

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS.
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**“DISEÑO DE UN MOLINO DE VIENTO PARA EXTRAER
AGUA DEL SUBSUELO, PARA RIEGO EN ZONAS
RURALES”**

TESIS PRESENTADA POR:

ELMER RIVA OSNAYO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO MECÁNICO
ELECTRICISTA
TÍTULO PROFESIONAL A OBTENER**

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

**“DISEÑO DE UN MOLINO DE VIENTO PARA EXTRAER AGUA DEL
SUBSUELO, PARA RIEGO EN ZONAS RURALES”**

TESIS PRESENTADA POR:

ELMER RIVA OSNAYO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20-JULIO-2018

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:



PRESIDENTE:

M. Sc. JUAN RENZO ILLACUTIPA MAMANI

PRIMER MIEMBRO:

M. Sc. ANGEL MARIO HURTADO CHAVEZ

SEGUNDO MIEMBRO:

Ing. OMAR LUIS NEIRA CUTIPA

DIRECTOR / ASESOR:

M. Sc. LEONARDO PAYE COLQUEHUANCA

Área : Energías renovables.

Tema : Energía Eólica.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano mi Alma Mater carrea profesional de ingeniería Mecánica Eléctrica. Por haberme formado como profesional para desenvolverme en la sociedad.

Agradezco a mi Padres, amigos y compañeros de la carrera profesional de ingeniería Mecánica Eléctrica por su apoyo incondicional

Elmer Riva

DEDICATORIA

Dedico este trabajo profesional a la memoria de mi Madre Rosa Alicia Osnayo Nina por haberme apoyado durante toda mi formación profesional.

Con mucho cariño a mi Padre Francisco Riva y mis hermanas Amparo, Esmeralda y Mayela por brindarme su apoyo incondicional durante la elaboración de mi trabajo profesional.

A mi pareja Sisa Libertad Salas y a mi hijo Uriel Leonardo Riva quienes son mi motor en mi vida, no habrá nada más en el mundo que produzca la motivación, la pasión, la energía para trabajar y concluir esta meta.

Elmer Riva

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	11
RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	13
CAPITULO I.....	14
1.1 INTRODUCCIÓN.	14
1.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	16
1.2.1 PROBLEMA GENERAL.....	16
1.2.2 PROBLEMAS ESPECIFICOS.....	16
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	17
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	17
CAPITULO II	18
REVISIÓN DE LITERATURA	18
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
2.2 SUSTENTO TEÓRICO.....	20
2.2.1 ANTECEDENTE HISTÓRICO.....	20
2.3 EL MOLINO DE VIENTO.....	21
2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS MOLINOS.....	21
2.4.1 POR POSICIÓN DEL EJE DEL ROTOR.....	22
2.4.2 POR POTENCIA DE LOS MOLINOS.....	23
2.4.3 POR LA SUPERFICIE DONDE SE SUSTENTA EL AEROGENERADOR.....	24
2.4.4 EN FUNCIÓN DEL RÉGIMEN DE GIRO.....	24
2.5 COMPONENTES Y PARTES DEL MOLINO.....	24
2.5.1 EL ROTOR.....	25
2.5.1.1 LAS ASPAS.....	27
2.5.1.2 EL BUJE.....	28
2.5.1.3 ROTORES DE EJE VERTICAL.....	28
2.5.2 CONJUNTO DE TRANSMISIÓN.....	29
2.5.3 LA VELETA.....	30
2.5.4 ESTRUCTURA DEL SOPORTE.....	30
2.5.5 CONTROL.....	31

2.5.6 SISTEMA DE SEGURIDAD.....	32
2.6 BOMBA HIDRÁULICA.....	34
2.6.1 TIPOS DE BOMBAS.....	35
2.7 EL RECURSO EÓLICO.....	37
2.7.1 FACTORES QUE MODIFICAN LA ENERGÍA DEL VIENTO.....	37
2.7.2 LA ENERGÍA DEL VIENTO.....	38
2.7.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL VIENTO.....	40
2.7.4 HIPÓTESIS GENERAL.....	41
2.7.5 HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	41
2.7.6 ESCALA DE BEAUFORT.....	41
2.7.7 MAPA EOLICO DEL PERU Y PUNO.....	43
2.7.8 TRIANGULO DE VIENTOS.....	45
CAPITULO III.....	49
MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
3.1 TIPO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	49
3.2 DISEÑO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	49
3.3 POBLACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	49
3.4 MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.....	49
3.5 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN.....	49
CAPITULO IV.....	50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	50
4.2 CÁLCULO DEL ROTOR.....	50
4.2.1 VELOCIDAD DE GIRO DEL ROTOR.....	53
4.2.2 VELOCIDAD ANGULAR.....	53
4.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOLINO.....	53
4.4 DETERMINACIÓN DE LA BOMBA.....	54
4.5 CAUDAL DE BOMBEO.....	55
4.6 POTENCIA HIDRÁULICA DE LA BOMBA.....	55
4.6.1 FUERZAS QUE ACTÚAN EN LA BOMBA.....	56
4.6.1.1 FUERZAS EN EL PISTÓN DEBIDO A LA COLUMNA DE AGUA EN LAS TUBERÍAS.....	56
4.6.1.2 FUERZA DEL AGUA DENTRO DE LA BOMBA.....	57
4.6.1.3 VOLUMEN DE CARGA DE LA BOMBA.....	58
4.6.1.4 PERDIDAS DE CARGA REGULARES.....	59
4.6.1.5 PERDIDAS DE CARGAS SINGULARES.....	63

4.6.1.6 ACCELERACIÓN DEL PISTÓN.....	65
4.7 CÁLCULO DE LAS PALAS.....	68
4.8 LA BIELA.....	73
4.9 VARILLA SUPERIOR.....	76
4.10 EJE DE TRANSMISIÓN.....	78
4.11 PLATO MANIVELA.....	80
4.12 PLACA GUIA – VELETA.....	82
4.13 VELETA AUXILIAR.....	85
4.14 EJE PRINCIPAL.....	86
4.15 TORNAMESA.....	90
4.16 EJE DE TORNAMESA.....	94
CAPITULO V.....	96
CONCLUSIONES.....	96
CAPITULO VI.....	97
RECOMENDACIONES.....	97
CAPITULO VII.....	98
REFERENCIAS.....	98
ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1 : Molino de viento tradicional	21
Figura N° 2.2: Rotor eje vertical	22
Figura N° 2.3: Componentes de un sistema de aerobombeo.....	25
Figura N° 2.4: Rotor multipala	26
Figura N° 2.5: Rotor multipala americano, Holandés y gaviota	27
Figura N° 2.6: Molinos Savonius y Darriux	28
Figura N° 2.7: Veleta	30
Figura N° 2.8: Torre.....	31
Figura N° 2.9: Sistema de seguridad y orientación con cola trasera.....	34
Figura N° 2.10: Bomba de pistón.....	35
Figura N° 2.11: triangulo de vientos	46
Figura N° 2.12: Teorema de senos y cosenos	48
Figura N° 4.1: Pala de Molino	69
Figura N° 4.2: Radios de una Pala	70
Figura N° 4.3: Forma de una Pala.....	71
Figura N° 4.4: Dirección de una pala.....	72
Figura N° 4.5: Biela del Molino.....	74
Figura N° 4.6: Varilla Superior	76
Figura N° 4.7: Eje de Transmisión.....	78
Figura N° 4.8: Plato Manivela	80
Figura N° 4.9: Placa Guía - Veleta	82
Figura N° 4.10: Medidas Placa Guía - Veleta.....	82
Figura N° 4.11: Medidas Armadura Veleta	83
Figura N° 4.12: Veleta Auxiliar	85
Figura N° 4.13: Medidas aleta	85
Figura N° 4.14: Eje Principal	87
Figura N° 4.15: Esquema de las fuerzas ejercidas sobre el eje del rotor	87
Figura N° 4.16: Diagrama de momentos flectores en el eje.....	89
Figura N° 4.17: Tornamesa.....	90
Figura N° 4.18: Diagrama de cuerpo libre de la estructura principal	91
Figura N° 4.19: Diagrama de cortes y momentos en la viga.....	92



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1: Escala de Beaufort.....	42
Tabla N° 2.2: Atlas eólico del Perú.....	43
Tabla N° 2.3: Atlas Eólico de Puno	44
Tabla N° 4. 1: Atlas Eólico de Puno (Zoom).....	51
Tabla N° 4.2: Comparación Diámetros – N° de palas para turbinas de viento	52
Tabla N° 4.3: Tabla de Capacidades de Bombeo.....	54
Tabla N° 4.4: Valores del Coeficiente K para Diversos Accesorios.....	63
Tabla N° 4.5: Potencia aportada por el rotor con relación al radio y eje del rotor.....	69

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

A:	Área.
A_b :	Área de bomba.
a:	Aceleración del pistón.
A_{mas} :	Aceleración máxima.
D:	Diámetro.
e:	Espesor plancha.
F:	Fuerza.
g:	Gravedad.
H:	Altura.
K:	Coefficiente de pérdidas en ductos.
m:	Masa.
M:	Momento.
M_{MAX}	Momento Máximo.
Re:	Numero de Reynolds.
S:	Carrera de Pistón.

RESUMEN

El diseño de un objeto o elemento permite establecer un modelo que permite verificar su comportamiento y es factible de ser mejorado, al hacer el análisis de su comportamiento, mediante la medida de sus variables o parámetros. El paso inicial de una investigación es realizar el diseño y el segundo paso es la construcción, y el cuarto paso es el análisis de su comportamiento y el siguiente es la modificación de sus variables que permita mejorar su eficiencia y el último paso es volver al paso inicial, hasta encontrar el diseño eficiente. Entonces cualquier modelo es mejorado al eliminar sus limitaciones o incluir mayor cantidad de parámetros que lo definan y controlen de forma más precisa. El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar el diseño de los mecanismos que sirvan para realizar el siguiente paso que es construir un molino multipala. Un molino obtiene su potencia convirtiendo la fuerza del viento en un par de fuerza de giro actuando sobre las palas del rotor, esta energía es transferida por una chumacera a un émbolo que tiene sujeto una bomba que succiona el agua de un pozo y lo eleva hasta un depósito, el trabajo se justifica por que se desarrolla debido a la necesidad de implementar en la región de Puno, el uso de los molinos de viento para extraer agua en las zonas rurales, donde se puede utilizar en consumo diario en servicios, irrigación, para ganado.

Palabras Clave: Molino, Bomba de agua, viento, región rural, Puno.

ABSTRACT

The design of an object or element allows you to establish a model that allows to verify their behavior and is likely to be improved to make the analysis of their behavior, through the measurement of their variables or parameters. The initial step of an investigation is the design and the second step is the construction, and the fourth step is the analysis of their behavior and the following is the modification of its variables that can improve its efficiency and the last step is to return to the initial step, until you find the efficient design. Then any model is improved to eliminate their limitations or include as many parameters that define it and control more precisely. The present work aims to develop the design of mechanisms that serve to make the next step which is to build a mill all. A mill obtains its power becoming a torque of rotation the force of the wind acting on the blades of the rotor, this energy is transferred by a bearing to a piston that has subject a pump that sucks the water from a well and elevates him to a tank, work is justified by that develops due to the need to implement in the Puno region the use of windmills to extract water in rural areas, where you can use in daily consumption in services, irrigation, livestock.

Key Words: mill, water pump, wind, rural region, Puno.

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN.

El agua es un recurso primordial para la vida en el campo, es el recurso que hace fluir la vida de la agricultura, de la actividad pecuaria en el consumo de las gentes del campo y en todas sus actividades, la escasa fuente de ríos o aguas superficiales, hace que sus actividades se centren en torno a las estaciones de lluvias, que es donde se proveen de agua para sus cosechas, las que solo constituyen o se pueden realizar entre los meses de setiembre a febrero que terminan las cosechas.

El presente trabajo no pretende solucionar ese problema, pero si pretende poner una opción al alcance del poblador rural para que aproveche la fluencia de las aguas subterráneas, que por la cercanía de la cordillera existe en abundancia como lo tiene registrado el Programa de Recuperación de Aguas subterráneas (PRORIDRE).

El trabajo inicia con el análisis general de los conceptos básicos, necesarios para el cálculo de los molinos de viento, de los cuales tenemos los molinos lentos y los rápidos, para efectos del objetivo, se eligen el de velocidad lenta, pero de alto torque, y de los lentos el de manivela, por ser la más económica y de fácil construcción.

Seguidamente se realiza el análisis de sus parámetros mecánicos, para desarrollar el diseño del modelo, que se adapte a nuestra región, para finalizar realizando el trazo del dibujo técnico del diseño final, concluyendo en un diseño económico y explicado de forma elemental para su construcción.

El presente trabajo del proyecto de tesis ha sido elaborado en siete capítulos, siendo el CAPITULO I, se presentan los contenidos de este proyecto de investigación y una breve descripción del problema de la evaluación del potencial eólico, propuesta que busca una alternativa más viable para el diseño de un molino de viento para la explotación

de agua del subsuelo, para así determinar los factores que intervienen en la explotación agrícola y pecuaria de la zonas rurales del departamento de Puno.

En el CAPITULO II, se presentan los antecedentes de investigación y antecedentes históricos que se realizaron respecto a la presente tesis, describiendo de manera clara y concisa la literatura empleada en la elaboración del proyecto de tesis.

En el CAPITULO III, se presenta el tipo de investigación, la población, muestra y ubicación de la investigación a desarrollarse.

En el CAPITULO IV, se presentan el análisis del resultado y discusión realizado al cálculo y determinación de los diferentes componentes del molino de viento, de acuerdo al viento promedio y la profundidad de la napa freática.

En el CAPITULO V – VI, se presentan las conclusiones y recomendaciones a las cuales el presente trabajo del proyecto de tesis.

Finalmente, en el CAPITULO VII, se presentan las referencias bibliográficas respecto al proyecto de investigación, también se presentan los anexos y los planos de fabricación.

1.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA.

