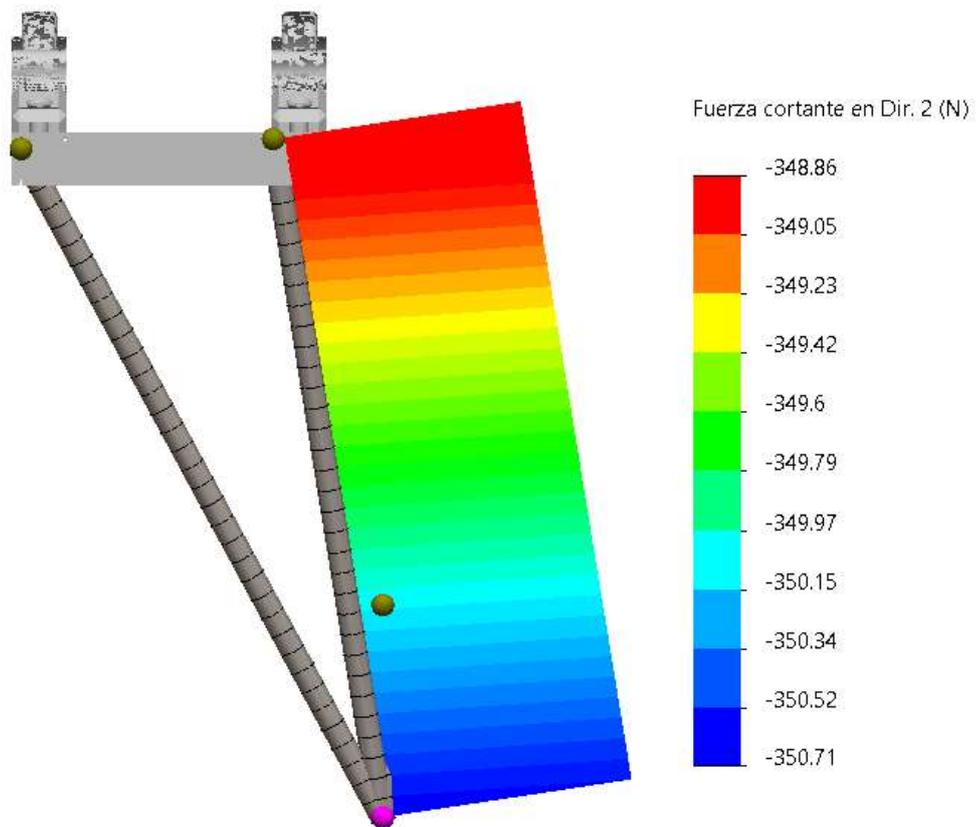


Figura 46. Diagrama de fuerzas constantes.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

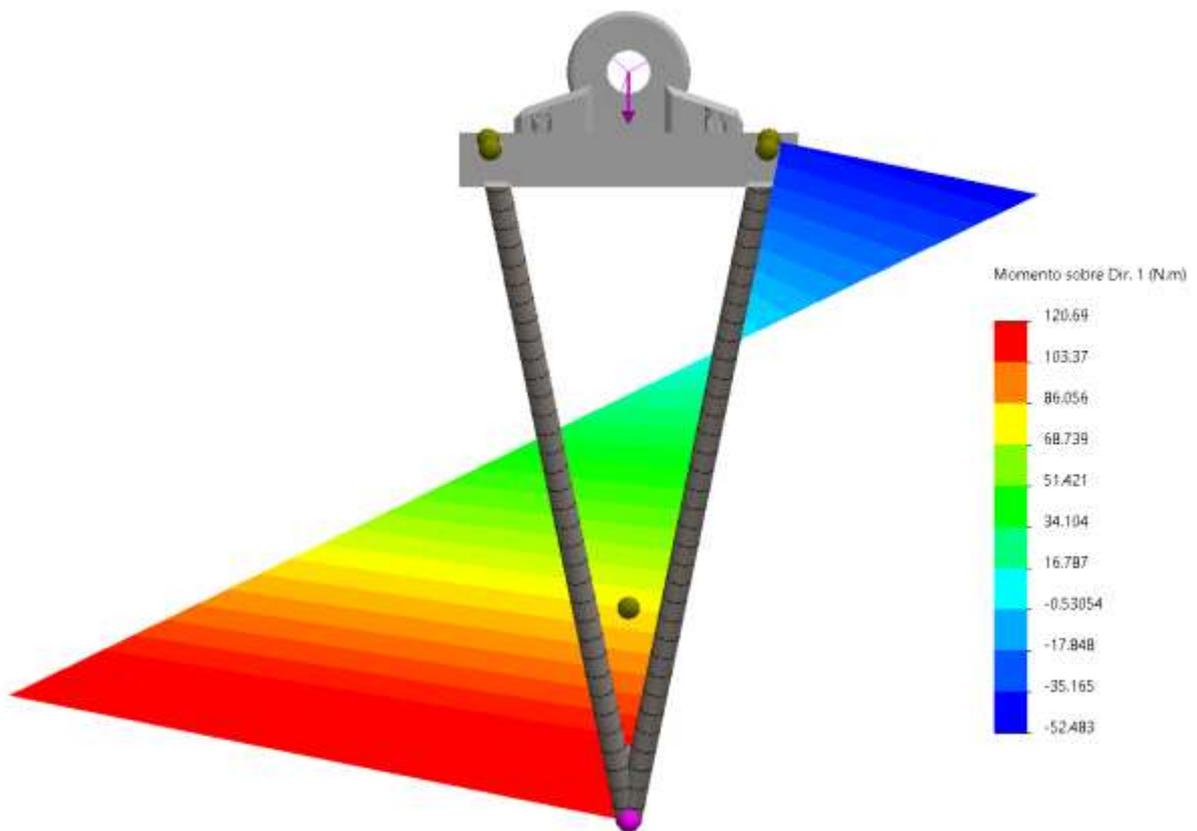


Figura 47. Diagrama de Momentos.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

Se observa un máximo momento de 120.69Nm y una cortante de 350.71N en el elemento que soporta mayor carga.

d. Diseño de Torre

La torre sostiene todo el sistema del molino, es donde la tornamesa realiza la rotación. Tiene una altura de 9.5m fabricado en acero ASTM A36, soporta el peso muerto del sistema, siendo 150kg. En la siguiente figura se observa la torre y las fuerzas a las que está sometida.

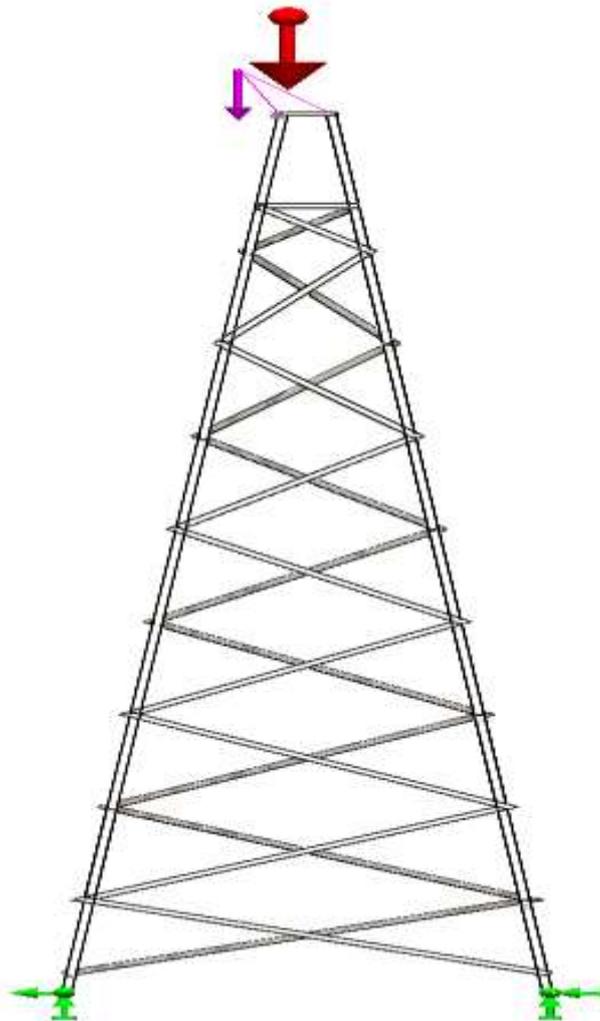


Figura 48. Diseño de la Torre
Fuente: Elaboración propia en el programa.

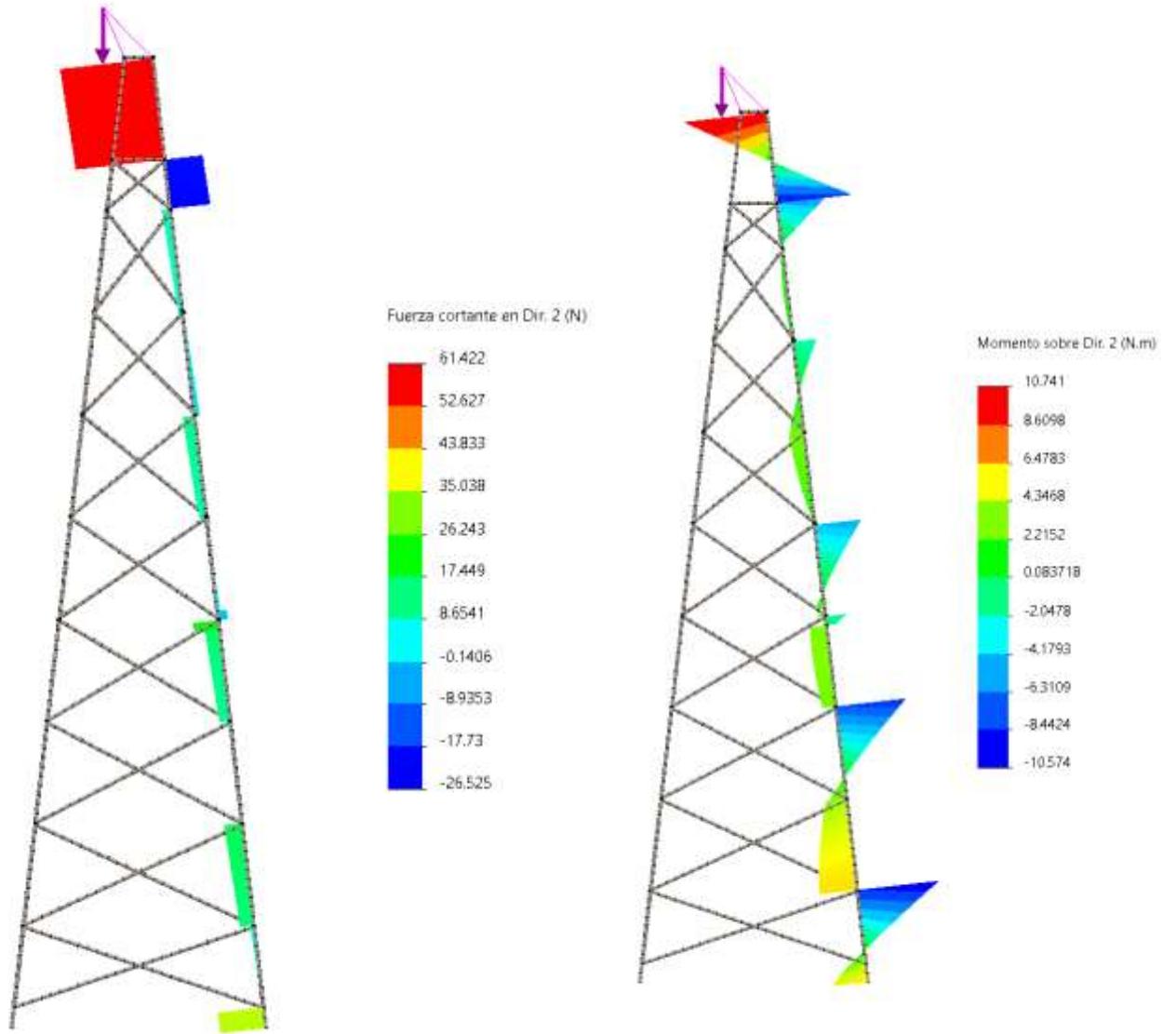


Figura 49. Diagrama de momentos y cortantes.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

Los resultados del análisis de elementos finitos, se aprecian en las siguientes figuras:

Alabe

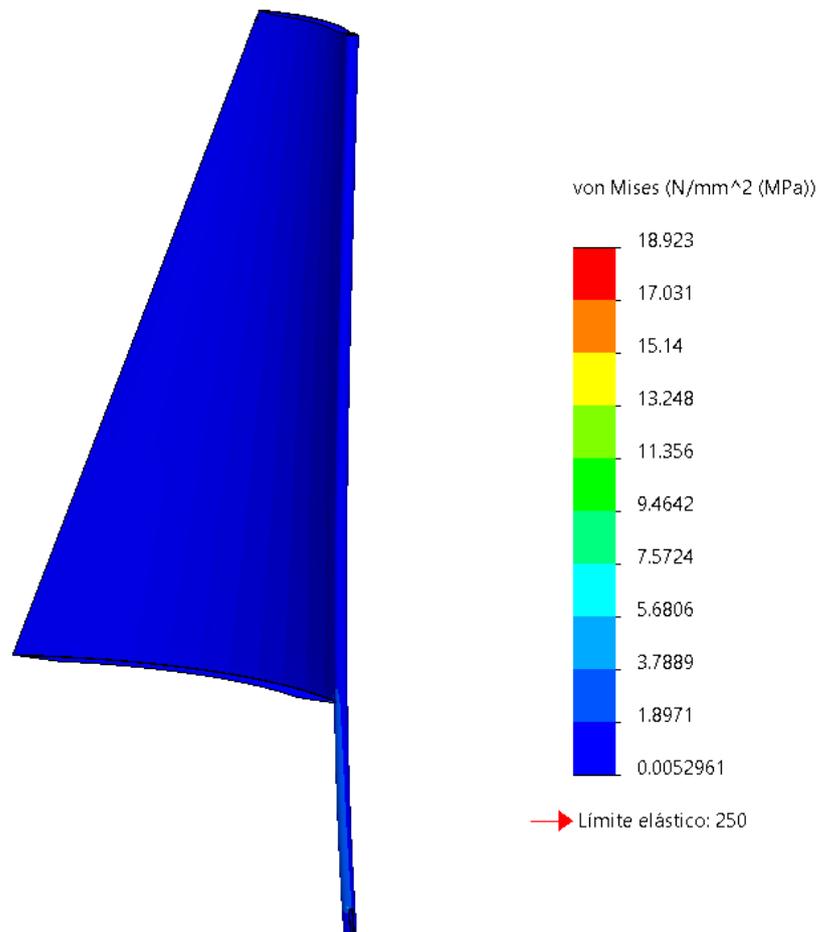


Figura 50. Resultados del análisis del alabe.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

El análisis del alabe indica que existe un esfuerzo máximo de 18.92Mpa en la zona más próxima al centro del rotor, este valor se encuentra dentro del límite elástico del material (Acero galvanizado), 250Mpa. Garantizando el óptimo funcionamiento del alabe.

Eje del rotor del molino

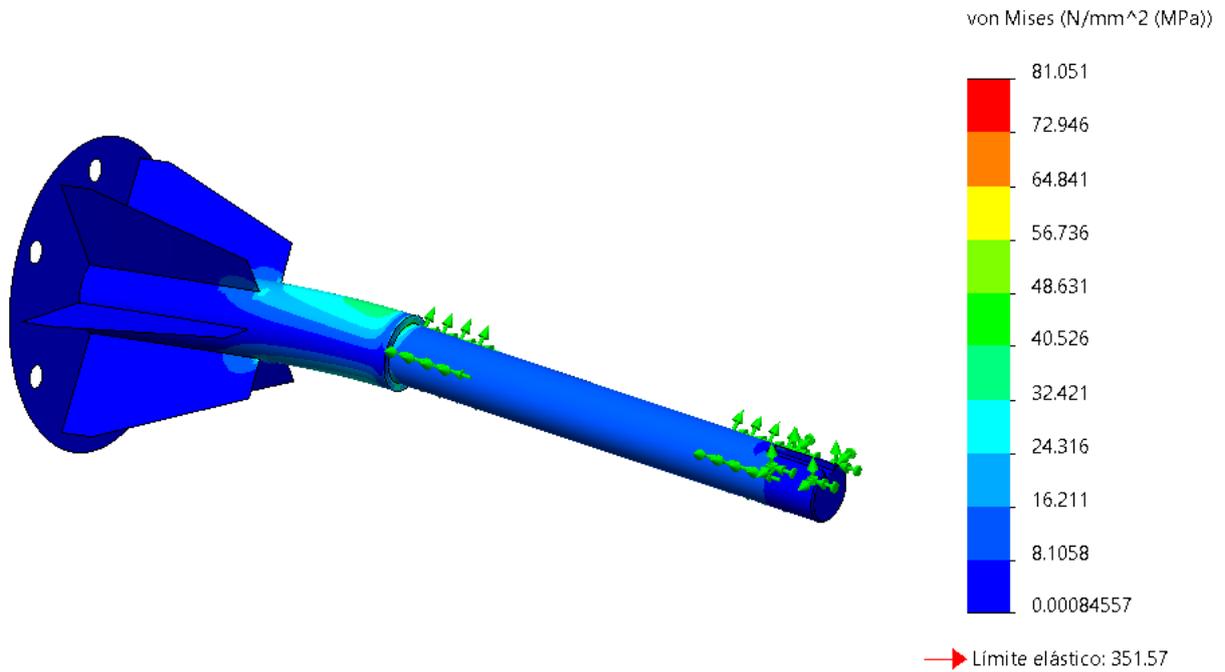


Figura 51. Resultados del análisis de elementos finitos.

Fuente: Elaboración propia en el programa.

Se aprecia en el eje del rotor del molino un esfuerzo máximo de 81.05Mpa, estando dentro del límite elástico del material, con un esfuerzo de fluencia de 351.57Mpa. Esto garantiza el correcto funcionamiento del elemento.

Sistema de transmisión

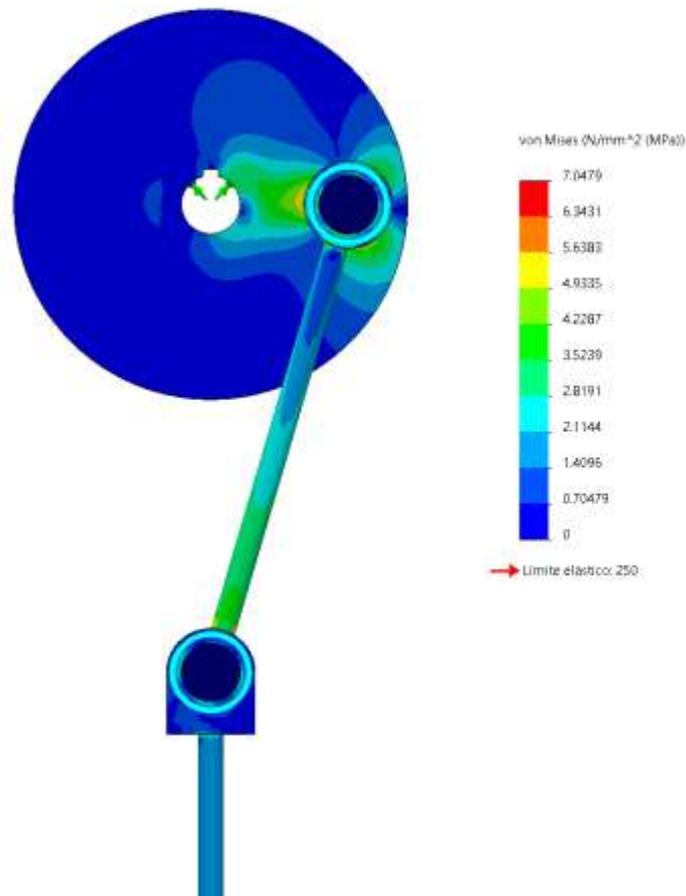


Figura 52. Sistema de transmisión.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

En el análisis de elementos finitos del sistema de transmisión, se aprecia que el mayor esfuerzo se ubica en la unión del plato manivela con la Biela, siendo un esfuerzo máximo de 7.04Mpa.

- La biela se evidencia un esfuerzo máximo de 5.6383Mpa en la unión de la barra con el anillo.
- El vástago presenta un esfuerzo uniforme de 2.11Mpa.

Tornamesa

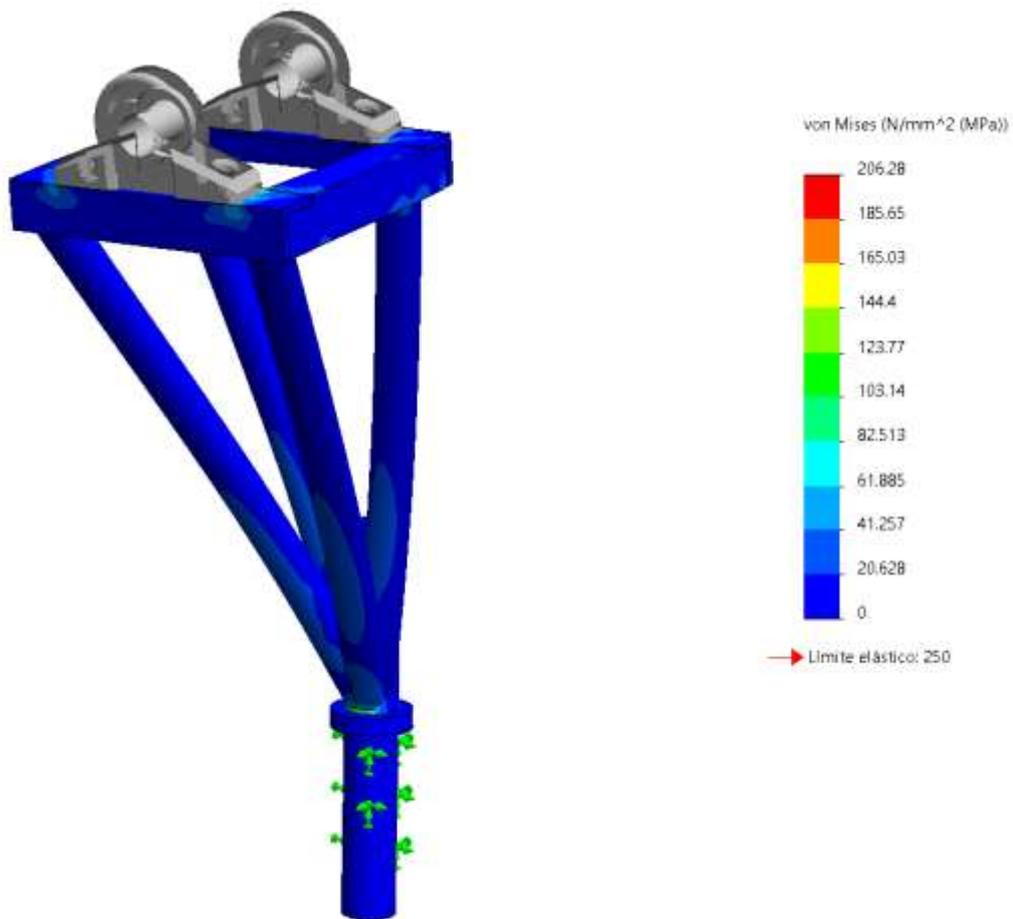


Figura 53. Tornamesa.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

La tornamesa presenta un esfuerzo máximo de 206Mpa en el eje de rotación del mismo, este valor está dentro del límite elástico del material 250Mpa, evidenciando que la tornamesa no fallara en las condiciones de carga antes indicada.