En los últimos años, los gobiernos no han dado importancia a la producción agrícola, y en la zona de la región Puno, no existen irrigaciones de importancia que permitan al poblador rural, incidir en la producción agrícola debido a que solo se siembra en temporada de lluvias, De igual forma la producción de leche en las zonas pecuarias, su producción es limitada por la falta de agua, sin embargo por la hoya del lago Titicaca se tiene un cantidad de ríos subterráneos y una capa freática muy rica que se puede explotar mediante el uso de molinos de viento, que extraigan está agua subterránea para su explotación agrícola, pecuaria e industrial.

1.2.1 PROBLEMA GENERAL.

- El problema general se plantea mediante las siguientes interrogantes: ¿Cómo se obtiene agua para el desarrollo de la producción agrícola en las zonas rurales de la región Puno?
- ¿Se puede adecuar la tecnología de los molinos de viento, para aprovechar el agua del subsuelo para riego tecnificado y así obtener cosechas anuales y no por temporada de lluvias?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECIFICOS.

- ¿Qué factores intervienen para que no se desarrolle la explotación agrícola y pecuaria?
- ¿Qué alternativas presenta la implantación de molinos para el desarrollo tecnificado de irrigación, para la extracción de agua del subsuelo?

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

Desarrollando el trabajo de tesis se podrá determinar la mejor alternativa tecnológica de un molino de viento que permita la explotación del agua subterránea de las zonas rurales.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.

1.4.1 OBJETIVO GENERAL.

- Diseñar un molino de viento para la explotación de agua del subsuelo.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Determinar los factores que intervienen en la explotación agrícola y pecuaria de la zona rural.
- ¿Qué alternativas presenta la implantación de molinos para el desarrollo tecnificado de irrigación, para la extracción de agua del subsuelo?
- Definir la alternativa más viable para la implementación de molinos de viento para tecnificar la extracción del agua del subsuelo.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

Se tiene las investigaciones realizadas como tema de tesis siguientes, que han servido de consulta y guía para la presente investigación:

- Mantenimiento, monitoreo y mejoras de una aerobomba utilizada para irrigación de agua en la comunidad de Chican Paute. Tesis para obtener el título de ingeniero de Santiago Fernando Álvarez Sanango y Carlos Guillermo Togra Pesantez. Universidad “Politécnica Salesiana, sede cuenca 2014. Ecuador
- “Análisis de viabilidad técnica de las aerobombas para el riego localizado”, tesis doctoral de Manuel Esteban Peillon Mesa de la Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos Madrid 2013.
- “Estudio, diseño y construcción de un prototipo de generador eólico para el sector costero de la XIV región, en corral Universidad Austral de Chile” Facultad de Ciencias de la Ingeniería, escuela de ingeniería Civil. Tesis de Richard Alex Velásquez Cárcamo, para optar al título de Ingeniero Electrónico. VALDIVIA - CHILE, 2010
- Deyoran, M., (2006) en su Trabajo de Grado titulado “Modelo Aerodinámico a Escala del Rotor de una Turbina Eólica” [3]. Presentado ante la Universidad del Zulia, para optar al Título de Ingeniero Mecánico y tuvo como objetivo principal “Proponer un Modelo Aerodinámico a escala del Rotor de una Turbina Eólica”. Ésta investigación tiene un gran valor teórico y metodológico ya que durante el desarrollo de la misma se dan a conocer procesos de diseño y fabricación de rotores de turbinas eólicas, parámetros de la forma de los

alabes aerodinámicos que conforman la turbina, así como también características del mismo.

- Debido a los objetivos que definen esta investigación se puede decir que enmarca como un Proyecto Factible ya que en ella se propone el diseño y construcción de un modelo en donde se desarrollaran procesos y métodos, sustentada en revisión documental y experimental a nivel explicativo y descriptivo. Por consiguiente, el desarrollo aerodinámico a escala se basó en teorías existentes que hay que tomar en cuenta, lo que contribuye notablemente en el diseño de esta investigación.
- Méndez, R., Villasana, R., (2006) en su trabajo de grado titulado “Análisis de Pre-Factibilidad Técnica-Comercial para el Desarrollo de una Granja de Viento en la Isla de Margarita, Venezuela” [4] presentado ante la Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada, Núcleo Maracay, para optar los títulos de Ingenieros Eléctricos el cual tuvo como objetivo Analizar la Pre- Factibilidad Técnica-Comercial para el Desarrollo de una Granja de Viento en la Isla de Margarita, Venezuela con la finalidad de identificar el sitio potencial y características básicas de diseño de la granja de viento.

2.2 SUSTENTO TEÓRICO.

2.2.1 ANTECEDENTE HISTÓRICO.

En 1724 Leopold Jacob proyecta un molino de ocho palas que mueve una bomba de pistón; En 1854 en Connecticut Daniel Halladay inventó, la versión americana del molino de viento puede extraer agua a cientos de metros bajo la superficie, en 1883 aparece el pequeño multipala americano diseñado por Steward Perry. De unos 3 metros de diámetro para bombeo, el diseño ha sido prácticamente el mismo desde entonces.

En los aerogeneradores, está la turbina danesa de Lacourt (1892), con potencias entre 5 y 25 Kw. La teoría de la aerodinámica se desarrolla durante las primeras décadas del siglo XX, permitiendo comprender la naturaleza y el comportamiento de las fuerzas que actúan alrededor de las palas de las turbinas, con científicos como Joukowski, Drzewiechy y Sabinin en Rusia; Prandtl y Betz en Alemania; Constantin y Enfield en Francia, para fines aeronáuticos, son los que establecen los criterios básicos que deben cumplir las turbinas eólicas. Betz demostró en su famoso artículo "Die Windmuhlen im lichte neverer Forschung", (Berlín 1927), que el rendimiento de las turbinas aumentaba con la velocidad de rotación y que, en cualquier caso, ningún sistema eólico podía superar el 60% de la energía contenida en el viento. Por lo tanto, los nuevos rotores debían funcionar con elevadas velocidades de rotación para conseguir rendimientos más elevados. La teoría demostró también que cuanto mayor era la velocidad de rotación menor importancia tenía el número de palas, por lo que las turbinas modernas podían incluso construirse con una sola pala sin que disminuyera su rendimiento aerodinámico (Fernandez, 2003)

2.3 EL MOLINO DE VIENTO.

Un molino de viento es una máquina capaz de transformar en un eje, de forma eficiente, la energía cinética del viento en energía mecánica. La energía producida es aprovechada en diferentes aplicaciones como bombeo o en producción de energía eléctrica, en el presente trabajo se hace el análisis de las turbinas y sus palas orientados a la conversión de la energía cinética del viento en energía mecánica, para la extracción de agua o bomba de agua.



Figura N° 2.1 : Molino de viento tradicional

Elaboracion propia

El acoplamiento entre el rotor y la barra se realiza con un mecanismo de biela y manivela

2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS MOLINOS.

La energía del viento se obtiene por dos tipos de molinos, de eje vertical y de eje horizontal.

2.4.1 POR POSICIÓN DEL EJE DEL ROTOR.

Eje vertical. El primer molino de viento vertical, tenía un sólo eje vertical y las aspas estaban conectadas directamente a éste en forma de dos palas curvas a lo largo del eje. Los más conocidos son el Savenius que está formado por dos semicilindros huecos decalados. Tiene un gran par de arranque por lo que suele usarse para bombeo de agua. Otro modelo más avanzado es el de Darrerius, más competitivo, consiste en aspas verticales con perfil aerodinámico. Requiere un arrostramiento, lo que limita su altura y con ello su potencia nominal.

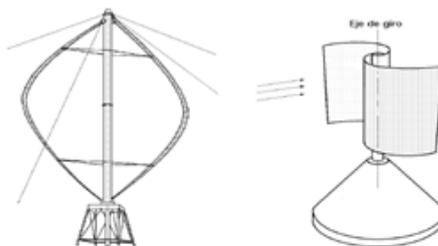


Figura N° 2.2: Rotor eje vertical

Fuente: Tecnologías energéticas renovables censolar

Eje horizontal. Son los más comunes son lentos como el multipala y rápidos como los aerodinámicos o de hélice.

El molino multipala, Son los más comunes y constan de una estructura como base, de una altura considerable, que contiene en el extremo superior una serie de aspas o palas similares a las de un ventilador, accionadas por la fuerza del viento, que las hace girar y a través de su mecanismo generan la fuerza para accionar un artefacto que convierta la energía eólica en mecánica. (Tipos, 2016).

El molino aerodinámico o de hélice, Tienen las palas un modelo aerodinámico que hace desarrollar velocidades mayores que los multipala. La velocidad lineal en la punta de la pala varía de 6 a 14 veces la velocidad del viento incidente en condiciones de diseño. Son utilizadas en la generación de energía eléctrica. Se caracterizan por tener tres, dos o una pala. Los Tripala, son los más utilizados actualmente, presentan mayor suavidad en el giro. Bipala: tienen un giro menos estable pero al aumentar el tamaño del rotor se usan más por la reducción de peso y coste que supone. Monopala formada por una única pala con un contrapeso en el otro extremo que compense el giro. Así éste se realiza de una forma lo más suave posible.

2.4.2 POR POTENCIA DE LOS MOLINOS.

Aerobombas: en gran número y generalmente de tipo multipala, con regímenes de giro entre 5 y 15 r.p.m. Son capaces de dar un par de arranque, óptimo para mover bombas alternativas.

Aerogeneradores de muy pequeño tamaño: son generadores que sirven para cargar baterías, de menos de 20 kW. Sirven para proporcionar energía eléctrica a asentamientos aislados. También sirven para alimentar balizas luminosas o radioeléctricas u otras instalaciones remotas.

Aerogeneradores de pequeño tamaño: (20 kW a 100 kW)

Aerogeneradores de medio tamaño: (100 kW a 1 MW)

Aerogeneradores de gran tamaño: (>1 MW)

2.4.3 POR LA SUPERFICIE DONDE SE SUSTENTA EL AEROGENERADOR.

Aerogeneradores terrestres

Aerogeneradores off-shore

2.4.4 EN FUNCIÓN DEL RÉGIMEN DE GIRO.

Aerogeneradores de giro rápido (aerodinámico)

Aerogeneradores de giro lento (multipala)

2.5 COMPONENTES Y PARTES DEL MOLINO.

Existen muchos tipos de molino de viento; sin embargo, todos los molinos de viento contienen los mismos componentes básicos. Para realizar la máquina de conversión de energía eólica en mecánica, se requiere que cuando la velocidad del viento incide sobre el molino esta presiona las palas produciendo fuerzas que desarrollan un par mecánico y esfuerzos sobre los elementos mecánicos del Molino en conjunto. El par mecánico desarrollado por la turbina, cuando está girando a una determinada velocidad, produce una potencia mecánica que se transmite a una chumacera. En este proceso de conversión de energía intervienen fundamentalmente: el rotor eólico que es el elemento que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica, el tren de potencia que transmite la potencia mecánica desarrollada por la turbina, se puede adicionar dispositivos electrónicos para controlar la velocidad de giro, frenar o girar el rotor ante una presión del viento superior a lo calculado. Los componentes mecánicos que componen el molino son:

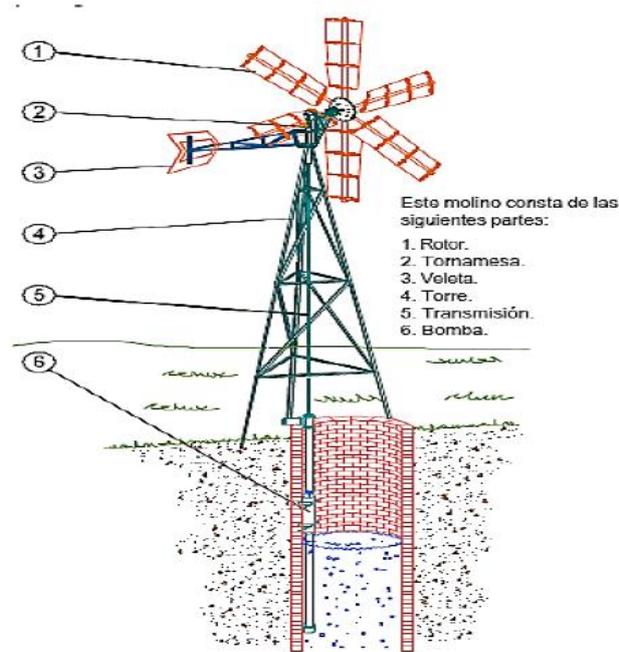


Figura N° 2.3: Componentes de un sistema de aerobombeo

Fuente: UPME, 2003

2.5.1 EL ROTOR.

El rotor es la parte que extrae la energía cinética del viento y la convierte en energía rotacional, es el conjunto de aspas también conocidas como palas o hélices; A través del tiempo, el rotor ha ido evolucionando para superar diferentes problemas. Algunos cambios incluyen la inclinación de las aspas para hacerlas más eficientes, el giro del rotor para disminuir la fuerza del viento, y frenos para cuando la velocidad del viento es demasiado fuerte. Existen dos tipos de rotores con mecanismos espaciales para su mayor eficiencia.

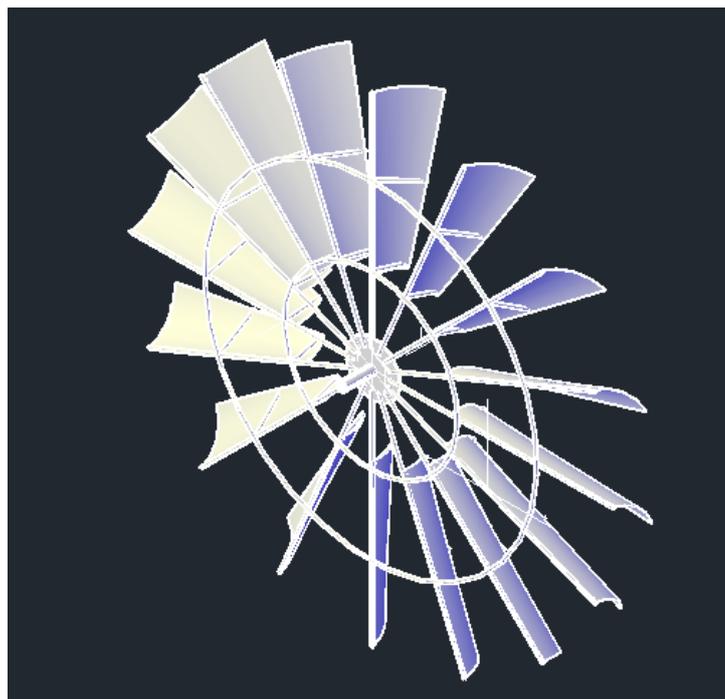


Figura N° 2.4: Rotor multipala

Elaboracion propia

2.5.1.1 EL ROTOR DE EJE HORIZONTAL.

Existen dos tipos de rotor horizontal: el rotor de sotavento y el rotor de barlovento.