Torre

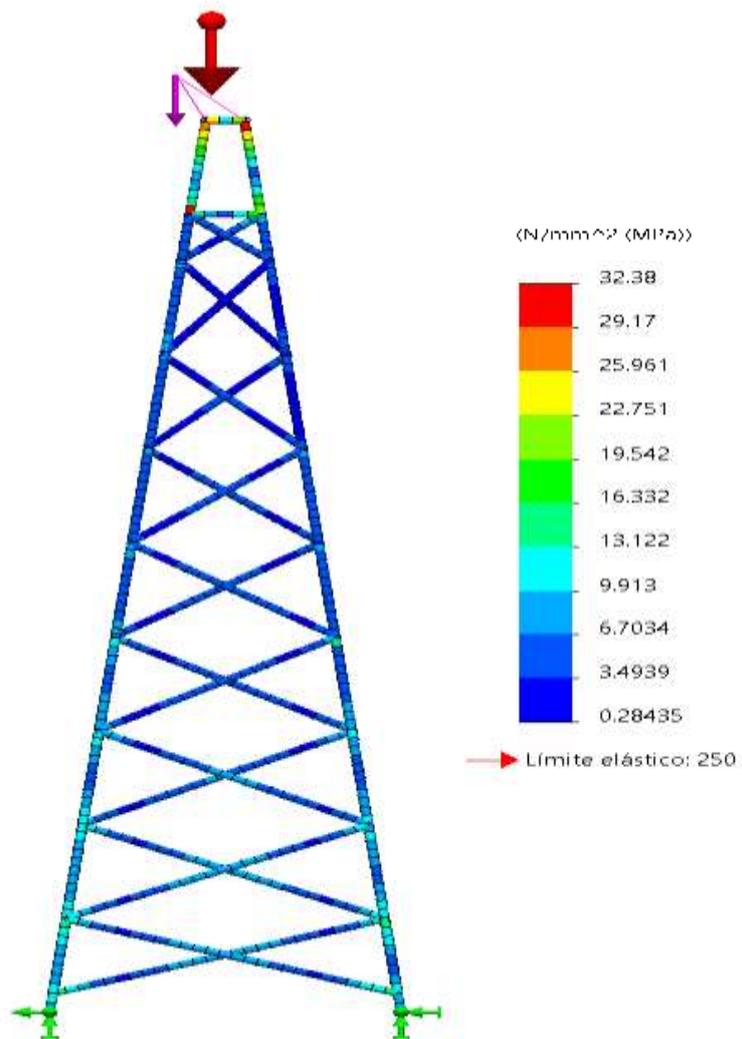


Figura 54. Torre de la aerobomba.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

La torre presenta máximos esfuerzos en la parte alta, siendo de 32.38Mpa, donde es dentro del límite elástico del material, siendo 250Mpa. Esto garantiza un correcto funcionamiento de la estructura.

Análisis dinámico de fluidos

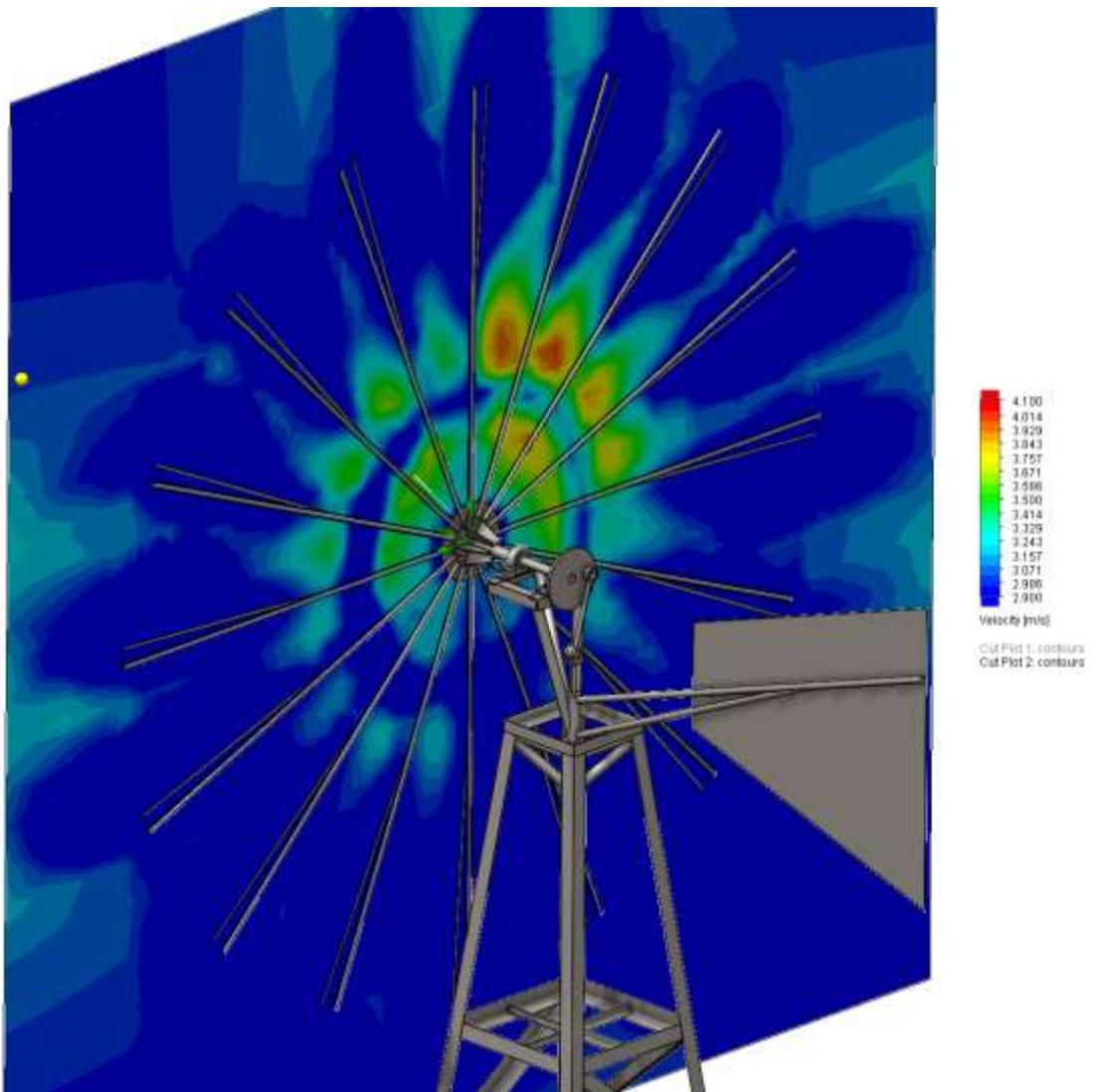


Figura 55. Análisis dinámico de fluidos.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

En la figura 55 se muestra el comportamiento dinámico del fluido con Corte frontal, se muestra los remolinos que se generan de turbulencia cuando pasa el aire y las velocidades que vienen hacer en función a la paleta de colores.

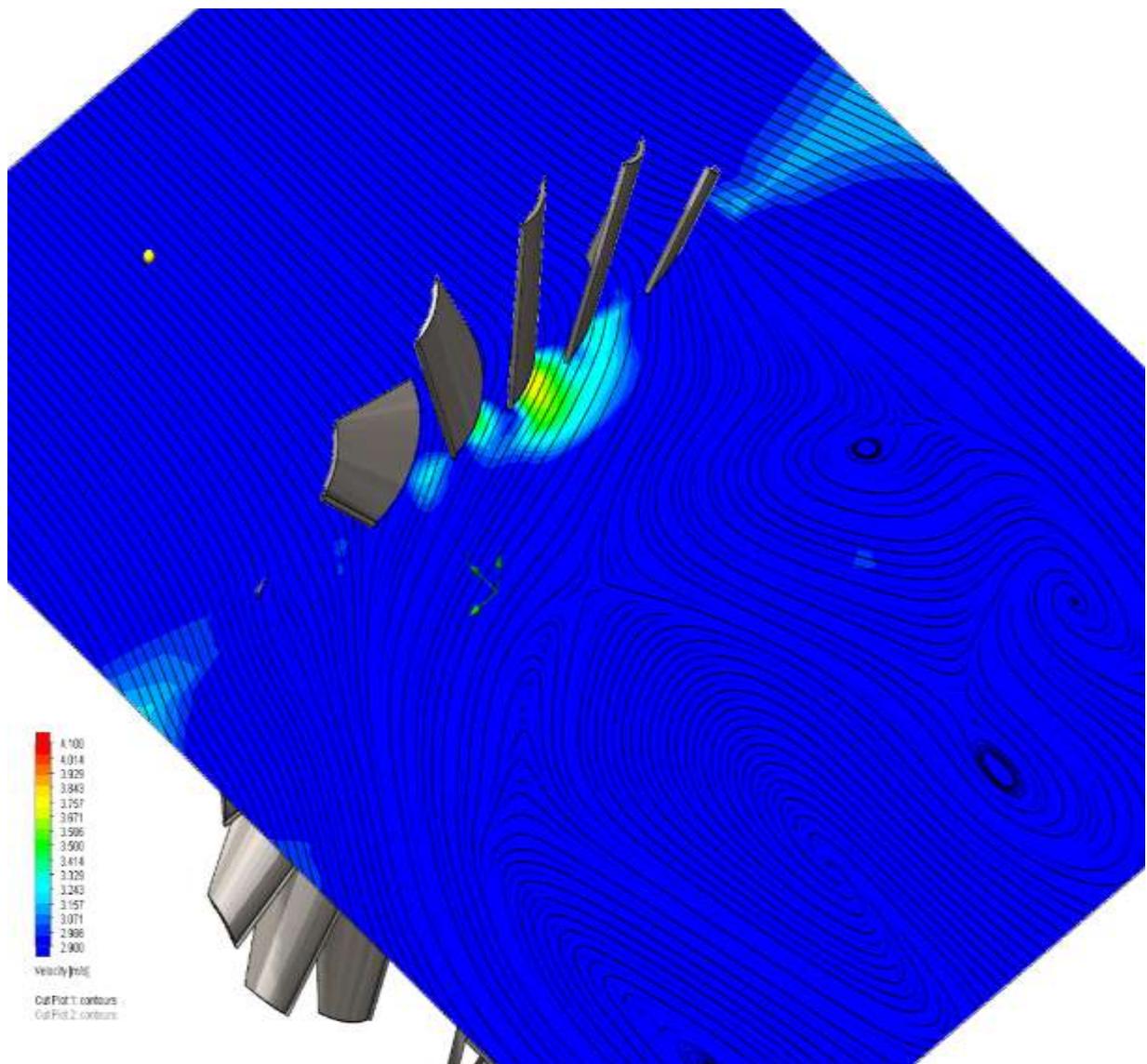


Figura 56. Análisis de fluidos.
Fuente: Elaboración propia en el programa.

En la figura 56 se muestra el comportamiento dinámico del fluido cuando atraviesa el molino, se pueden ver distintos cortes horizontales del viento, también se aprecia pequeños remolinos que se generan por el paso del aire en los alabes.

Realización del análisis económico de diseño y fabricación de la aerobomba

En este análisis de costos se han tenido en cuenta los gastos de los materiales para la construcción de la aerobomba, los costos de la maquinaria utilizada, la mano de obra para la construcción, los costos de instalación y los costos de mantenimiento.

a. Costos directos

Costos de materiales

Aquí se han considerado cada uno de los materiales utilizados para la construcción del sistema de bombeo.

En la tabla siguiente se muestra de manera detallada los materiales que han sido incluidos para cada uno de los componentes de la aerobomba y su costo directo.

Tabla 9. Costo de materiales para la elaboración de cada uno de los componentes.

N.º	MARCA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD	CANTIDAD	MATERIAL	MASA.UNIT [kg]	MASA TOTAL [kg]	Precio Unitario [kg]	Costo Total (\$)
1	AL	Alabe		16	Acero galvanizado	4.92			
1.1	p1	pl 0.79 x 626.38	1051.85	1	Acero galvanizado	2.81	2.81	10	28.1
1.2	p2	pl 1.59 x 33.49	219.08	1	Acero galvanizado	0.05	0.05	10	0.5
1.3	p3	pl 1.59 x 92.29	589.32	1	Acero galvanizado	0.27	0.27	10	2.7
1.4	p8	PIPE 0.5 SCH 40	1420	1	ASTM A36 Acero	1.79	1.79	10	17.9
2	ER	Eje de rotor		1	AISI 1020	4.42			
2.1	p5	pl 6.35 x 150	150	1	AISI 1020	0.86	0.86	5	4.3
2.2	p6	Eje de rotot	430	1	AISI 1020	2.98	2.98	5	14.9
2.3	p21	pl 3.18 x 50	100	6	AISI 1020	0.09	0.54	5	2.7
3	TM	Tornamesa		1	Varios	14.34			
3.1	p20	Chumacera 30mm	-	2	ASTM A36 Acero	1.76	3.52	5	17.6
3.2	p35	Eje de tornamesa	320	1	AISI 1020	3.53	3.53	5	17.65
3.3	p36	L1.5x1.5x0.25	236.2	2	ASTM A36 Acero	0.81	1.62	5	8.1
3.4	p38	PIPE 1 SCH 40	475.12	1	ASTM A36 Acero	1.01	1.01	5	5.05
3.5	p37	L1.5x1.5x0.25	207.78	2	ASTM A36 Acero	0.6	1.2	5	6
3.6	p39	PIPE 1 SCH 40	475.12	1	ASTM A36 Acero	1.01	1.01	5	5.05
3.7	p40	PIPE 1 SCH 40	534.14	1	ASTM A36 Acero	1.22	1.22	5	6.1
3.8	p41	PIPE 1 SCH 40	534.14	1	ASTM A36 Acero	1.22	1.22	5	6.1
4	ET	Estructura de torre		1	ASTM A36 Acero	277.96			
4.1	p9	L2x2x0.125	1406.62	4	ASTM A36 Acero	3.25	13	5	65
4.2	p33	Tubo 3/8"x70	150	1	ASTM A36 Acero	2.2	2.2	5	11

4.3	p34	Bocina de tornamesa	150	1	Bronce	0.96	0.96		0
4.4	p46	L1.5x1.5x0.25	300	4	ASTM A36 Acero	0.95	3.8	5	19
4.5	p47	PIPE 1 SCH 40	243.92	3	ASTM A36 Acero	0.55	1.65	5	8.25
4.6	p10	L2x2x0.125	1763.9	4	ASTM A36 Acero	4.16	16.64	5	83.2
4.7	p11	L2x2x0.125	2161.28	4	ASTM A36 Acero	5.15	20.6	5	103
4.8	p12	L2x2x0.125	2368.85	4	ASTM A36 Acero	5.63	22.52	5	112.6
4.9	p13	L2x2x0.125	1959.02	4	ASTM A36 Acero	4.63	18.52	5	92.6
4.1	p14	L2x2x0.125	1578.52	4	ASTM A36 Acero	3.67	14.68	5	73.4
4.11	p15	L2x2x0.125	1253.45	4	ASTM A36 Acero	2.82	11.28	5	56.4
4.12	p16	L2x2x0.125	2477.44	4	ASTM A36 Acero	5.71	22.84	5	114.2
4.13	p17	L2x2x0.125	2256.69	4	ASTM A36 Acero	5.38	21.52	5	107.6
4.14	p18	L2x2x0.125	765.99	4	ASTM A36 Acero	1.69	6.76	5	33.8
4.15	p19	L2x2x0.125	519.05	4	ASTM A36 Acero	1.1	4.4	5	22
4.16	p48	PIPE 1 SCH 40	243.92	1	ASTM A36 Acero	0.55	0.55	5	2.75
4.17	p49	PIPE 1 SCH 40	178.22	4	ASTM A36 Acero	0.37	1.48	5	7.4
4.18	p55	L2x2x0.125	9616.47	4	ASTM A36 Acero	23.62	94.48	5	472.4
5	TR	Transmisión		1	Varios	13.27			
5.1	p7	Plato cigüeñal	-	1	ASTM A36 Acero	2.43	2.43	5	12.15
5.2	p22	pl 1 x 45	45	4	AISI 1020	0.01	0.04	5	0.2
5.3	p23	Biela	-	1	AISI 1020	0.45	0.45	5	2.25
5.4	p30	Bocina de vástago	54	1	Bronce	0.1	0.1	5	0.5
5.5	p31	Soporte de vástago	-	1	ASTM A36 Acero	0.51	0.51	5	2.55
5.6	p42	Orejas de vástago	-	1	ASTM A36 Acero	0.28	0.28	5	1.4
5.7	p43	Vástago	9700	1	ASTM A36 Acero	9.48	9.48	5	47.4
6	VL	Velero		1	ASTM A36 Acero	7.46			
6.1	p44	PIPE 0.5 SCH 40	1561.47	1	ASTM A36 Acero	1.98	1.98	5	9.9
6.2	p53	pl 0.79 x 1000	1000	1	ASTM A36 Acero	4.21	4.21	5	21.05
6.3	p45	PIPE 0.5 SCH 40	1094.58	1	ASTM A36 Acero	1.28	1.28	5	6.4
7	BH	Bomba hidráulica		1	Varios	21.12			
7.1	p24	Cilindro de bomba 4"	400	1	PVC	7.6	7.6	10	76
7.2	p25	Tapa de bomba	-	2	Aluminio 6061	3.55	7.1	10	71
7.3	p26	Empaquetadura	-	1	ASTM A36 Acero	0.08	0.08	5	0.4
7.4	p27	pl 4 x 80	80	1	Aluminio 6061	0.16	0.16	20	3.2
7.5	p28	Empaquetadura válvula	-	1	Caucho natural	0.62	0.62	5	3.1
7.6	p29	Pernos 3/8"	460	6	ASTM A36 Acero	0.26	1.56	5	7.8
7.7	p50	Sello de pistón de bomba	-	1	Caucho natural	0.91	0.91	5	4.55
7.8	p51	Pistón de bomba 2	-	1	Aluminio 6061	1.46	1.46	20	29.2
7.9	p52	Pistón de bomba 1	-	1	Aluminio 6061	1.45	1.45	20	29
7.1	p57	pl 4 x 58	58	1	Caucho natural	0.08	0.08	20	1.6
7.1	p58	pl 6 x 58	58	1	Aluminio 6061	0.12	0.12	20	2.4
8	MV	Eje de alabes		1	ASTM A36 Acero	2.99			
8.1	p4	PIPE 1.5 SCH 40	150	1	ASTM A36 Acero	0.6	0.6	100	60
8.2	p56	pl 6.35 x 250	250	1	ASTM A36 Acero	2.39	2.39	100	239

Fuente. Elaboración propia.

Costos de maquinaria

Se ha considerado el costo por hora de trabajo de la maquinaria necesaria para la construcción de cada uno de los componentes de la aerobomba.

Tabla 10. Costo de alquiler de la maquinaria para la construcción de la aerobomba.

||	MAQUINARIA	COSTO HORA	TOTAL HORAS	TOTAL COSTO (S/)
1	Torno	20	20	400
2	Soldadora eléctrica	8	20	160
3	pulidora	5	3	15
4	Taladro	5	2	10
5	Herramientas menores	10	20	200
			Total	785

Fuente. Elaboración propia.

Costos de mano de obra

Se ha considerado el total de horas hombre de personal capacitado para construir cada uno de los componentes empleando los materiales y las maquinas identificadas en los puntos anteriores.

Tabla 11. Costo de mano de obra para la construcción de la aerobomba.

N.º	TRABAJADORES	COSTO HORA	TOTAL HORAS	TOTAL COSTO (S/)
1	3	12	120	1440
			Total	1440

Fuente. Elaboración propia.

b. Costos indirectos

Costos de Ingeniería: Se ha considerado el costo del diseño, y se ha tomado como referencia el 10% del costo total de la aerobomba.

Imprevistos: Para imprevistos se ha considerado el 5% del costo total de la aerobomba.

c. Costo total del sistema de bombeo

El costo total para la construcción de la aerobomba incluye los costos directos y los costos indirectos, teniendo un total de S/ 5260.10, el detalle de los gastos lo podemos revisar en la siguiente tabla.

Tabla 12. Gastos directos e indirectos de la construcción de la aerobomba.

Rubro	Costo (S/)
Gastos directos	
Materiales	2158.40
Maquinarias	785.00
Mano de obra	1440.00
	4383.40
Gastos indirectos	
Costos de ingeniería	657.50
Imprevistos	219.20
	876.70
Total	5260.10

Fuente. Elaboración propia.

d. Utilidad

La aerobomba propuesta tiene un caudal de 0.0007858 m³/s, es decir 2.83 m³/h. Se muestra a continuación los ingresos anuales que se obtendrá con el modelo de aerobomba propuesta en esta investigación.

Tabla 13. Utilidad generada por la aerobomba propuesta.

Caudal	Utilidad por hora (S/)	Utilidad diaria 5 horas (S/)	Utilidad mensual (S/)	Utilidad anual (S/)
2.83	0.40	5.6	169.80	2037.00
			Total	2037

Fuente. Elaboración propia.

Considerando los costos de operación y mantenimiento anual de la aerobomba en un

5% de su costo total se estima en S/ 263, quedando una utilidad anual de S/ 1774.60.

3.2. Discusión

En la presente investigación el rotor tiene un diámetro de 3m, la torre mide 10 metros, el aerogenerador tiene 16 palas y se logra obtener un caudal de 2828.88 l/h de un pozo de profundidad de 8m. En la investigación de Padrón et al. [13], donde diseñaron un “Sistema hidráulico para riego por goteo con bombeo eólico en cultivo de plátano extradenso”, el rotor de su aerobomba mide de 10 pies (3.048m), con una torre de 10m de altura, logrando obtener 3150 l/h de un pozo de 18m de profundidad. Si bien el diseño propuesto en esta investigación tiene un menor caudal esto debido a la velocidad del viento promedio de la zona de 2.9 m/s, en el trabajo de Paredes Mejía [16], realizaron el análisis del viento utilizando el programa WRPLOT determinando una velocidad promedio de 7.4 m/s. Sandoval Chero [15], en su trabajo denominado “Diseño de una aerobomba para riego tecnificado, con energía eólica para el sembrío de papaya en la localidad de acerillo – Bagua – Amazonas”, su molino de viento tiene 12 palas, su rotor mide 2.6m.