El rotor de sotavento: es fijo y capta el viento únicamente cuando está de frente u opuesto a él.

El rotor de barlovento: no es fijo; tiene una cola de metal que lo dirige hacia el viento y lo permite captar la energía eólica independientemente de la dirección del viento. (Funes, 2009). El rotor de multipala es un rotor lento cuyo número de palas que puede variar de 6, 12, 18, 24 hasta 36. Su característica es tener elevado par en el eje al arranque y una reducida velocidad de giro, pero son de alta solidez, la velocidad en la punta de la pala en condiciones de diseño, es el mismo que la velocidad del viento incidente, Esto hace que se utilizan en el bombeo de agua.

2.5.1.1 LAS ASPAS.

Las aspas deben de ser completamente equilibradas sujetos con bujes y con una forma aerodinámica para provocar la máxima revolución.



Figura N° 2.5: Rotor multipala americano, Holandés y gaviota

Fuente: Tecnologías energeticas renovables CENSOLAR

El rotor del molino Gaviotas, es de solidez intermedia, más rápido y de bajo peso. La solidez de un rotor se define como la relación entre el área ocupada por las palas del rotor y el área circular del rotor barrida en un giro. El rotor multipala americano puede alcanzar una solidez cercana al 85% contra una solidez del rotor Gaviotas del 30%. (Guía, 2003)

Los rotores eólicos, para generación eléctrica tienen mayor velocidad, su solidez de alta velocidad es tan baja como de 7 a 8%. La velocidad específica (λ) es la relación entre la velocidad periférica de la punta de las palas y la velocidad axial de viento que incide sobre el rotor, define la eficiencia del rotor eólico.

La velocidad específica de un valor entre 1 y 2. Son rotores con alta solidez.

La relación de velocidad específica entre 2 y 4 son rotores con menor número de aspas (5 ó 6) y los rotores eólicos de velocidad como para generación de electricidad tienen velocidad específica entre 6 y 10.

Si a un rotor eólico le incide un viento de 5 m/s, la velocidad periférica de la punta de las aspas para un rotor de alta solidez puede llegar a ser cerca de 7 a 8 m/s. Un rotor eólico con solidez intermedia tendrá una velocidad periférica cercana a los 15 m/s. Si en este ejemplo se considera un rotor de 3 metros de diámetro querrá decir que el equipo de alta solidez gira a 50 rpm contra 100 rpm para el equipo de más baja solidez. A mayores velocidades de viento más alta será la velocidad de giro. (Guía, 2003)

2.5.1.2 EL BUJE.

Es el elemento que une el eje del rotor con la paleta o aspa del molino.

2.5.1.3 ROTORES DE EJE VERTICAL.

No necesita dispositivo de orientación para la dirección del viento, lo cual hace más simple su construcción; sin embargo, las aplicaciones de este tipo de molino son más limitadas.



Figura N° 2.6: Molinos Savonius y Darrius

Fuente: www.kleinwindanlage.de/, <http://greenliving.lovetoknow.com>

2.5.2 CONJUNTO DE TRANSMISIÓN.

La energía rotacional mecánica en el eje del rotor eólico es convertida a través de la transmisión. La transmisión en un molino es aquella que toma el movimiento giratorio del eje del rotor y lo convierte en un movimiento lineal de ascenso y descenso para pulsar la bomba de pistón. Estos componentes se desgastan o fatigan y reducen la vida útil del Molino, por lo que el diseño debe contemplar reducir los esfuerzos mecánicos y tener una vida útil de 20 años. Reducir los esfuerzos cuando la velocidad del viento supera la velocidad nominal, se dispone de un control al cambio de paso de las palas para limitar la potencia mecánica sobre el rotor y la velocidad de giro.

Aquellas aerobombas que requieren reductor de velocidad generalmente utilizan doble engranaje para aliviar las cargas dispares en el mecanismo de la biela manivela. La reducción de velocidad típica es de 3 a 1 y el conjunto viene sumergido en un baño de aceite para la adecuada lubricación.

El movimiento oscilante producido por el sistema de bielas y manivelas es transmitido a la bomba por un vástago guiado en varios puntos, ya que puede alcanzar longitudes considerables sobretodo en bombeo desde un pozo profundo. Los vástagos cuentan con un eslabón giratorio para desacoplar cualquier giro vertical causado por cambios en la dirección del viento, para prevenir que este giro sea transmitido a la bomba. Adicionalmente, el vástago cuenta con un fusible mecánico proteger la bomba de eventuales daños que pueden ocurrir.

Esta puede tener una caja de reducción de velocidad y un sistema biela-manivela para excitar el vástago que mueve la bomba de pistón que produce un movimiento oscilatorio ascendente-descendente o simplemente con acción directa sin reducción de velocidad

2.5.3 LA VELETA.

Los molinos de viento para el bombeo de agua y los aerogeneradores que son de eje horizontal necesitan algún mecanismo que los ubique de frente al viento de manera que capturen más energía del viento que los ataca y, además, que los proteja de altas velocidades. Este rol lo juega la veleta

La veleta emplea la fuerza del viento que actúa sobre ella para orientar al rotor ubicado delante de la torre que lo sustenta. Esto cambia pasivamente la posición del rotor sin la participación del hombre, ni de la potencia eléctrica o hidráulica.

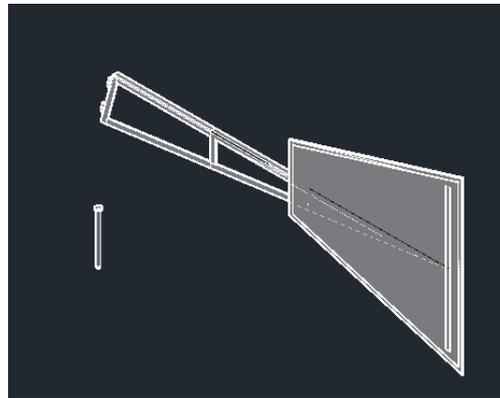


Figura N° 2.7: Veleta

Elaboracion propia

2.5.4 ESTRUCTURA DEL SOPORTE.

Generalmente los molinos utilizan torres de metal, la estructura más común es metálica, fijada por concreto, pero se puede utilizar un edificio de cualquier material que pueda soportar el peso del rotor. Las aerobombas requieren de torres robustas debido al tipo e intensidad de las fuerzas que deben soportar en su operación de bombeo que puede exceder la tonelada de fuerza, Teniendo en cuenta la carga adicional que impone la fuerza de empuje causada por el viento sobre el rotor y los momentos giroscópicos por cambios en la dirección del viento incidente sobre

el rotor eólico. La torre o soporte, tiene una altura no menor de 6 metros arriba de obstáculos y en 100 metros a la redonda para evitar turbulencias. Esta estructura es diseñada especialmente para soportar vientos fuertes y cuenta con accesos para escalarla y darle mantenimiento al rotor. En los molinos de eje horizontal, esta torre normalmente es de 4 varillas largas, iniciando de una base abierta para terminar en forma de punta arriba, unidas entre sí por pequeñas varillas en forma de cruz a distancias cortas para formar un tipo de escalera que permite el acceso al rotor.

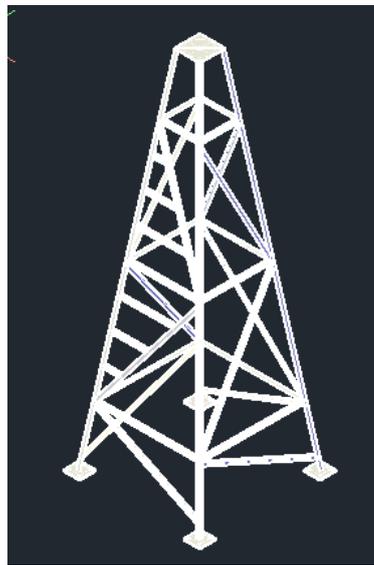


Figura N° 2.8: Torre

Elaboracion propia

2.5.5 CONTROL.

Los mecanismos de control y orientación: Orientan el rotor para aprovechar el viento en cualquiera que sea su dirección.

En efecto, para una velocidad de viento dada, rotores de menor diámetro (entre 2 y 4 metros) giraran a más alta velocidad rotacional que un rotor con mayor diámetro (sea más de 5 metros). Las altas velocidades inducidas en la transmisión operando una bomba de pistón resultarían en elevados niveles de carga y esfuerzo que la

construcción del equipo (torre, transmisión y vástago) no podrá resistir. Por ello es necesario proveer la transmisión con un reductor de velocidad en el cual con varias vueltas del rotor produzca un ciclo de bombeo. Un correcto acople entre sistema de transmisión de movimiento para pulsar una bomba de pistón típica exige que esta no exceda los 40 ciclos por minuto en todo el rango de operación. Evidencia teórica y experimental demuestran que mayores velocidades de operación de bombas de pistón resultan en un incremento en los daños producidos en todos los componentes de las aerobombas, reduciendo sustancialmente la vida útil del sistema.

Nuevos desarrollos de aerobombas de baja solidez sin necesidad de caja reductora de velocidades para la acción de bombeo, incluye elementos adicionales como elementos flexibles en la transmisión, diseño adecuado de las tuberías de ascenso y adecuados sistemas de seguridad para evitar altas velocidades de pulsación de las bombas

2.5.6 SISTEMA DE SEGURIDAD.

Los rotores eólicos deben tener la capacidad de girar para encarar el viento en caso de que este cambie su dirección y al mismo tiempo protegerse de intensidades de viento muy altas que pueden causar sobrecargas excesivas a la torre, a la transmisión y al rotor. Diversos diseños se han probado e implementado para alcanzar la acción de control y seguridad necesarios para la protección del equipo de eventuales rachas de alta velocidad de viento y tormentas.

Generalmente los sistemas de seguridad se combinan con los sistemas de orientación, del tipo mecánico, y en los cuales se garantiza que a bajas velocidades de viento el rotor enfrente plenamente el viento y con velocidades de viento

mayores el rotor se desorienta para limitar la velocidad de excitación de la bomba y reducir, así, las fuerzas y cargas inducidas en todo el sistema.

Los sistemas mecánicos de seguridad y orientación, fundamentalmente, se basan en la colocación excéntrica entre el eje del rotor y el eje vertical de la torre. Esta excentricidad es pequeña y permite la presencia de una fuerza de empuje horizontal ejercida por el rotor tendiendo a auto-rotar alrededor del eje vertical de la torre. El balanceo o desbalanceo de esta fuerza de empuje horizontal (representado en un momento par vertical) se logra a través de fuerzas aerodinámicas ejercidas sobre la cola de la aerobomba o sobre placas laterales que regulan este movimiento vertical. Generalmente, el desequilibrio de estas fuerzas, cuando se saca el rotor de la dirección del viento incidente, es compensado por contrapesos o resortes que recuperan la colocación del rotor eólico cuando la velocidad del viento disminuye.

Los sistemas de seguridad y orientación comienzan a operar a velocidades de viento entre 10 y 12 m/s (35 a 40 km/hr) y detienen completamente el rotor y lo sacan de operación a velocidades cercanas a los 15 m/s (50 km/hr). Adicionalmente, al sistema mecánico de seguridad y orientación, algunas aerobombas también cuentan con frenos mecánicos operados manualmente para frenar totalmente el sistema para permitir actividades de mantenimiento o detenerlo cuando no se requiere abastecimiento de agua.

Vale la pena mencionar que la inadecuada operación de un sistema de seguridad y orientación conduce a situaciones catastróficas poniendo en riesgo la alta inversión que implica una instalación de aerobombeo.

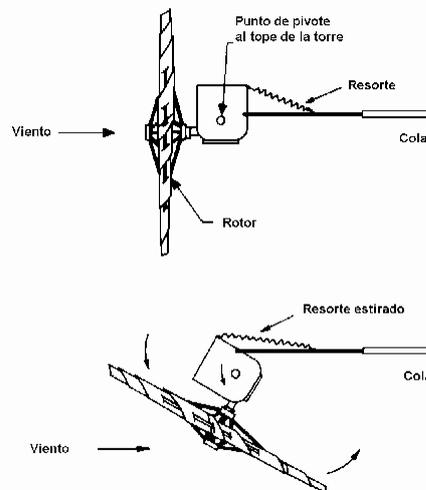


Figura N° 2.9: Sistema de seguridad y orientación con cola trasera

Fuente: UPME, 2003

2.6 BOMBA HIDRÁULICA.

La bomba hidráulica dependiendo de la aplicación y de la disponibilidad tecnológica, existen diferentes tipos de Aero bombeo. La selección del tipo de bomba es bastante amplia y se han realizado diseños con bombas de pistón, bombas centrífugas etc.

Las bombas de pistones son bombas volumétricas, y estos emplean para el movimiento de fluidos a alta presión o densidades. Son utilizadas en estos sistemas gracias a que el rotor multipala ofrece un alto par de arranque a baja velocidad.

Cada movimiento del pistón desaloja, en cada movimiento un mismo volumen de fluido, que equivale al volumen ocupado por el pistón durante la carrera del mismo.

El rotor acciona directamente a un sistema biela – manivela, que a la vez estos actúan sobre el embolo de la bomba, dándole un movimiento de vaivén.

Los rodamientos utilizados son de larga duración y fácilmente accesibles para su reemplazo en caso de fallo.