En el trabajo “Diseño y cálculo de un sistema de bombeo económico y sostenible, para tierras eriazas en la asociación Huaman Tapara, de la localidad de Nuñoa” [14] se ha estimado que para regar 3 hectáreas de cultivo en el mes es necesario 12060 l/h, teniendo en cuenta este valor se puede determinar que el diseño propuesto en esta investigación permite regar 0.70 hectáreas por mes en tierras eriazas.

Bernabe y Castillo [17], diseñaron un Sistema Artesanal para extraer agua del subsuelo accionado por energía Eólica, pudiendo elevar el agua a una altura aproximada de 3.66 m, cuando el molino tiene 7 palas. La potencia obtenida por la bomba de pistón fue de 11.45 W. En la presente investigación la altura que puede elevar el agua la aerobomba es de 8 metros, y tiene una potencia de 93.52 w con 16 alabes.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

Según Villarubia López [28], para accionar una bomba mediante un aerogenerador se necesita una velocidad promedio del viento mínima de 2 a 3m/s, siendo la velocidad optima 7m/s. En la presente investigación para obtener los datos estadísticos del viento se ha calculado primero el año tipo o año medio, este año ha sido el promedio de los años 2018, 2019, 2020 y 2021, se han promediado la temperatura, la humedad, la velocidad y la dirección del viento, determinando que la velocidad promedio del viento es de 2.9 m/s, con una velocidad máxima de 9.0 m/s y mínima de 0.6 m/s, la dirección predominante del viento es suroeste. La velocidad del viento promedio de la zona si permite accionar la aerobomba.

Teniendo en cuenta la velocidad promedio del viento se ha diseñado cada una de las partes de la aerobomba de eje horizontal, esta cuenta con 16 alabes (aerogenerador multipala), un rotor de diámetro de 3 m que tiene una potencia de 93.52 W y una velocidad de giro de 1.93 rad/s. La bomba tiene un diámetro de succión de 6", una potencia de 87.84W y produce un caudal de 2828.88 l/h, y una altura máxima de elevación de 8m. La aerobomba permite extraer agua del subsuelo para uso doméstico, uso en la ganadería e incluso uso agrícola de la zona donde se implementará.

El eje del rotor está diseñado en acero AISI 1020 de 30mm; el sistema de transmisión, la biela y el vástago serán elaborados con acero ASTM A36. La torre que sostiene 150 kg, es decir el peso muerto del sistema, será elaborado con acero ASTM A36. Para el diseño se ha utilizado por general acero por su fácil soldabilidad y por su costo no tan elevado.

El costo total para la construcción de la aerobomba es de S/ 5260.10, considerando S/ 2158.40 costo de materiales, S/ 785.00 costo de maquinarias empleadas en la construcción, S/ 1440.00 costo de mano de obra, S/ 657.50 costos de ingeniería, S/ 219.50 imprevistos. Considerando los costos de funcionamiento y mantenimiento anual de la aerobomba en un 5% de su costo total se estima en S/ 263.00.

3.2. Recomendaciones

Para estudios energéticos y proyectos eólicos los datos estadísticos promedio del viento de un solo año no son representativos, se recomienda como mínimo manejar datos estadísticos del viento de períodos de 5 a 10 años. Los valores de estos años se deben promediar para obtener el año medio o año tipo. Se puede conseguir estos datos estadísticos utilizando los datos públicos de las centrales meteorológicas que están disponibles en algunas zonas.

Para el diseño de cada una de las partes que van a componer un proyecto eólico se recomienda realizar una evaluación de resistencia mecánica, el acero ASTM A36 es un material estructural muy utilizado para la construcción en proyecto eólicos, por su fácil soldabilidad.

Para la construcción de las palas del rotor (alabes) se deben utilizar materiales resistentes a la fatiga, por ejemplo, acero galvanizado, o resinas epóxicas sobre fibra de vidrio, aunque estas últimas aumentarían el costo de construcción.

Para evaluar el diseño se recomienda la construcción de un prototipo con todas las partes que componen la aerobomba, esta fue una limitante en la presente investigación.

REFERENCIAS

- [1] UNESCO & WMO, “The United Nations World Water Development Report 2,” 2006. [Online]. Available: <https://www.greenfacts.org/es/recursos-hidricos/l-2/2-disponibilidad.htm>
- [2] Global Water Partnership, “Aguas subterráneas y agricultura de regadío: haciendo una relación beneficiosa más sostenible,” Estocolmo, SUECIA, 2013. [Online]. Available: https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/perspective-papers/perspective-paper_gwp-and-irrigated-agriculture_spanish.pdf
- [3] S. Grondona, H. Massone, M. Gonzalez, and F. Bedmar, “Assessment of groundwater pollution hazard in agricultural areas; [EVALUACIÓN DEL PELIGRO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN ÁREAS AGRÍCOLAS],” *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 38, pp. 111 – 125, 2022, doi: 10.20937/RICA.54194.
- [4] M. Bruni, “Pozos perforados,” *Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox*, 2019. <https://sswm.info/water-nutrient-cycle/water-sources/hardwares/groundwater-sources/drilled-wells>
- [5] M. Bruni and D. Spuhler, “Manual Pumping,” *Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox*, 2018.
- [6] Autoridad Nacional del Agua, “Mantenimiento de pozos artesanales beneficiará a agricultores en el Valle de Chicama,” 2020. <https://www.gob.pe/institucion/ana/noticias/322188-mantenimiento-de-pozos-artesanales-beneficiara-a-agricultores-en-el-valle-de-chicama> (accessed Nov. 12, 2022).
- [7] O. A. Saputra and M. Syaifudin, “Design, analysis, and application of solar cell to drive water pump,” in *AIP Conference Proceedings*, 2019, vol. 2202. doi: 10.1063/1.5141726.
- [8] P. G. Munro *et al.*, “Towards a repair research agenda for off-grid solar e-waste in the Global South,” *Nat. Energy*, 2022, doi: 10.1038/s41560-022-01103-9.
- [9] H. Zhang, Z. Yu, C. Zhu, R. Yang, B. Yan, and G. Jiang, “Green or not? Environmental challenges from photovoltaic technology,” *Environ. Pollut.*, vol. 320, 2023, doi: 10.1016/j.envpol.2023.121066.
- [10] Y. Xu, J. Li, Q. Tan, A. L. Peters, and C. Yang, “Global status of recycling waste solar panels: A review,” *Waste Manag.*, vol. 75, pp. 450–458, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.036>.
- [11] H. Trivedi, A. Meshram, and R. Gupta, “Recycling of photovoltaic modules for recovery and repurposing of materials,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 11, no. 2, 2023, doi: 10.1016/j.jece.2023.109501.
- [12] B. Bonfils and M. S. Powell, “Initial application of a dynamic, mechanistic mill model,”

- in *IMPC 2018 - 29th International Mineral Processing Congress*, 2019, pp. 420 – 433. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85059436178&partnerID=40&md5=d857c361af1360d140731976b4c9cf0c>
- [13] E. A. Padrón Padrón, G. Crespo Sánchez, and J. P. Monteagudo Yanes, “Sistema hidráulico para riego por goteo con bombeo eólico en cultivo de plátano extradenso,” in *Conference: 13th International Congress of Higher Education*, 2021, no. February.
- [14] J. Huaman Gutierrez, “Diseño y cálculo de un sistema de bombeo económico y sostenible, para tierras eriazas en la asociación Huaman Tapara, de la localidad de Nuñoa,” Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2021. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.12773/13678>
- [15] J. D. Sandoval Chero, “Diseño de una aerobomba para riego tecnificado, con energía eólica para el sembrío de papaya en la localidad de Acerillo – Bagua – Amazonas,” Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, 2020. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12893/3826>
- [16] A. E. Paredes Mejía, “Diseño de una central generadora eólica para un sistema de bombeo hídrico en la comunidad de Aaca Atápulo parroquia Poaló cantón Latacunga provincia de Cotopaxi,” Universidad Técnica de Cotopaxi, 2019. [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5586>
- [17] R. M. Bernabe Bocanegra and B. D. Castillo Fernandez, “Diseño de un sistema artesanal para extraer agua del subsuelo accionado por energía eólica,” Universidad Nacional de Trujillo, 2017. [Online]. Available: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9853>
- [18] Clark and Briar, “¿Qué es el agua subterránea?,” 2001. <https://www.unigrac.org/es/es/que-es-agua-subterranea> (accessed May 22, 2022).
- [19] C. C. Palencia, M. M. Moreno, J. H. Díaz, F. R. Bermudo, and O. G. Menéndez, “Deep aquifers as strategic groundwater reservoir in Spain; [Los acuíferos profundos como reserva estratégica de agua subterránea en España],” *Bol. Geol. y Min.*, vol. 133, no. 3, pp. 7 – 26, 2022, doi: 10.21701/bolgeomin/133.3/001.
- [20] A. J. Fijałkowski, “Esquema del acuífero artesiano,” 2020. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Artesian_aquifer_scheme.svg
- [21] WikiWater, “E28 - Los diversos tipos de pozos y perforaciones. Generalidades.,” 2020. <https://wikiwater.fr/e28-los-diversos-tipos-de-pozos-y>
- [22] J. Smet and C. Wijk, *Small Community Water Supplies - Technology, People and Partnership*. IRC International Water and Sanitation Centre 2002, 2002.
- [23] B. Elson and R. Shaw, *Low-lift irrigation pumps*. 1999.
- [24] A. El Hammoui, S. Chtita, S. Motahir, and A. El Ghzizal, “Solar PV energy: From

- material to use, and the most commonly used techniques to maximize the power output of PV systems: A focus on solar trackers and floating solar panels,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 11992–12010, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.09.054>.
- [25] Osinergmin Perú, *Energías renovables*. Magdalena del Mar, Lima, Perú, 2019.
- [26] A. Vásquez, J. Tamayo, and J. Salvador, “La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático,” Lima-Perú, 2017. [Online]. Available: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf
- [27] V. S. F. Antunes, B. S. Borba, and B. H. Dias, “Analysis of the inclusion of wind-solar power plants in the planning of Brazilian electrical system,” in *SBSE 2018 - 7th Brazilian Electrical Systems Symposium*, 2018, pp. 1 – 6. doi: 10.1109/SBSE.2018.8395717.
- [28] M. Villarubia López, *Ingeniería de la Energía Eólica*. Barcelona, España: Marcombo, 2013.
- [29] Senhami - Perú, “Datos Hidrometeorológicos,” 2022.
- [30] E. Riva, “Diseño De Un Molino De Viento Para Extraer Agua Del Subsuelo , Para Riego En Zonas Rurales,” Universidad Nacional del Altiplano, 2018. [Online]. Available: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/8884/Riva_Osnayo_Elmer.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [31] J. Enciso and M. Mecke, “Utilizando energía renovable para bombear agua,” *Texas A&M Agrilife Commun.*, 2007.

ANEXOS

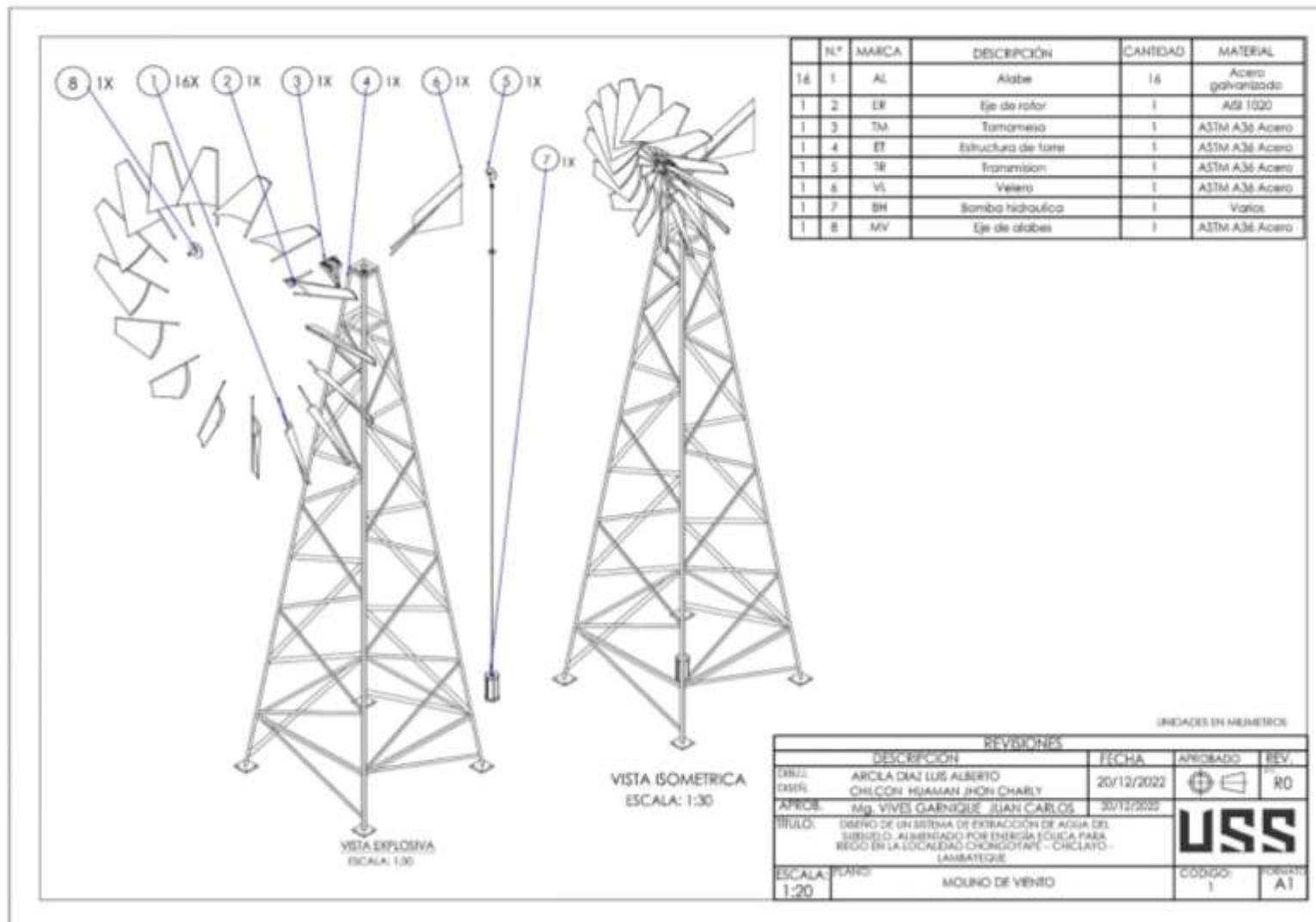
Anexo 1 – Datos del año tipo

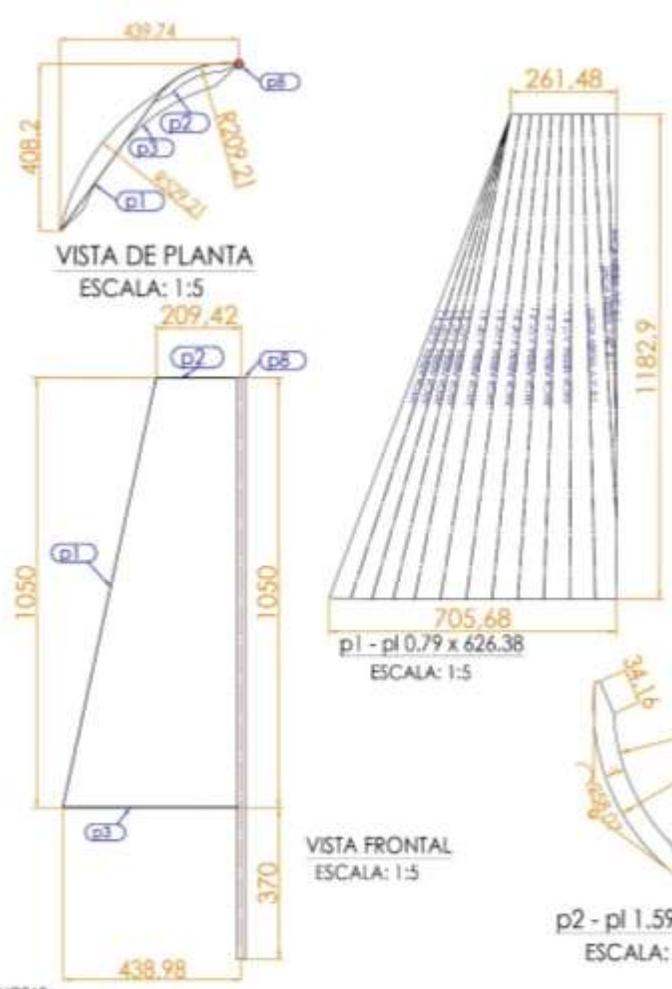
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	AÑO / MES / DÍA	HORA	año	Mes	Día	Hora x	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/ho)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO	VELOCIDAD DEL VIENTO (m)
2	1/01/2022	00:00	2022	1	1	0	21.6	0.0	83.5	192.3	2.5
3	1/01/2022	01:00	2022	1	1	1	21.2	0.0	85.3	186.8	2.0
4	1/01/2022	02:00	2022	1	1	2	20.9	0.0	87.0	172.3	1.4
5	1/01/2022	03:00	2022	1	1	3	20.4	0.0	89.5	148.0	1.2
6	1/01/2022	04:00	2022	1	1	4	20.0	0.0	91.8	135.3	0.8
7	1/01/2022	05:00	2022	1	1	5	20.0	0.0	92.0	163.3	0.9
8	1/01/2022	06:00	2022	1	1	6	20.0	0.0	91.5	170.5	1.1
9	1/01/2022	07:00	2022	1	1	7	19.9	0.0	93.5	143.5	0.9
10	1/01/2022	08:00	2022	1	1	8	21.8	0.0	86.8	194.0	0.7
11	1/01/2022	09:00	2022	1	1	9	24.6	0.0	73.3	228.8	1.0
12	1/01/2022	10:00	2022	1	1	10	26.8	0.0	63.3	183.8	1.2
13	1/01/2022	11:00	2022	1	1	11	28.1	0.0	59.0	269.0	1.8
14	1/01/2022	12:00	2022	1	1	12	29.4	0.0	54.8	221.5	2.2
15	1/01/2022	13:00	2022	1	1	13	30.2	0.0	52.3	200.5	3.4
16	1/01/2022	14:00	2022	1	1	14	30.8	0.0	50.5	187.0	4.0
17	1/01/2022	15:00	2022	1	1	15	30.2	0.0	52.0	204.0	5.6
18	1/01/2022	16:00	2022	1	1	16	29.5	0.0	53.5	203.3	6.2
19	1/01/2022	17:00	2022	1	1	17	28.1	0.0	56.8	203.5	6.0
20	1/01/2022	18:00	2022	1	1	18	26.7	0.0	60.8	200.8	6.2
21	1/01/2022	19:00	2022	1	1	19	25.3	0.0	65.0	197.0	5.7
22	1/01/2022	20:00	2022	1	1	20	24.5	0.0	68.5	188.5	4.0

Anexo 3 – Cálculo de la aerobomba

Torque	26.504 Nm		Fuerza de piston	
			Velocidad de flu	1.5508 m/s
Diametro de piston	6 in		Presion de bomb	79937.63 N/m ²
Carrera d piston	0.14 m		Fuerzo de piston	40.504995 N
Altura de bombeo	8 m			
Diametro de tuberi	1 in		Fuerza del agua en la bomba	
Altura de bomba	0.4 m		Fuerza del agua	71.364787 N
Pesos piston	2 kg			
Pesos 2/3 Vastago	9 kg		Volumen de carga de la bomba por rev.	
Pesos rotativos	5 kg		Vc	0.0025538 m ³
Altura de molino	10 m			
			Perdidas de carga	
Potencia hidraulica	87.84 W		Altura de aspirac	0.0545 m
Aceleracion del pis	0.26 m/s ²		Altura de descarg	0.371 m
Caudal	0.0007858 m ³ /s			
Pesos alternante	11 kg		Fuerzas de perdida	
Fuerza lineal el mo	378.63 N		Fper	75.914 N
			Finercia	2.858 N
			Frozamiento	18.321 N
			Felemento	156.960 N
			FperT necesaria	365.923 N

Anexo 4 – Planos





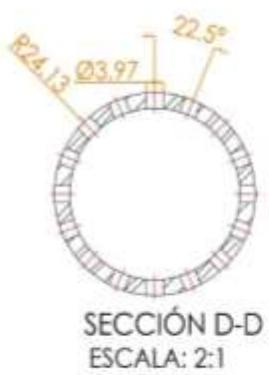
N.º	MARCA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD	CANTIDAD	MATERIAL	MASA UNIT [kg]
1	AL	Alabe		16	Acero galvanizado	4.92
1.1	p1	pl 0.79 x 626.38	1051.85	1	Acero galvanizado	2.81
1.2	p2	pl 1.59 x 33.49	219.06	1	Acero galvanizado	0.05
1.3	p3	pl 1.59 x 92.29	589.32	1	Acero galvanizado	0.27
1.4	p8	PIPE 0.5 SCH 40	1420	1	ASTM A36 Acero	1.79

- NOTAS:
- SE EMPLEARÁ LOS SIGUIENTES MATERIALES PARA SOLDADURA TÍPICA, SALVO OTRA INDICACIÓN.
 - A) ASTM A36 CON ASTM A36 — AWS-E7018.
 - B) ASTM A36 CON AISI 304 — AWS-E10-16.
 - C) AISI 304 CON AISI 304 — AWS-E308L-16.

UNIDADES EN MILIMETROS

2022	ARCILA DIAZ LUIS ALBERTO	20/12/2022		R0
2022	CHILCON HUAMAN JHON CHARY	20/12/2022		
2022	Mg. VIVES GARNIQUE JUAN CARLOS	20/12/2022		
TÍTULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUA DEL SUELO, ALIMENTADO POR ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN LA LOCALIDAD CHONGUYAPE - CHICLAYO - LAMBAYEQUE				
ESCALA:	1:5	NOMBRE:	Alabe	
EDICIÓN:	2	REVISIÓN:	A1	

N.º	MARCA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD	CANTIDAD	MATERIAL	MASA/UNIT (kg)
1	MV	Eje de alabes		1	ASTM A36 Acero	2.99
2	p4	PIPE 1.5 SCH 40	150	1	ASTM A36 Acero	0.60
3	p56	pl 6.35 x 250	250	1	ASTM A36 Acero	2.39



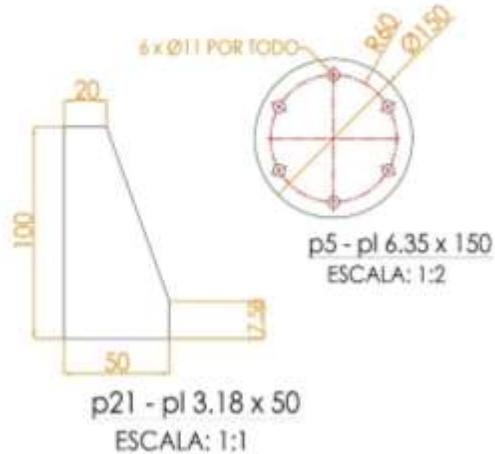
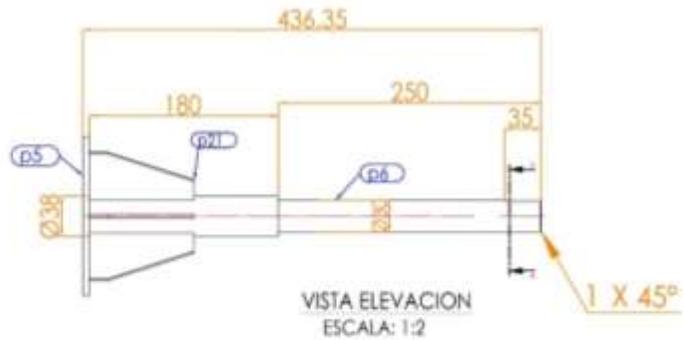
NOTAS:
1. SE EMPLEARÁ LOS SIGUIENTES MATERIALES PARA SOLDADURA TÍPICA, SALVO OTRA INDICACIÓN.
A) ASTM A36 CON ASTM A36 — AWS-E7018.
B) ASTM A36 CON AISI 304 — AWS-E10-16.
C) AISI 304 CON AISI 304 — AWS-E308L-16.