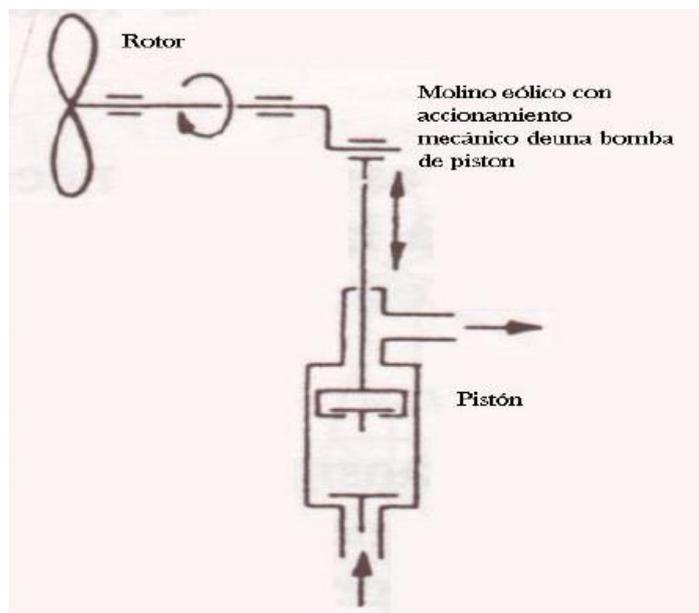


Figura N° 2.10: Bomba de pistón

Fuente: Wikipedia, 2017

2.6.1 TIPOS DE BOMBAS.

2.6.1.1 SEGÚN EL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

La principal clasificación de las bombas según el funcionamiento es:

- **BOMBAS VOLUMÉTRICAS.**

Son las bombas en la que el principio de funcionamiento está basado en la hidrostática, de modo que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de la cámara. Este tipo de bombas, en cada ciclo el órgano propulsor genera de manera positiva un volumen dado. En caso de poder variar el volumen máximo de la cilindrada se entiende de bombas de volumen variable. Si el volumen no puede variar, en todo caso se habla que la bomba es de volumen fijo.

- **BOMBAS DE EMBOLO ALTERNATIVO**

En las que existe uno o varios compartimentos fijos, pero de volumen variable, por la acción de un embolo. En estas máquinas, el movimiento del fluido es discontinuo y los procesos de carga y descarga se realizan por una válvula que abren y cierran alternativamente.

- **BOMBA ROTODINAMICA**

En las que el principio de funcionamiento está basado en el intercambio de cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido, aplicando la hidrodinámica. En este tipo de bombas hay uno o varios rodets con alabes que giran generando un campo de presiones en el fluido. En este tipo de máquinas el flujo del fluido es continuo.

2.6.1.2 SEGÚN EL TIPO DE ACCIONAMIENTO.

- **ELECTROBOMBAS**

Las electrobombas generalmente son aquellas accionadas por un rotor eléctrico, para distinguirlas de las motobombas, habitualmente accionadas por motores de combustión interna.

Bombas neumáticas que son bombas de desplazamiento positivo en las que la energía de entrada es neumática, normalmente a partir de aire comprimido.

- **BOMBAS MANUALES**

Es una bomba como un dispositivo para elevar el agua, es más conocido como bomba recíproca, de embolo de desplazamiento positivo esta se divide en dos tipos:

Bomba de mano para pozo superficial, el embolo y su cilindro se encuentran por encima del nivel del agua, usualmente dentro del propio soporte de la bomba, depende de la presión atmosférica. Puede elevar altura de 6.7m.

Bomba de pozo profundo, el cilindro y el embolo están ubicados en el pozo por debajo del nivel del agua. Las fuerzas y el desgaste producidos por la carga hidráulica aumentan con la profundidad de la napa freática, puede bombear una altura de hasta 180 m.

2.7 EL RECURSO EÓLICO.

La Tierra recibe una cantidad de energía procedente del Sol que en ciertos lugares puede llegar a ser superiores a 1000 W/m^2 y aproximadamente el 2% de ella se transforma en energía eólica.

El viento es el aire en movimiento que se mueve por convección con cierta velocidad como consecuencia del calentamiento de la superficie terrestre, produciendo esta masa en movimiento una energía cinética.

El aire por su composición de oxígeno, nitrógeno y vapor de agua, varía con la altura, de forma que su densidad también varía.

2.7.1 FACTORES QUE MODIFICAN LA ENERGÍA DEL VIENTO.

El movimiento de los vientos son modificadas o perturbadas por:

- Las tormentas que desvían la dirección dominante, como se hace patente en registros
- Los obstáculos naturales, bosques, cañadas, depresiones, etc... Estos obstáculos modifican la circulación de las masas de aire en dirección y velocidad.

- Las depresiones ciclónicas que pueden desplazarse en cualquier dirección, pero de hecho, tienen ciertas direcciones establecidas, superponiéndose, al sistema general de presión atmosférica.

Los Fenómenos instantáneos (Ráfagas) son difíciles de caracterizar; para tener una idea aproximada de estas variaciones, son necesarios registros meteorológicos de vientos periódicos, de aproximadamente 20 años atrás.

Los cambios diarios se deben a los fenómenos térmicos producidos por la radiación solar. Las variaciones de temperatura con la altitud crean corrientes ascendentes. La velocidad media del viento es más débil por la noche, con pocas variaciones. Aumenta a partir de la salida del sol y alcanza su máximo entre las 12 PM. y las 16 PM. Los fenómenos o variaciones mensuales dependen esencialmente del lugar geográfico y sólo las estadísticas meteorológicas pueden predecir estas variaciones. Los fenómenos o variaciones anuales son periódicas con buena precisión en los datos, de modo que, de un año a otro, es posible hacer una buena evaluación de la energía eólica recuperable en un lugar determinado.

El viento se caracteriza, por dos grandes variables respecto al tiempo: la velocidad y la dirección. La velocidad incide más directamente que la dirección en el rendimiento de la estación.

2.7.2 LA ENERGÍA DEL VIENTO.

La potencia del viento que incide sobre un rotor cuya área barrida es A (m²), es proporcional a la densidad, ρ (kg/m³) y al cubo de la velocidad del viento, v (m/s).

$$P_w = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 \quad (2.1)$$

Por el límite de Betz, solo puede transformar un máximo de 59.3 % de la potencia eólica teórica.

Coeficiente de potencia mecánico, C_{pm} . Es el rendimiento del rotor eólico. Depende del ángulo de paso de la pala, β y el coeficiente de velocidad específica, λ .

El ángulo de paso de la pala depende de la velocidad del viento, de la velocidad de giro de la turbina y del ángulo de calado de las palas.

El coeficiente de velocidad específica es la relación entre la velocidad lineal en la punta de la pala y la velocidad del viento incidente.

$$P_m = P_w * C_{pm}(\lambda, \beta) \quad (2.2)$$

El coeficiente que relaciona las pérdidas de potencia mecánica de la turbina con la potencia que se transmite al tren convertidor se divide en dos partes:

El rozamiento de los cojinetes y los cierres de contacto del eje, η_1 , y

El rendimiento de la transmisión, η_2 . El producto de estos dos rendimientos se considera el rendimiento mecánico, $\eta_m = \eta_1 \cdot \eta_2$. Ambos términos del rendimiento mecánico dependen de la velocidad de giro y de la potencia transmitida. La potencia mecánica P_{mf} se puede expresar entonces como:

$$P_{mf} = P_m * \eta_m = P_w * C_{pm}(\lambda, \beta) * \eta_m \quad (2.3)$$

A partir de este último coeficiente se puede calcular la curva de potencia del aerogenerador para una densidad determinada como:

$$P_{mf} = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 * C_{pm} n_m \quad (2.4)$$

2.7.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL VIENTO.

Por las relaciones de las velocidades delante y detrás de las palas, la potencia cinética total del viento, no se puede obtener sino sólo los 2/3, que se denomina factor de ralentización.

$$a_{opt} = \frac{2}{3} = 0.67 \quad (2.5)$$

Demostrado por Betz, es decir:

$$P_{wmax} = \frac{16}{27} P_o = 0.5926 P_o \quad (2.6)$$

Osea:

$C_p = 0.5926$ Se denomina coeficiente de potencia. Límite de Betz.

La potencia obtenida es:

$$P_{eólica} = C_p \left(\frac{1}{2} \rho A v^3 \right) \quad (2.7)$$

Donde:

ρ = Densidad del aire (Kg/m^3)

A = Área total del rotor.

V = Velocidad del viento.

La densidad de aire de potencia depende linealmente de la densidad del aire, por lo que un aire frío presenta una densidad de potencia superior a uno más caliente, para calcular la densidad necesitamos la temperatura y la altitud sobre el nivel del mar.

La densidad del aire ρ : $1.24 \text{ kg}/\text{m}^3$ y 12° de temperatura

2.7.4 HIPÓTESIS GENERAL.

Si se diseña un molino de viento para extraer agua del subsuelo los pobladores de las zonas rurales de la región de Puno, podrán construirlo, tendrán este recurso a su alcance y podrán utilizarlo en otras actividades saludables como aguas de servicio.

2.7.5 HIPÓTESIS ESPECÍFICA.

Si el diseño del molino de viento es económico se propagará el uso de molinos de viento para la extracción de agua del subsuelo, esto implicaría un uso masivo de estas máquinas, lo que ampliará la producción agrícola de ser solo por temporada de lluvia a ser todo el año.

2.7.6 ESCALA DE BEAUFORT.

La escala de Beaufort es una medida empírica para la intensidad del viento, basada principalmente en el estado del mar, de sus olas y la fuerza del viento. Su nombre completo es escala de Beaufort de la fuerza de los vientos.

Tabla N° 2.1: Escala de Beaufort

Fuente: wikipedia.org

Número de Beaufort	Velocidad del viento (km/h)	Nudos (millas náuticas/h)	Denominación	Aspecto del mar	Efectos en tierra
0	0 a 1	< 1	Calma	Despejado	Calma, el humo asciende verticalmente
1	2 a 5	1 a 3	Ventolina	Pequeñas olas, pero sin espuma	El humo indica la dirección del viento
2	6 a 11	4 a 6	Flojito (Brisa muy débil)	Crestas de apariencia vítreas, sin romper	Se caen las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos de los campos
3	12 a 19	7 a 10	Flojo (Brisa Ligera)	Pequeñas olas, crestas rompientes.	Se agitan las hojas, ondulan las banderas
4	20 a 28	11 a 16	Bonancible (Brisa moderada)	Borreguillos numerosos, olas cada vez más largas	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles
5	29 a 38	17 a 21	Fresquito (Brisa fresca)	Olas medianas y alargadas, borreguillos muy abundantes	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada
6	39 a 49	22 a 27	Fresco (Brisa fuerte)	Comienzan a formarse olas grandes, crestas rompientes, espuma	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas
7	50 a 61	28 a 33	Frescachón (Viento fuerte)	Mar gruesa, con espuma arrastrada en dirección del viento	Se mueven los árboles grandes, dificultad para caminar contra el viento
8	62 a 74	34 a 40	Temporal (Viento duro)	Grandes olas rompientes, franjas de espuma	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas muy difícil, los vehículos se mueven por sí mismos.
9	75 a 88	41 a 47	Temporal fuerte (Muy duro)	Olas muy grandes, rompientes. Visibilidad mermada	Daños en árboles, imposible caminar con normalidad. Se empiezan a dañar las construcciones. Arrastre de vehículos.
10	89 a 102	48 a 55	Temporal duro (Temporal)	Olas muy gruesas con crestas empenachadas. Superficie del mar blanca.	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones. Daños mayores en objetos a la intemperie.
11	103 a 117	56 a 63	Temporal muy duro (Borrasca)	Olas excepcionalmente grandes, mar completamente blanca, visibilidad muy reducida	Destrucción en todas partes. Lluvias muy intensas, inundaciones muy altas. Voladura de personas y de otros muchos objetos.
12	+ 118	+64	Temporal huracanado (Huracán)	Olas excepcionalmente grandes, mar blanca, visibilidad nula	Voladura de vehículos, árboles, casas, techos y personas. Puede generar un huracán o tifón

2.7.7 MAPA EOLICO DEL PERU Y PUNO.

Tabla N° 2.2: Atlas eólico del Perú

Fuente: <http://www.osinergmin.gob.pe>

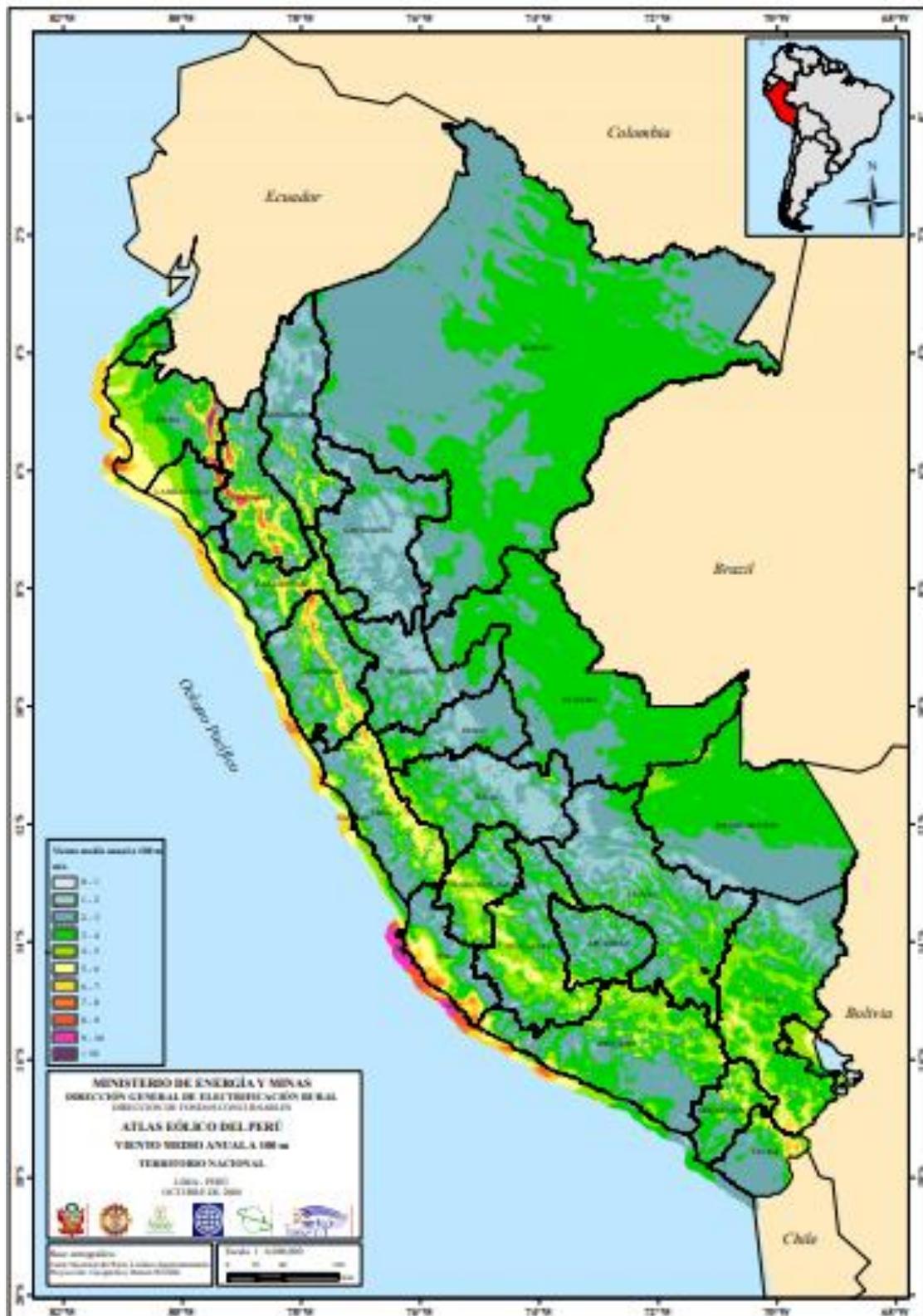
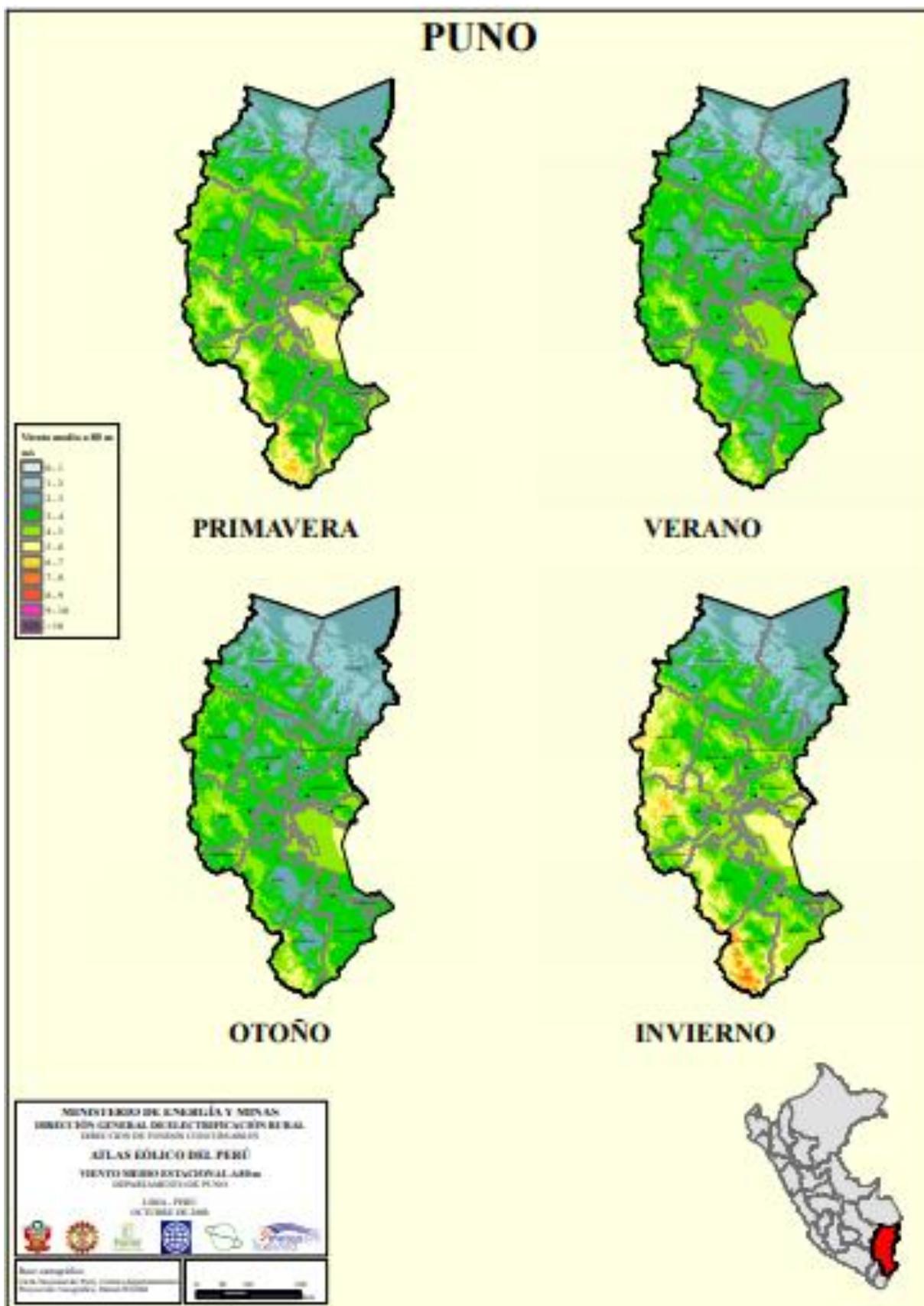


Tabla N° 2.3: Atlas Eólico de Puno

Fuente: <http://www.osinergmin.gob.pe>



2.7.8 TRIANGULO DE VIENTOS.

El triángulo de vientos es un problema típico de cálculo en el que tratamos de averiguar un rumbo para seguir una ruta ya que nos encontramos bajo la influencia de un viento determinado. Los primeros conceptos que ya sacamos de esta definición son: rumbo y ruta. Puede que cueste un poco ver la diferencia pero en esencia, la ruta (Course) es la trayectoria deseada, es la proyección de la dirección de la aeronave sobre el suelo y marca una línea imaginaria entre los puntos origen y destino. Por otro lado rumbo (Heading) es la dirección seguida por el eje longitudinal de la aeronave, hacia donde apunta el morro y por tanto la dirección que seguiremos. En caso de que no exista viento o este sea prácticamente nulo, ruta y rumbo coinciden, pero esto es un supuesto ideal ya que raramente se cumple. Por muy leve que sea la intensidad del viento este crea una influencia en nuestra ruta provocando que nos alejemos de ella, cuanto más larga sea nuestra trayectoria a seguir mayor será la incidencia del viento.

Cuando tratemos rumbos y rutas siempre haremos referencia a direcciones verdaderas (geográficas) y no magnéticas, por tanto, la ruta verdadera la denotaremos como TC (True Course) y el rumbo verdadero como TH (True Heading). El viento (W, Wind) será representado por un gradiente que indicará una dirección (Wd) y una intensidad (Ws) con el siguiente formato 090/15 representará un viento procedente del este (90°) y con una intensidad de 15 nudos. Veamos en la siguiente ilustración una representación típica del triángulo de vientos.

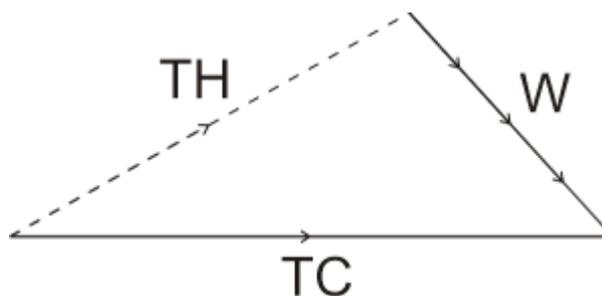


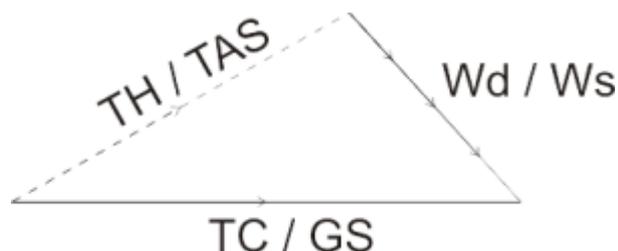
Figura N° 2.11: triángulo de vientos

Fuente: <https://jasdelanuez.wordpress.com>

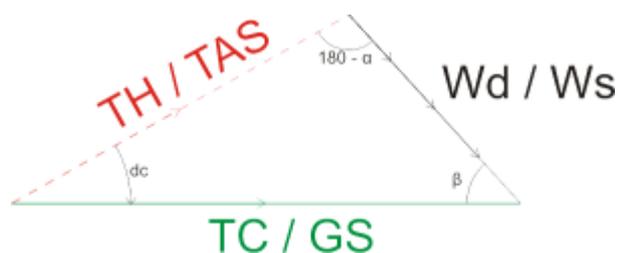
Al desplazamiento que provoca el viento se le conoce como deriva (Drift) y es la diferencia angular entre rumbo y ruta. Para poder corregir este desplazamiento no deseado aplicaremos un movimiento corrector que llamaremos corrector de deriva (Drift Correction). Este será el ángulo que utilizaremos a lo largo de todos los cálculos. La manera de calcular este ángulo será $TC - TH = dc$.

Está claro que el avión no puede volar si no existe una fuerza que lo impulse, esta fuerza (empuje o tracción) genera la velocidad necesaria para que el viento relativo que rodea a la aeronave genere una fuerza de sustentación en la superficie alar. Para no entrar en principios de aerodinámica nos quedaremos simplemente con los conceptos de velocidad. En nuestro caso será importante saber que la velocidad que lleve una aeronave en el aire puede, y lo es, diferente a la que lleva respecto al suelo. La velocidad en el aire se denomina TAS (True Air Speed) y es una velocidad corregida para varios factores como error de instrumento, error de posición, compresibilidad y altitud de densidad, por otro lado, tenemos la velocidad relativa al suelo o GS (Ground Speed) y no es más que la TAS a la que se le suma o resta la componente vertical del viento. Véase para ello mi post sobre componentes del viento

Todo esto de las velocidades es para darle sentido a la ilustración anterior ya que tenemos los ángulos de rumbo y ruta pero no el módulo de estos vectores de dirección, las magnitudes vienen dadas por la velocidad siendo TAS para el TH y GS para el TC. Así el triángulo de vientos quedaría de la siguiente forma:



Ya sabemos que el ángulo comprendido entre TH y TC es δ_c . Por otro lado el ángulo entre el TC y el W se llama β (Beta) y por último, el ángulo entre el TH y el W es α . Este ángulo en pocos sitios lo he visto explicado, pero es el ángulo que no pertenece al triángulo, el que está realmente “encerrado” en el triángulo será $180 - \alpha$. Creo que ahora sí que tenemos toda la información necesaria para visualizar un triángulo de vientos en condiciones.



El método analítico consiste en aplicar las fórmulas y principios de trigonometría plana, en particular los teoremas del seno y coseno. El primero se basa en la relación de proporcionalidad entre las longitudes de los lados de un triángulo y los senos de los ángulos respectivamente opuestos. Y el segundo no es más que una generalización del teorema de Pitágoras. Veamos uno y otro teorema adaptados al caso que nos ocupa:

Teorema del seno :

$$\frac{TAS}{\text{sen}(\beta)} = \frac{GS}{\text{sen}(180 - \alpha)} = \frac{W_s}{\text{sen}(d_c)}$$

Teorema del coseno :

$$GS^2 = TAS^2 + W_s^2 - 2 * TAS * W_s * \cos(180 - \alpha)$$

$$TAS^2 = GS^2 + W_s^2 - 2 * GS * W_s * \cos(\beta)$$

$$W_s^2 = TAS^2 + GS^2 - 2 * TAS * GS * \cos(d_c)$$

Figura N° 2.12: Teorema de senos y cosenos

Fuente: <https://jasdelanuez.wordpress.com>

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 TIPO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

La investigación es de tipo descriptivo, con la finalidad de diseñar u dar solución al problema.

3.2 DISEÑO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

El proyecto de tesis es de tipo de investigación descriptivo. Constituye muy fundamental debido a que permite la descripción total y detallada del fenómeno de estudio, mide variables o conceptos con el fin de especificar las propiedades importantes del tema de análisis además hace énfasis en el estudio independiente de cada característica.

3.3 POBLACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

En zonas rurales de la región de puno.

3.4 MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.

El diseño de un molino de viento, para solucionar el problema agrícola.

3.5 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN.

El ámbito de estudio del presente proyecto de investigación es en zonas rurales de la región Puno.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

"Diseño de un molino de viento para extraer agua del subsuelo, para uso doméstico en zonas rurales de la región Puno".

Ejemplo (Distrito de Platería, localidad de Camacani)

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

- Determinación del caudal.
- Determinación de diámetro del rotor.
- Potencia útil de bombeo

4.2 CÁLCULO DEL ROTOR.

La velocidad del viento en la región Puno es promedio es de 5m/s.

Según el Atlas eólico del Perú y de Puno. Hacemos un zoom

- El área verde según nos indica el Atlas eólico de Puno, como podemos ver en las imágenes, se tiene un promedio de viento entre 4 – 5 m/s.

Tabla N° 4. 1: Atlas Eólico de Puno (Zoom)

Fuente: www.osinergmin.gob.pe



Altura de profundidad del pozo

Las profundidades que se halla la napa freática en la región Puno, están entre 5 y 12 m.

Se calcula para $H = 10$ m

Tabla N° 4.2: Comparación Diámetros – N° de palas para turbinas de viento

Diámetro	N° de palas	N° de sectores
2	15	5
3	18 – 16	6 a 4
4	21 – 20	7 a 5
5	24	8
6	27	9

Tomaremos el intermedio entre los dos diámetros. Ya que utilizaremos 16 palas.

$$\frac{X - 2}{3 - 2} = \frac{16 - 15}{18 - 15} \quad (4.1)$$

$$X = 2.3 \text{ m.}$$

Diámetro del rotor: $D = 2.3 \text{ m.}$ con 16 palas.