UNIDADES EN MILIMETROS

DIR:	AROLA DIAZ LUIS ALBERTO	20/12/2022		RO
DISE:	CHILCON HEAMAN SHON CHARLY			
APRO:	Mg. VIVES GABRIQUE JUAN CARLOS	20/12/2022		
TITULO:	DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUA DEL SUBSUELO, ALIMENTADO POR ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN LA LOCALIDAD CHÓNGOYAFE - CHICLAYO - LAMBAYEQUE			
ESCALA:	1:2	PLANO:	Eje de Alabes	
		CODIGO:	3	FORMATO: A1



N.º	MARCA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD	CANTIDAD	MATERIAL	MASA, UNIT [kg]
1	ER	Eje de rotor		1	AISI 1020	4.42
2	p5	pl 6.35 x 150	150	1	AISI 1020	0.86
3	p6	Eje de rotat	430	1	AISI 1020	3.00
4	p21	pl 3.18 x 50	100	6	AISI 1020	0.09

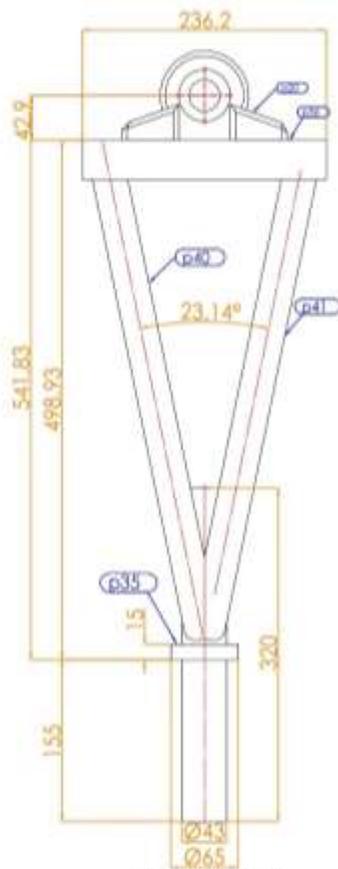


UNIDADES EN MILIMETROS

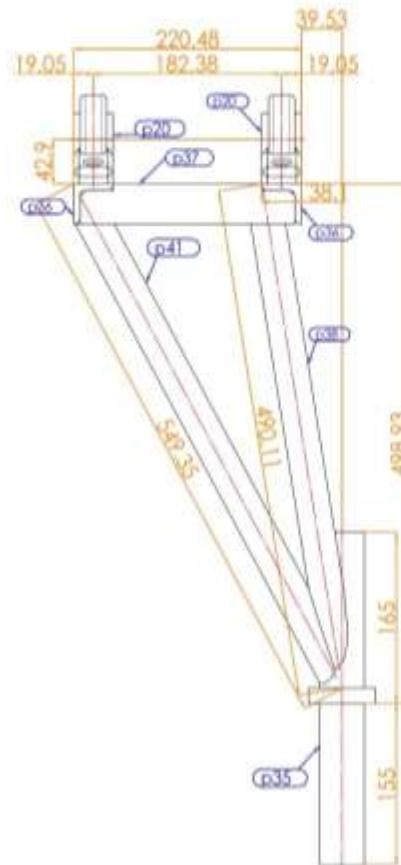
NOTAS:

- SE EMPLEARÁ LOS SIGUIENTES MATERIALES PARA SOLDADURA TÍPICA, SALVO OTRA INDICACIÓN.
A) ASTM A36 CON ASTM A36 — AWS-E7018.
B) ASTM A36 CON AISI 304 — AWS-E10-16.
C) AISI 304 CON AISI 304 — AWS-E308L-14.

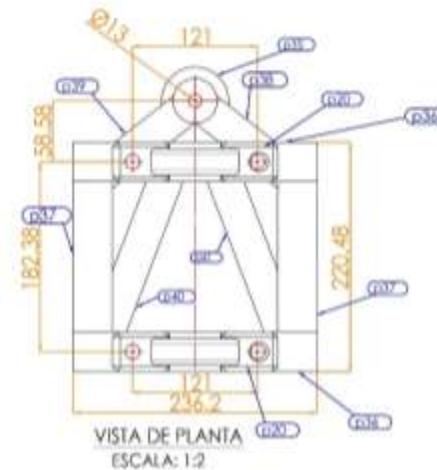
DR:	ARCILA DIAZ LUIS ALBERTO	20/12/2022		REV: R0
DIR:	CHILCOPI HUANANI JHON CHARLY			
APRO:	Mg. VIVES GARIBAYE JUAN CARLOS	20/12/2022		
PROY:	DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUA DEL SUBSUELO, ALIMENTADO POR ENERGÍA FÓLICA PARA RIEGO EN LA LOCALIDAD CHONGUYAPE - CHICLAYO - LAMBAYEQUE			
ESCALA:	1:2	TÍTULO:	Eje del Rotor	
		CÓDIGO:	4	FORMATO: A1



VISTA FRONTAL
ESCALA: 1:2



VISTA DE ELEVACION
ESCALA: 1:2



VISTA DE PLANTA
ESCALA: 1:2



VISTA ISOMETRICA
ESCALA: 1:5

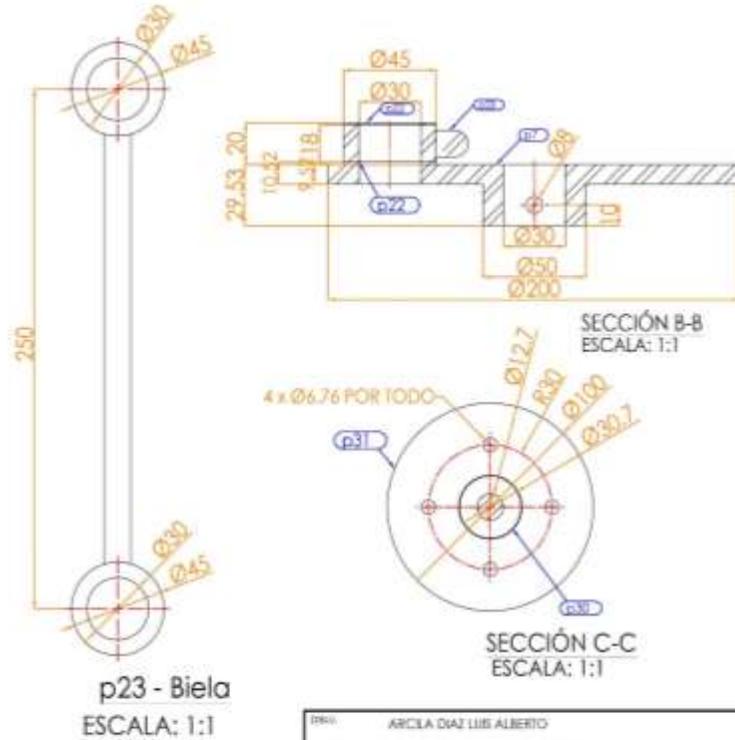
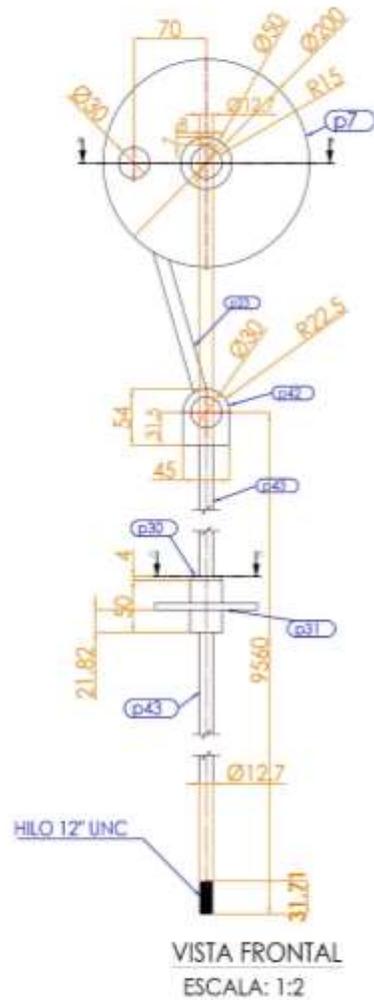
N°	MARCA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD	CANTIDAD	MATERIAL	MASA UNIT [kg]
1	3M	Tornamesa	-	1	ASTM A36 Acero	14.34
2	p20	Chumacera 30mm	-	2	ASTM A36 Acero	1.76
3	p35	Se de tornamesa	320	1	ABI 1020	3.53
4	p36	L1.5x1.5x0.25	236.2	2	ASTM A36 Acero	0.81
5	p38	PPE 1 SCH 40	475.12	1	ASTM A36 Acero	1.01
6	p37	L1.5x1.5x0.25	307.78	2	ASTM A36 Acero	0.60
7	p39	PPE 1 SCH 40	475.12	1	ASTM A36 Acero	1.01
8	p40	PPE 1 SCH 40	534.14	1	ASTM A36 Acero	1.22
9	p41	PPE 1 SCH 40	534.14	1	ASTM A36 Acero	1.22

NOTAS:

- SE EMPLEARÁ LOS SIGUIENTES MATERIALES PARA SOLDADURA TÍPICA, SALVO OTRA INDICACIÓN.
A) ASTM A36 CON ASTM A36 — AWS-E7018.
B) ASTM A36 CON A51 304 — AWS-E10-16.
C) A51 304 CON A51 304 — AWS-E308L-16.