Área del Rotor.

$$A = \pi * R^2 \quad (4.2)$$

$$A = 4.15 \text{ m}^2$$

De la ecuación (2.7).

$$Peólica = 0.5926 \left(\frac{1}{2} 1.24 (4.15) 5^3 \right)$$

$$Peólica = 190.59 \text{ w/m}^2$$

Donde:

C_p = Coeficiente de potencia.

ρ = Densidad del aire (1.24 Kg/m^3).

v = Velocidad promedio del viento 5 m/s.

4.2.1 VELOCIDAD DE GIRO DEL ROTOR.

$$N = \frac{60 * \lambda_0 * v}{\pi * D}; \text{rpm} \quad (4.3)$$

$$N = \frac{60 * 1 * 5}{\pi * 2.3}; \text{rpm} \quad (4.4)$$

$$N = 41.519 \text{ rpm}$$

Donde:

λ_0 = coeficiente de velocidad (1).

D = Diámetro del rotor.

V = velocidad del viento 5 m/s.

4.2.2 VELOCIDAD ANGULAR.

$$\omega = \frac{\pi * (N)}{T} \quad (4.5)$$

$$\omega = \frac{3.1415 * (41.519)}{30} \quad (4.6)$$

$$\omega = 4.348 \text{ rad/s}$$

Donde:

T = Periodo.

N = Velocidad de giro del rotor.

4.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOLINO.

$$P = 0.5\rho V^3 A \quad (4.7)$$

$$P = 0.5 * 1.24 * 5^3 * 4.15 \quad (4.8)$$

$$P = 321.63 \text{ w.}$$

Donde:

A = Área del rotor.

ρ = Densidad del aire (1.24 Kg/m³).

v = Velocidad promedio del viento 5 m/s.

Transformando en HP: $P = 321.63 \text{ w}$.

$$P = 0.32163 * 0.746HP \tag{4.9}$$

$$P = 0.2399 HP \approx \frac{1}{4}HP$$

4.4 DETERMINACIÓN DE LA BOMBA.

Según la tabla escogeremos

Tabla N° 4.3: Tabla de Capacidades de Bombeo

Fuente: Utilización de energía renovable para bombear agua, Juan Enciso y Michael Mecke.

TABLA DE CAPACIDAD DE BOMBEO								
CAPACIDAD DE BOMBEO								
Diámetro del cuerpo de bomba en pulgadas	Capacidad en litros por hora		Altura en metros a que puede elevarse el agua					
			TAMAÑO DEL MOLINO DE VIENTO					
	6 pies	8 pies - 16 pies	6 pies	8 pies	10 pies	12 pies	14 pies	16 pies
2 1/4	680	1000	23	34	52	77	110	180
2 1/2	850	1230	20	29	43	65	92	150
2 3/4	1000	1460	17	25	37	55	80	130
3	1200	1780	14	21	31	47	67	110
3 1/4	.....	2075	...	...	27	40	57	93
3 1/2	1670	2420	11	15	23	35	49	82
3 3/4	.....	2750	...	...	20	30	44	70
4	2150	3150	8	12	18	26	38	61
4 1/2	2750	4000	7	9	14	21	30	49
5	3400	4900	5	8	11	17	24	40
6	.....	7100	...	5	8	11	17	26

Según la información calculada tenemos un diámetro de rotor de 2.3m.

Que esto equivale a 8pies = 2.4 m. y una altura de 12m.

Según la tabla nos da 4 pulgadas

$$D_p = 4 \text{ pulgadas} = 0.1016 \text{ m.}$$

$$\text{Carrera del pistón } S = 0.14 \text{ m}$$

4.5 CAUDAL DE BOMBEO.

$$Q = \frac{\pi * D_p^2 * S}{4 * t_{rev}} \quad (4.10)$$

Donde:

Q = Caudal de Bombeo (m^3/s).

D_p = Diámetro de pistón (m).

S = Carrera del pistón (m).

t_{rev} = Tiempo de revolución (s).

$$t_{rev} = \frac{2 * \pi}{\omega} \quad (4.11)$$

$$t_{rev} = \frac{2 * 3.1415}{4.348} \quad (4.12)$$

$$t_{rev} = 1.445 \text{ s}$$

De la ecuación (4.10).

$$Q = \frac{3.1415 * 0.1016^2 * 0.14}{4 * 1.445} \quad (4.13)$$

$$Q = 0.000785 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

4.6 POTENCIA HIDRÁULICA DE LA BOMBA.

$$P = \frac{\rho g Q H}{n_p} \text{ W.} \quad (4.14)$$

n_p : Rendimiento de la Bomba = 0.7

$$P = \frac{1000 * 9.81 * 0.000785 * 10}{0.7} \quad (4.15)$$

$$P = 110.01 \text{ w.}$$

Donde:

Q: caudal de agua en m³/s

H: altura (10m)

ρ = densidad del agua (1000 Kg/m³)

g : Gravedad (9.81 m/s²)

n_p : Rendimiento de la Bomba

4.6.1 FUERZAS QUE ACTÚAN EN LA BOMBA.

4.6.1.1 FUERZAS EN EL PISTÓN DEBIDO A LA COLUMNA DE AGUA EN LAS TUBERÍAS.

Potencia requerida por la bomba (ecuación de Bernoulli):

$$\frac{P}{\gamma} = \frac{V_{fluido}^2}{2g} + h + \frac{K \times V_{fluido}^2}{2g} \quad (4.16)$$

Donde:

P = Presión (N/m²).

V_f = Velocidad del fluido (m/s).

H = Altura de bombeo (m).

K = Coeficiente de pérdidas en ductos lisos 0.28.

γ = Peso específico 9800 N/s²

g = Gravedad (m/s²)

VELOCIDAD DEL FLUIDO.

$$V_{fluido} = \frac{Q}{A_t} \quad (4.17)$$

Reemplazando:

$$V_{fluido} = \frac{0.000785}{0.00114} \quad (4.18)$$

$$V_{fluido} = 0.689 \text{ m/s}$$

Donde:

Q = Caudal m³/s

A_t = Área de la tubería 0.00114 m².

Reemplazando en la ecuación (4.16).

$$\frac{P}{\gamma} = \frac{0.689^2}{2 * 9.8} + 10 + \frac{0.28 * 0.689^2}{2 * 9.8} \quad (4.19)$$

$$\frac{P}{\gamma} = 10.03 \text{ m.}$$

La presión es:

$$P = 10.03 * 9800 \quad (4.20)$$

$$P = 98294 \text{ N/m}^2$$

La fuerza del pistón sería:

$$F_1 = P * A_t \quad (4.21)$$

$$F_1 = 112.06 \text{ N}$$

4.6.1.2 FUERZA DEL AGUA DENTRO DE LA BOMBA.

$$F_2 = A_b * h_b * \rho_{agua} * g \quad (4.22)$$

Donde:

A_b = Área de la bomba (m²).

H_b = Altura de la bomba (m).

Área de la bomba:

$$A_b = \frac{\pi * D_p^2}{4} \quad (4.23)$$

$$A_b = \frac{3.1415 * 0.1016^2}{4} \quad (4.24)$$

$$A_b = 0.00811 \text{ m}^2.$$

Donde:

D_p = Diámetro de la bomba 4 pulgada.

Reemplazando en la ecuación (4.22):

$$F_2 = 0.00811 \text{ m}^2 * 0.40 \text{ m} * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}. \quad (4.25)$$

$$F_2 = 31.824 \text{ N}.$$

Fuerza total en el pistón:

$$F_3 = F_1 + F_2 \quad (4.26)$$

$$F_3 = 112.06 + 31.824 \quad (4.27)$$

$$F_3 = 143.88 \text{ N}.$$

4.6.1.3 VOLUMEN DE CARGA DE LA BOMBA.

Volumen de carga de la bomba en cada revolución del rotor:

$$V_b = A * S \quad (4.28)$$

$$V_b = 0.00811 * 0.14 \quad (4.29)$$

$$V_b = 0.00113 \text{ m}^3.$$

Donde:

V_b = Volumen de la bomba por revolución (m^3).

S = Carrera del pistón (m).

4.6.1.4 PERDIDAS DE CARGA REGULARES.

$$J = \varphi * \frac{L}{D_t} * \frac{V_f^2}{2g} \quad (4.30)$$

Donde:

J = Perdidas de carga regular (m).

Φ = Coeficiente de fricción.

D_t = Diámetro del tubo (m).

V_f = Velocidad del fluido (m/s).

ALTURA DE ASPIRACIÓN. H_A

El número de Reynolds (Re), relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo dimensional, dicho número se relaciona si es laminar o turbulento.

- Para valores de Re menores o iguales a 2000 el flujo es laminar.
- Para valores de Re mayores 4000 el flujo es turbulento.
- Para valores de Re entre 2000 y 3000 el flujo se encuentra en una zona de transición en la cual el flujo para cálculo de pérdidas por fricción puede ser considerado turbulento.

$$Re = \frac{V_f * D_t}{u} \quad (4.31)$$

Reemplazando:

$$Re = \frac{0.689 \text{ m/s} * 0.0381 \text{ m.}}{1.106 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \quad (4.32)$$

$$Re = 23734 > 4000 \text{ flujo turbulento.}$$

Donde:

V_f = Velocidad del fluido (m/s)

u = Viscosidad cinemática ($1.106 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)

D_t = Diámetro de la tubería (m).

Coefficiente de fricción para los diferentes tramos de la tubería:

$$\varphi = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad (4.33)$$

$$\varphi = 0.030$$

Reemplazando en la ecuación (4.30). $H_a = 0.5 \text{ m.}$

$$J = 0.030 * \frac{0.5}{0.0381} * \frac{0.689^2}{2 * 9.81} \quad (4.34)$$

$$J = 0.00953 \text{ m.}$$

ALTURA DE DESCARGA. H_d

El vástago de la bomba tiene un diámetro de 0.019 y el diámetro de la tubería es 0.0381 m.

El radio Hidráulico.

$$H_R = \frac{A}{P_M} \quad (4.35)$$

Donde:

A = Diferencia de áreas (vástago y Tubería) (m^2).

P_M = Perímetro mojado.

Perímetro Mojado sería:

$$P_M = \pi(d_t + d_v) \quad (4.36)$$

$$P_M = 3.1415(0.0381 + 0.019) \quad (4.37)$$

$$P_M = 0.179$$

Es el cociente entre el área de la sección mojada y el perímetro mojado. Cuando el fluido es transportado a través de un conducto de sección no circular o en el interior trabaja otro elemento, el vástago de la bomba, el diámetro característico del tamaño es el Radio Hidráulico. (H_R).

Reemplazando en la ecuación (4.35).

$$H_R = \frac{\left(\frac{\pi * 0.0381^2}{4} - \frac{\pi * 0.019^2}{4}\right)}{0.179} \quad (4.38)$$

$$H_R = 0.00479 \text{ m.}$$

Entonces Re :

$$Re = \frac{V_{fluido} * R_H}{u} \quad (4.39)$$

$$Re = \frac{0.689 \frac{m}{s} * 0.00479 \text{ m.}}{1.106 * 10^{-6} \text{ m}^2/s} \quad (4.40)$$

$$Re = 2984 > 2000 \text{ Turbulento.}$$

Donde:

V_f = Velocidad del fluido descarga. (m/s).

H_R = Radio Hidraulico (m).

u = Viscosidad cinemática.

Para el flujo laminar el coeficiente de fricción es:

$$\varphi = \frac{64}{Re} \quad (4.41)$$

$$\varphi = 0.0424$$

Reemplazando en la ecuación (4.30). $H_d = 2$ m.

$$J = 0.0424 * \frac{2}{0.0381} * \frac{0.689^2}{2 * 9.81} \quad (4.42)$$

$$J = 0.0539m.$$

ALTURA DE DESCARGA 2 (Compensación). H_d

La tubería de compensación con un diámetro de 0.0381 m.

De la ecuación (4.31).

$$Re = \frac{0.689 * 0.0381}{1.106 \times 10^{-6}} \quad (4.43)$$

$$Re = 23734 > 2000 \text{ turbulento}$$

De la ecuación (4.33).

$$\varphi = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad (4.44)$$

$$\varphi = 0.03$$

Por lo tanto de la ecuación (4.30). Compensación 8 m.

$$J = 0.03 * \frac{8}{0.0381} * \frac{0.689^2}{2 * 9.81} \quad (4.45)$$

$$J = 0.152 m.$$

4.6.1.5 PERDIDAS DE CARGAS SINGULARES.

Las pérdidas de los accesorios que componen el sistema de tuberías.

$$J = K \frac{V_f^2}{2 * g} \quad (4.46)$$

Donde:

J = Perdida singular (m)

K = Coeficiente de pérdidas para accesorios.

Coefficientes de pérdidas de carga en accesorios:

Tabla N° 4.4: Valores del Coeficiente K para Diversos Accesorios

Fuente: www.wikipedia.com

ACCESORIO	VALOR DE "K"
Válvula esférica, totalmente abierta	10
Válvula de ángulo, totalmente abierta	5
Válvula de retención de charneta	2,5
Válvula de pie con colador	0,8
Válvula de compuerta, totalmente abierta	0,19
Codo de retroceso (codo en U)	2,2
Empalme en T normal	1,8
Codo de 90° normal	0,9
Codo de 90° de radio medio	0,75
Codo de 90° de radio grande	0,60
Codo de 45°	0,42
Ensanchamiento	0,56
Contracción	0,32
Perdida de carga a la salida	1

ASPIRACIÓN

Para la válvula de pie. (K=0.8)

$$J = K \frac{V_f^2}{2 * g} \quad (4.47)$$

$$J = 0.8 \frac{0.689^2}{2 * g} \quad (4.48)$$

$$J = 0.0194 \text{ m}$$

Para la pérdida a la entrada. (K=0.5)

$$J = 0.5 \frac{V_f^2}{2 * g} \quad (4.49)$$

$$J = 0.0121 \text{ m}$$

Para el ensanchamiento. (K=0.56)

$$J = 0.56 \frac{V_f^2}{2 * g} \quad (4.50)$$

$$J = 0.0135 \text{ m}$$

Total de pérdidas de aspiración

$$Total \ de \ perdidas = J_{VALVULA \ DE \ PIE} + J_{ENTRADA} + J_{ENSANCHAMIENTO} + J_{ASPIRACION}$$

$$Total \ de \ perdidas \ aspiracion = 0.0545 \text{ m}$$

DESCARGA

Para la contracción. (k=0.32)

$$J = 0.32 \frac{V_f^2}{2 * g} \quad (4.51)$$

$$J = 0.0077 \text{ m}$$

Para Entrada H2 (k=0.5) + anti retorno. (k=5)

$$J = 0.5 \frac{V_f^2}{2 * g} + 5 \frac{V_f^2}{2 * g} \quad (4.52)$$

$$J = 0.133 \text{ m}$$

Para perdida a la carga. (k=1)

$$J = 1 \frac{V_f^2}{2 * g} \quad (4.53)$$

$$J = 0.0242 \text{ m}$$

Total de pérdidas descarga

$$\text{Total de perdidas} = J_{CONTRACCION} + J_{H2 ANTIRETORNO} + J_{CARGA} + J_{DESCARGA 1+2}$$

$$\text{Total de perdidas descarga} = 0.371 \text{ m}$$

Total de pérdidas = Total perdidas aspiración + total de pérdidas descarga

$$\text{Total de perdidas} = 0.4255 \text{ m}$$

Fuerza generada por las pérdidas.

$$F_{per} = \varphi_{agua} * g * (J_{asp} * A_b * J_{des} * A_b) \quad (4.54)$$

$$F_{per} = 1000 \frac{Kg}{m^3} * 9.81 \text{ m/s}^2 * (0.0545 \text{ m} * 0.00811 \text{ m}^2 + 0.371 \text{ m} * 0.00811 \text{ m}^2)$$

$$F_{per} = 33.85 \text{ N}$$

4.6.1.6 ACELERACIÓN DEL PISTÓN.

$$a = \omega * r (\cos\alpha + \lambda \cos 2\alpha) \quad (4.55)$$

Donde:

ω = Velocidad angular del rotor (4.34 rad/s)

r = Radio de la manivela (0.0355m)

α = Angulo girado por el cigüeñal contado desde el punto muerto superior.

λ = Relación entre la longitud de la biela y la manivela (4).

La aceleración máxima del pistón para una rotación de 50.6 rpm es de 1.77m/s².

La manivela pie de la biela están sometidas a una fuerza centrífuga expresada mediante la ecuación:

$$F_c = m_c * \omega^2 * r_c \quad (4.56)$$

Donde:

ω = Velocidad angular.

m_c = Masa de movimiento centrífugo (fuerza circular).

r_c = Distancia desde el centro de gravedad al eje de giro.

Según la norma consideramos:

- Masas con movimiento alternativo: pistón, 2/3 partes de la biela.
- Masas con movimiento circular, manivela, 1/3 partes de la biela.

Determinación de las masas con movimiento alternativo.

- Bomba (pistón y bulón del pistón) = 6 kg.
- 2/3 de la masa de la varilla de transmisión = 9 kg.
- Total $6 + 9 = 15$ kg.

Determinación de las masas con movimiento circular.

- Masa del plato-manivela = 0.85 kg.
- 1/3 de la masa de transmisión = 3.2 kg.
- Total $0.85 + 3.2 = 4.05$ kg.

Fuerza alterna de inercia:

$$F = m * a \quad (4.57)$$

Donde:

F = Fuerza alterna de inercia (N).

m = Masa de movimiento alterno (kg).

a = Aceleración del pistón (m/s^2).

Reemplazando valores en la ecuación (4.57):

$$F_i = 15 \text{ kg} * 1.77 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (4.58)$$

$$F_i = 26.55 \text{ N.}$$

Reemplazando valores en la ecuación (4.56):

$$F_c = m_c * w^2 * r_c \quad (4.59)$$

$$F_c = 4.05 \text{ kg} * \left(4.348 \frac{\text{rad}}{\text{m}}\right)^2 * 0.0355 \text{ m.} \quad (4.60)$$

$$F_c = 2.718 \text{ N.}$$

Fuerza de la fricción:

Interviene dos fuerzas que son:

- El peso del pistón.
- Fuerza de rozamiento.

$$P - F_r = m_{\text{piston}} * a \quad (4.61)$$

Reemplazando:

$$P_{\text{piston}} = m_{\text{piston}} * a \quad (4.62)$$

$$P_{\text{piston}} = 6 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 \quad (4.63)$$

$$P_{\text{piston}} = 58.86 \text{ N.}$$

Entonces:

$$P - F_r = m_{\text{piston}} * a \quad (4.64)$$

$$F_r = 58.86 \text{ N.} - 6 \text{ kg} * 1.77 \text{ m/s}^2 \quad (4.65)$$

$$F_r = 48.24 \text{ N.}$$

Peso de los elementos:

$$F_{elementos} = m_{elementos} * a \quad (4.66)$$

$$F_{elementos} = 19.05 \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 \quad (4.67)$$

$$F_{elementos} = 186.88 \text{ N.}$$

Fuerza de bombeo necesaria:

$$F_b = F_{piston} + F_{per} + F_i + F_r + F_{elemento} \quad (4.68)$$

$$F_b = 143.88 + 33.85 + 26.55 + 48.24 + 186.88 \quad (4.69)$$

$$F_b = 439.4 \text{ N.}$$

4.7 CÁLCULO DE LAS PALAS.

Una vez diseñada la aleta, tenemos que elegir un buen material y el más adecuado para que el molino de viento tenga un buen rendimiento:

El material debe tener las siguientes características:

- Indeformable
- Costo bajo
- Ligero
- Resistente a la fatiga
- Resistente a la corrosión
- Resistente a la erosión

Se puede considerar materiales como la calamina, la fibra de vidrio.

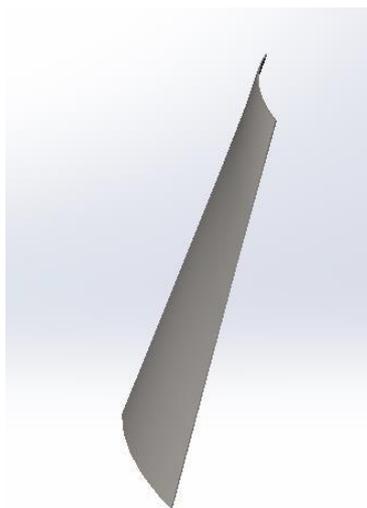
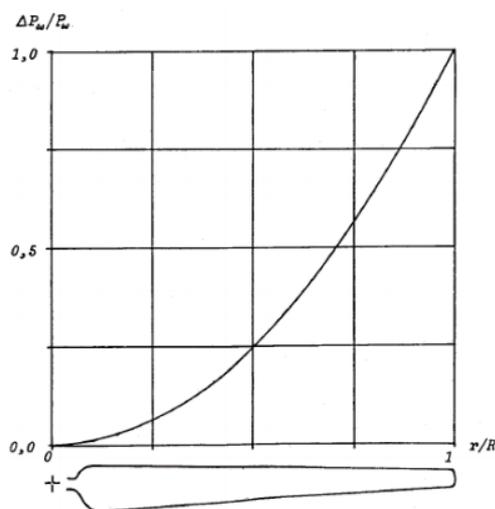


Figura N° 4.1: Pala de Molino

Elaboración Propia

Tabla N° 4.5: Potencia aportada por el rotor con relación al radio y eje del rotor

Fuente: (Introducción a la teoría de las turbinas eólicas, 2009 Manuel Franquesa i Voneschen, Castelldefels, Spain)



Muestra que se puede obtener más potencia si se da una forma aerodinámica a la pala a partir del 50% del radio.

GEOMETRÍA DE LAS PALAS.

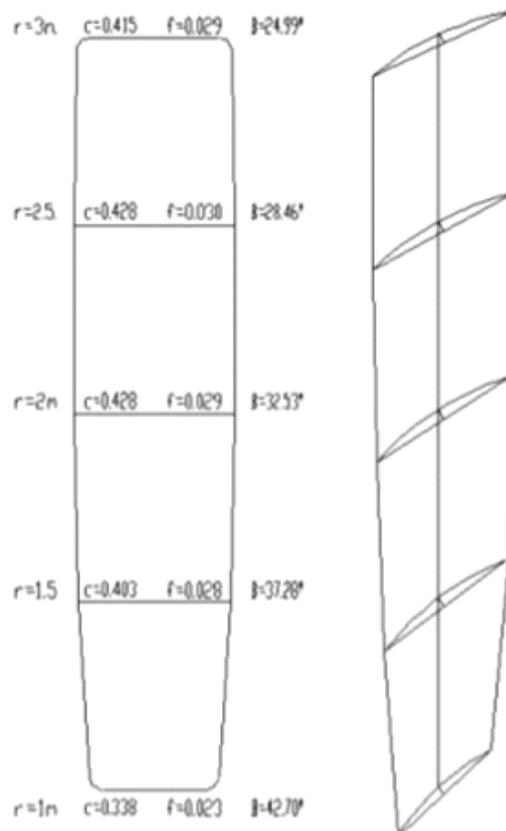


Figura N° 4.2: Radios de una Pala

Fuente: Wikipedia

Las palas son una parte muy importante del molino de viento ya que se depende mucho su rendimiento, el buen funcionamiento y duración de la vida de la maquina

Para su respectivo diseño tenemos que elegir un material adecuado, teniendo en cuenta sus características aerodinámicas y su aspecto constructivo.

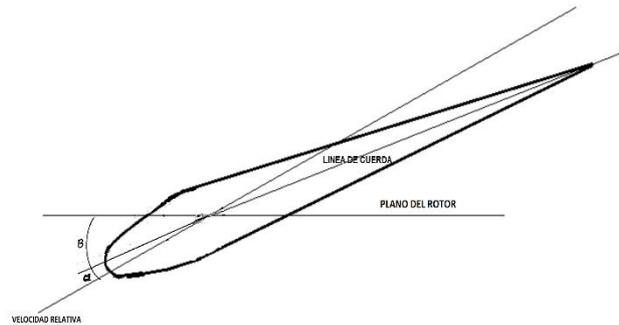


Figura N° 4.3: Forma de una Pala

Fuente: Wikipedia

Radio del rotor: $R = 1.15 \text{ m}$.

Radio local variable $r = 3, 2.5, 2.3, 2, 1.5, 1 \text{ m}$

El λ_r es una relación de la velocidad entre la velocidad periférica y la velocidad del viento a un radio determinado para cuestiones de diseño se pretende que exista un valor mayor a λ con respecto a la velocidad del viento, la velocidad específica se calcula según la ecuación.

Celeridad para radio local: $\lambda = r = 1.15 \text{ m}$.

$$\lambda_r = \lambda \frac{r}{R} \quad (4.70)$$

$$\lambda_r = (1) \frac{1.15}{1.15} = 1$$

Angulo de ataque: $\alpha = 5^\circ$

Angulo del viento relativo con el plano del rotor:

$$\phi = \frac{2}{3} \arctan \frac{1}{\lambda} \quad (4.71)$$

$$\phi = 30^\circ$$

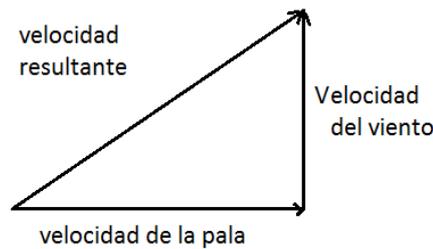


Figura N° 4.4: Dirección de una pala

Elaboración propia

Angulo de ajuste entre la cuerda y el plano del rotor β .

$$\beta = \Phi - \alpha \tag{4.72}$$

$$\beta = 30 - 5$$

$$\beta = 25^\circ$$

Número de álabes $B = 16$



Coefficiente de sustentación para placa arqueada $C_L = 0.9$

Cuerda del alabe:

$$C = \frac{8\pi(1 - \cos 30)}{B * C_L} \tag{4.73}$$

$$C = \frac{8\pi(1 - 0.866)}{16 * 0.9} \tag{4.74}$$

$$C = 0.234$$

Al considerar una linealización se debe notar que alrededor del 75% de la potencia que extrae el rotor desde el viento se realiza por la mitad exterior de los alabes.

$$f = 0.07 C \quad (4.75)$$

$$f = 0.07 * 0.234 \quad (4.76)$$

$$f = 0.0164 \text{ m.}$$

Diámetro del tubo que sostiene el álabe:

$$d = 0.1 C \quad (4.77)$$

$$d = 0.1 * 0.234 \quad (4.78)$$

$$d = 0.0234 \text{ m.}$$

4.8 LA BIELA.

Es una varilla de hierro de $\varnothing 1/2"$, y tiene soldado, en sus extremos, elementos torneados para alojar a dos rodajes similares.

Uno de estos extremos, se ensambla con cualquiera de los agujeros excéntricos del plato manivela, mediante un perno especial con lo que se consigue carreras diferentes en la bomba para cada caso. Permite la transmisión de movimiento de rotación del rotor hacia la bomba. La biela sufre una tracción de:

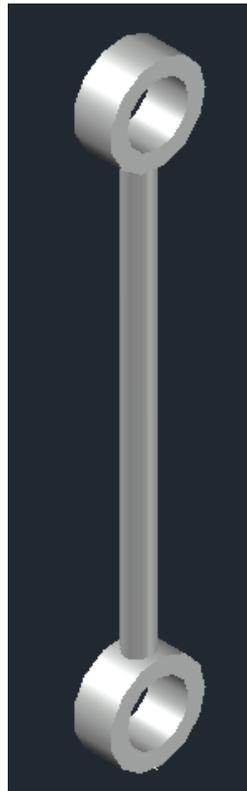


Figura N° 4.5: Biela del Molino

Elaboración propia

$$F_b = 439.4 \text{ N.}$$

Datos de la biela:

$$H = 0.295 \text{ m.}$$

$$D = 0.0127 \text{ m.}$$

Acero ASTM A36.

Peso de la Biela:

$$P_{Biela} = \rho_{acero} * V_{var} * g \quad (4.79)$$

$$P_{Biela} = 7800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \left(\pi * \frac{(0.0127\text{m})^2}{4} * 0.295\text{m} \right) * 9.81 \text{ m/s}^2 \quad (4.80)$$

$$P_{Biela} = 2.86 \text{ N.}$$

La barra que opone resistencia a la fuerza de tracción es el área de sección circular transversal.