UNIDADES EN MILIMETROS

DESA:	ARCLA DIAZ LUIS ALBERTO	20/12/2022		PRO:	R0			
DIEN:	CHILCON HUAMAN JHON CHARLY	20/12/2022						
APRO:	Mg. VIVES GARRIGUE JAHN CARLOS							
PRO:	DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUA DEL SUBSUELO, ALIMENTADO POR ENERGÍA EÓLICA PARA REGO EN LA LOCALIDAD CHONGUYAPE - CHICLAYO - LAMBAYEQUE							
ESCALA:	1:2	TÍTULO:	Tornameasa		CODIGO:	5	FORMATO:	A1

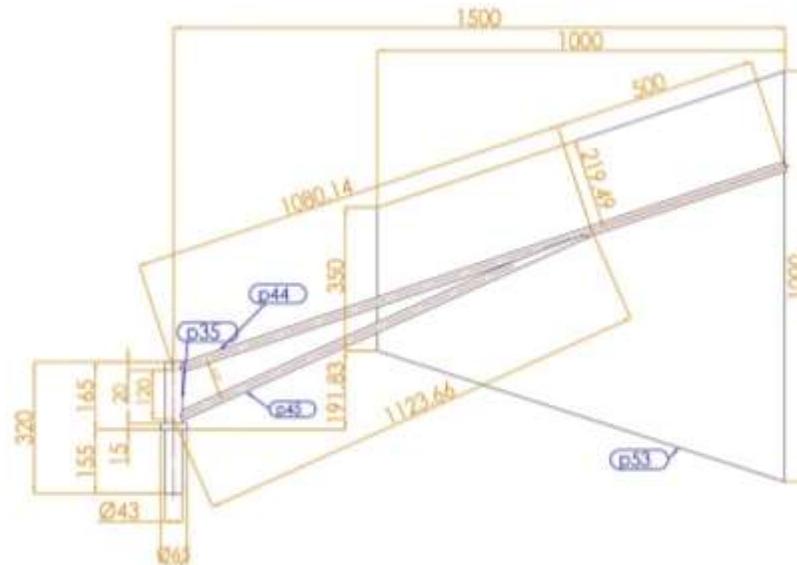


N.º	MARCA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD	CANTIDAD	MATERIAL	MASA UNIT [kg]
1	TR	Transmision		1	ASTM A36 Acero	13.26
2	p7	Plato cigueñal	-	1	ASTM A36 Acero	2.43
3	p22	pl 1 x 45	45	4	ABI 1020	0.01
4	p23	Biela	-	1	ABI 1020	0.45
5	p30	Bocina de varilago	54	1	Bronce	0.10
6	p31	Soporte de varilago	-	1	ASTM A36 Acero	0.51
7	p42	Orejas de varilago	-	1	ASTM A36 Acero	0.28
8	p43	Varilago	9700	1	ASTM A36 Acero	9.47

UNIDADES EN MILIMETROS

TRABAJADO POR	ARCILA DIAZ LUIS ALBERTO	FECHA	20/12/2022	REVISADO POR	RO
DISEÑADO POR	CHECOM HUAMAN JHON CHARLY	FECHA	20/12/2022		
APROBADO POR	Mg. VIVES GARRIQUE JUAN CARLOS				
TÍTULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUA DEL SUBSUELO, ALIMENTADO POR ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN LA LOCALIDAD CHONGYAPE - CHICLAYO - LAMBAYEQUE					
ESCALA	1:2	SISTEMA DE TRANSMISIÓN		CÓDIGO	6
				FORMATO	A1

N.º	MARCA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD	CANTIDAD	MATERIAL	MASA UNID (kg)
1	VL	Velero		1	ASTM A36 Acero	7.46
2	p44	PIPE 0.5 SCH 40	1561.47	1	ASTM A36 Acero	1.98
3	p53	pl 0.79 x 1000	1000	1	ASTM A36 Acero	4.21
4	p45	PIPE 0.5 SCH 40	1094.58	1	ASTM A36 Acero	1.28

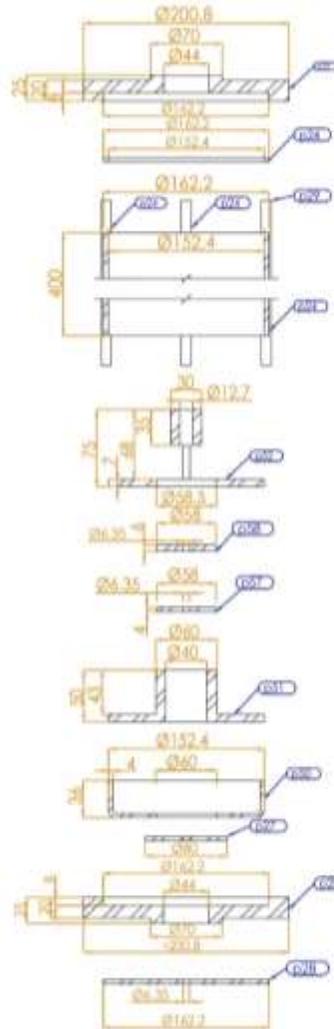


UNIDADES EN MILIMETROS

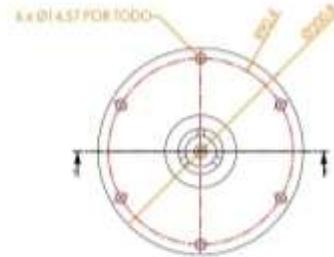
NOTAS:

- SE EMPLEARÁ LOS SIGUIENTES MATERIALES PARA SOLDADURA TÍPICA, SALVO OTRA INDICACIÓN.
A) ASTM A36 CON ASTM A36 --- AWS-E7018.
B) ASTM A36 CON AISI 304 --- AWS-E10-16.
C) AISI 304 CON AISI 304 --- AWS-E308L-16.

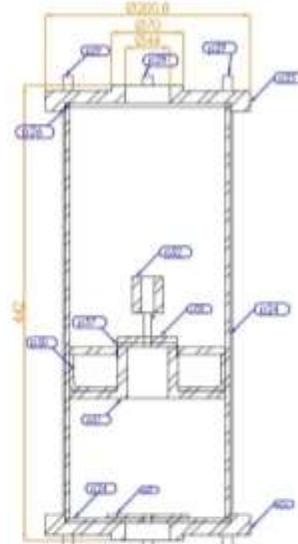
DIR:	ARCELA GAZ LIS ALBERTO	20/12/2022		REP:	RO			
DIR:	CHICOM HUANAN BON CHARLY	20/12/2022						
DIR:	Mg. VIVES GARNIQUE JUAN CARLOS							
TITULO:	DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUA DEL SUBSUELO, ALIMENTADO POR ENERGÍA FÓLICA PARA RIEGO EN LA LOCALIDAD CHONGOTAPE - CHICLAYO - LAMBAYEQUE							
ESCALA:	PLANO	Velero			CODIGO:	7	FORNADO:	AI



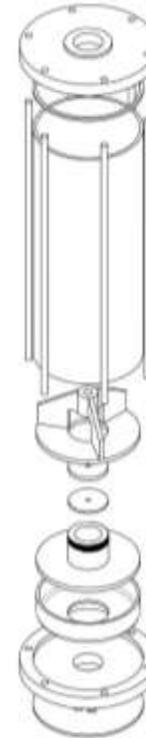
SECCIÓN E-E
ESCALA: 1:2



VISTA PLANTA
ESCALA: 1:2



VISTA DE ENSAMBLE
ESCALA: 1:2

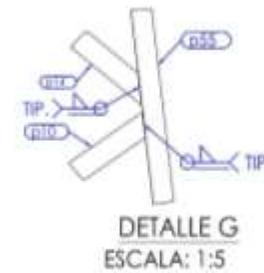
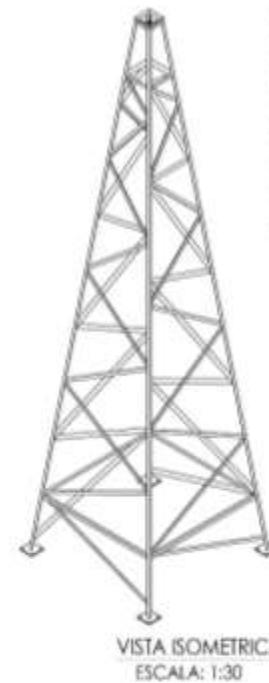
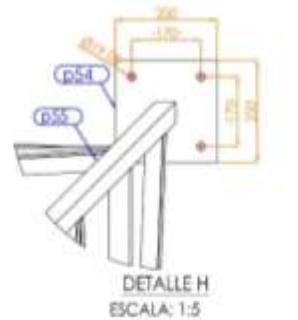
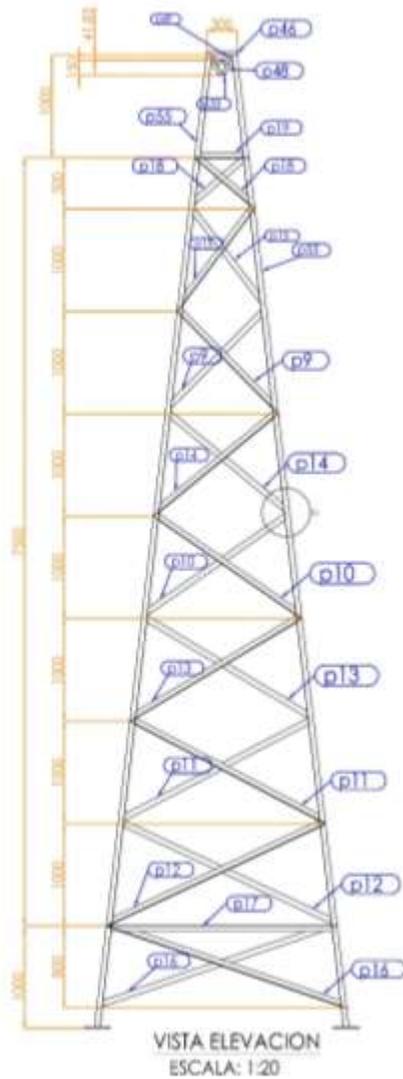


VISTA ISOMETRICA
ESCALA: 1:3

Nº	MARCA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD	CANTIDAD	MATERIAL	MASA (NIT) (kg)
1	BR	Bomba hidráulica	-	1	Varios	25.12
2	p24	Cámbra de bomba 4	400	1	PVC	7.40
3	p25	Tapón de bomba	-	2	Aluminio 6061	3.55
4	p26	Empaquetadura	-	1	ASTM A34 Acero	0.58
5	p27	Ø 4 x 80	80	1	Aluminio 6061	0.14
6	p28	Empaquetadura volante	-	1	Cucho mokulap	0.42
7	p29	Perno 3/8"	400	4	ASTM A34 Acero	0.24
8	p30	Sello de pistón de bomba	-	1	Cucho mokulap	0.91
9	p31	Pistón de bomba 2	-	1	Aluminio 6061	1.46
10	p32	Pistón de bomba 1	-	1	Aluminio 6061	1.40
11	p37	Ø 4 x 38	38	1	Cucho mokulap	0.58
12	p38	Ø 4 x 58	58	1	Aluminio 6061	0.12

UNIDADES EN MILIMETROS

DRU:	ARCILA DIAZ LIS ALBERGO	20/12/2022	REV. R0
DIR:	CHILCON HUAMAN JHON CHARLY		
APR:	Mg. VIVES GARRIQUE JUAN CARLOS	20/12/2022	
TITULO:	DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUA DEL SURSUELO, ALIMENTADO POR ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN LA LOCALIDAD CHONGOYAPE - CHILLAYO - LAMBAYEQUE		
ESCALA:	1:2	TABLA:	Bomba Hidraulica
		CÓDIGO:	8
		FOLIO:	A1



NO	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR	VALOR
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

UNIDADES EN MILIMETROS

DIAM:	ARCILA DIAZ LIS ALBERTO	20/12/2022	REV:	RO
DIR:	CHILCOCH HUAMAN JHON CHARLY			
PROY:	Mg. VIVES CARRIQUE JUAN CARLOS	20/12/2022		
PROY:	DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUA DEL SUBSUELO, ALIMENTADO POR ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN LA LOCALIDAD CHONGOYAPE - CHICLAYO - LAMBAYEQUE			
ESCALA:	1:20	TITULO:		Extructura de la Torre
		CODIGO:	9	FOLIO:
				A1