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (4.81)$$

$$A = \frac{\pi * 0.0127^2}{4} \quad (4.82)$$

$$A = 0.000127 \text{ m}^2$$

La tensión por tracción sería:

$$\sigma = \frac{T}{A_{VARILLA}} \quad (4.83)$$

$$\sigma = \frac{439.4 \text{ N}}{0.000127 \text{ m}^2} \quad (4.84)$$

$$\sigma = 3.5 \text{ MPa.}$$

Donde la deformación debido a la carga axial de tracción es:

$$\delta = \frac{\sigma * L}{E} \quad (4.85)$$

$$\delta = \frac{3.5 * 10^6 * 0.295 \text{ m}}{207 * 10^9 \text{ N/m}^2} \quad (4.86)$$

$$\delta = 4.98 * 10^{-6} \text{ m}$$

Carga tolerable sería:

$$T = (0.6 * F_y) * V_{VARILLA} \quad (4.87)$$

$$T = (0.6 * 25 * 10^6 \text{ Kg/m}^2) * 4.98 * 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (4.88)$$

$$T = 74.7 \text{ Kg}$$

$$T = 732.807 \text{ N.}$$

4.9 VARILLA SUPERIOR.

Es una varilla de hierro de ½” Pulgada. Cuenta con dos orejas paralelas para su ensamble a la biela y tiene rosca en su parte inferior.

Se une a la biela mediante un pin de ensamble y obedece el movimiento alternativo, que le manda la biela.



Figura N° 4.6: Varilla Superior

Elaboración propia

$$F_b = 439.4 \text{ N.}$$

Datos de la varilla superior:

$$H = 0.450 \text{ m.}$$

$$D = 0.0127 \text{ m.}$$

Acero ASTM A36.

Peso de la Varilla Superior:

$$P_{\text{Varilla}} = \rho_{\text{acero}} * V_{\text{var}} * g \quad (4.89)$$

$$P_{\text{Biela}} = 7800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \left(\pi * \frac{(0.0127\text{m})^2}{4} * 0.450 \text{ m} \right) * 9.81 \text{ m/s}^2 \quad (4.90)$$

$$P_{\text{Biela}} = 4.36 \text{ N.}$$

La barra que opone resistencia a la fuerza de tracción es el área de sección circular transversal.

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (4.91)$$

$$A = \frac{\pi * 0.0127^2}{4} \quad (4.92)$$

$$A = 0.000127 \text{ m}^2$$

La tensión por tracción sería:

$$\sigma = \frac{T}{A_{\text{Varilla Superior}}} \quad (4.93)$$

$$\sigma = \frac{439.4 \text{ N}}{0.000127 \text{ m}^2} \quad (4.94)$$

$$\sigma = 3.5 \text{ MPa.}$$

Donde la deformación debido a la carga axial de tracción es:

$$\delta = \frac{\sigma * L}{E} \quad (4.95)$$

$$\delta = \frac{3.5 * 10^6 * 0.450 \text{ m}}{207 * 10^9 \text{ N/m}^2}$$

$$\delta = 7.61 * 10^{-6} \text{ m}$$

Carga tolerable seria:

$$T = (0.6 * F_y) * V_{Varilla Superior} \tag{4.96}$$

$$T = (0.6 * 25 * 10^6 \text{ Kg/m}^2) * 7.61 * 10^{-6} \text{ m}^2 \tag{4.97}$$

$$T = 114.15 \text{ Kg}$$

$$T = 1119.81 \text{ N.}$$

4.10 EJE DE TRANSMISIÓN.

Es una varilla que permite la transmisión de movimiento de rotación del rotor hacia la bomba.

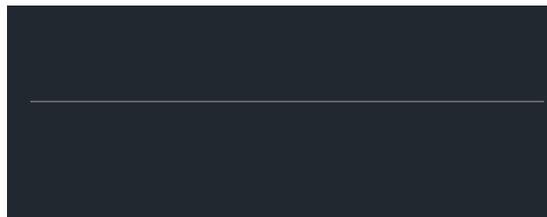


Figura N° 4.7: Eje de Transmisión

Elaboración propia

Datos de la varilla superior:

$$H = 5.05 \text{ m.}$$

$$D = 0.0127 \text{ m.}$$

Acero ASTM A36.

Peso de la Eje de transmisión:

$$P_{Eje} = \rho_{acero} * V_{var} * g \tag{4.98}$$

$$P_{Biela} = 7800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \left(\pi * \frac{(0.0127\text{m})^2}{4} * 5.05 \text{ m} \right) * 9.81 \text{ m/s}^2 \tag{4.99}$$

$$P_{Biela} = 48.95 \text{ N.}$$

La barra que opone resistencia a la fuerza de tracción es el área de sección circular transversal.

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (4.100)$$

$$A = \frac{\pi * 0.0127^2}{4} \quad (4.101)$$

$$A = 0.000127 \text{ m}^2$$

La tensión por tracción sería:

$$\sigma = \frac{T}{A_{Eje}} \quad (4.102)$$

$$\sigma = \frac{439.4 \text{ N}}{0.000127 \text{ m}^2} \quad (4.103)$$

$$\sigma = 3.5 \text{ MPa.}$$

Donde la deformación debido a la carga axial de tracción es:

$$\delta = \frac{\sigma * L}{E} \quad (4.104)$$

$$\delta = \frac{3.5 * 10^6 * 5.05 \text{ m}}{207 * 10^9 \text{ N/m}^2} \quad (4.105)$$

$$\delta = 8.54 * 10^{-5} \text{ m}$$

Carga tolerable sería:

$$T = (0.6 * F_y) * V_{Eje} \quad (4.106)$$

$$T = (0.6 * 25 * 10^6 \text{ Kg/m}^2) * 8.54 * 10^{-5} \text{ m}^2 \quad (4.107)$$

$$T = 128.1 \text{ Kg}$$

$$T = 1256.66 \text{ N.}$$

4.11 PLATO MANIVELA.

Es un elemento que se ensambla por su parte central a un extremo del eje principal. Cuenta además del agujero central, con 3 agujeros excéntricos.

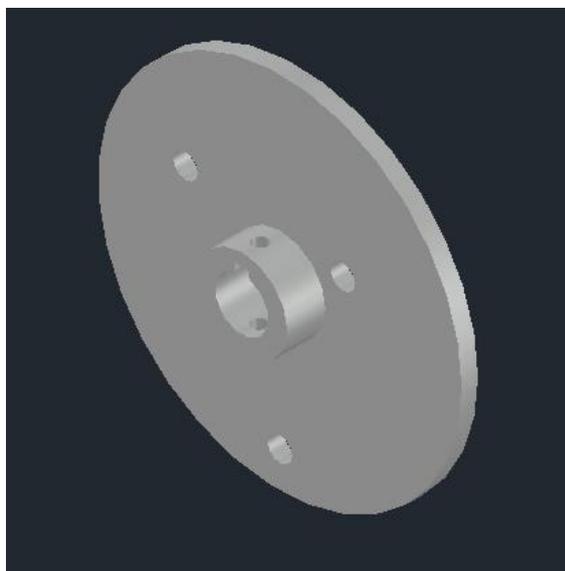


Figura N° 4.8: Plato Manivela

Elaboración propia

Datos de la Plato-manivela:

$$E = 0.009 \text{ m.}$$

$$R = 0.1 \text{ m.}$$

Acero ASTM A36.

Peso de la Plato - Manivela:

$$P_{Manivela} = \rho_{acero} * V_{var} * g \tag{4.108}$$

$$P_{Biela} = 7800 \frac{Kg}{m^3} * \left(\pi * \frac{(0.1 \text{ m})^2}{4} * 0.009m - \pi * \frac{(0.0295 \text{ m})^2}{4} * 0.009m \right) * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$P_{Biela} = 3.53 \text{ N.}$$

La barra que opone resistencia a la fuerza de tracción es el área de sección circular transversal.

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (4.109)$$

$$A = \frac{\pi * 0.1^2}{4} \quad (4.110)$$

$$A = 0.0079 \text{ m}^2$$

La tensión por tracción sería:

$$\sigma = \frac{T}{A_{\text{plato-manivela}}} \quad (4.111)$$

$$\sigma = \frac{439.4 \text{ N}}{0.0079 \text{ m}^2} \quad (4.112)$$

$$\sigma = 0.056 \text{ MPa.}$$

Donde la deformación debido a la carga axial de tracción es:

$$\delta = \frac{\sigma * L}{E} \quad (4.113)$$

$$\delta = \frac{5.6 * 10^8 * 0.295 \text{ m}}{207 * 10^9 \text{ N/m}^2}$$

$$\delta = 7.98 * 10^{-4} \text{ m}$$

Carga tolerable sería:

$$T = (0.6 * F_y) * V_{\text{plato-manivela}} \quad (4.114)$$

$$T = (0.6 * 25 * 10^6 \text{ Kg/m}^2) * 7.98 * 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (4.115)$$

$$T = 11970 \text{ Kg}$$

$$T = 117425.7 \text{ N.}$$

4.12 PLACA GUIA – VELETA.

La veleta placa guía emplea la fuerza del viento que actúa sobre ella para orientar al rotor ubicado delante de la torre que lo sustente, además de proteger de las altas velocidades del viento.

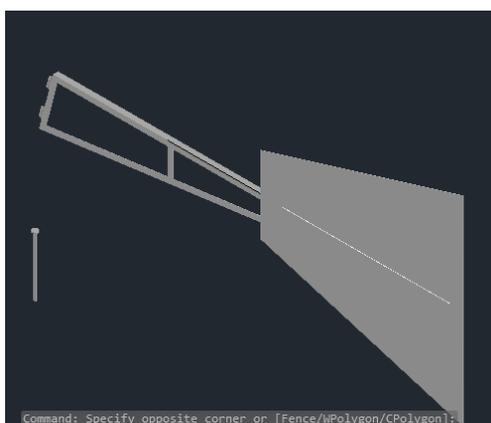


Figura N° 4.9: Placa Guía - Veleta

Elaboración propia

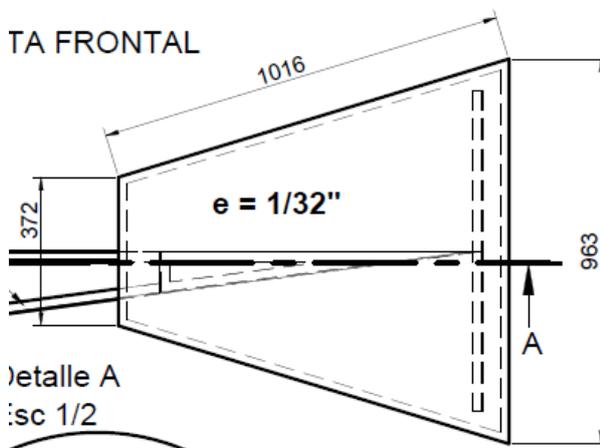


Figura N° 4.10: Medidas Placa Guía - Veleta

Elaboración propia

Área de la placa guía de la veleta.

$$A_{\text{placa guía}} = \frac{(0.963 + 0.372)0.970}{2} \tag{4.116}$$

$$A_{Placa\ guia} = 0.29\ m^2$$

Volumen de la placa guía de la veleta.

$$V_{Placa\ guia} = A_{Placa\ guia} * e_{Placa\ guia} \tag{4.117}$$

$$V_{Placa\ guia} = 0.29\ m^2 * 0.0008\ m \tag{4.118}$$

$$V_{Placa\ guia} = 0.000232\ m^3$$

Peso de la placa guía de la veleta.

$$P_{Placa\ guia} = V_{Placa\ guia} * \sigma_{acero} \tag{4.119}$$

$$P_{Placa\ guia} = 0.000232\ m^3 * 7800\ Kg/m^3 \tag{4.120}$$

$$P_{Placa\ guia} = 17.76\ N$$

Veleta.

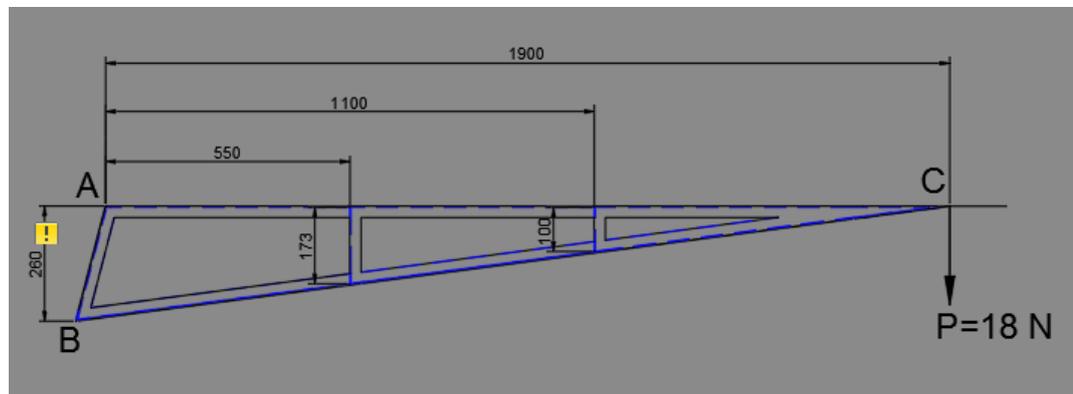


Figura N° 4.11: Medidas Armadura Veleta

Elaboración propia

Momento máximo (Mf.) Es:

$$M_f = F_{placa} * d \tag{4.121}$$

$$M_f = 18\ N * 1.9\ m$$

$$M_f = 34.2\ Nm.$$

Masa total compuesta:

$$m_{total} = m_{seccion} * L \quad (4.122)$$

$$m_{total} = 0.342 \frac{Kg}{m} * 4.3m \quad (4.123)$$

$$m_{total} = 1.47 Kg = 14.4 N.$$

Área de la Veleta:

$$A_{veleta} = \frac{B * h}{2} \quad (4.124)$$

$$A_{veleta} = \frac{0.27m * 1.9 m}{2} \quad (4.125)$$

$$A_{veleta} = 0.26 m^2$$

Esfuerzo Permissible a tensión:

$$F_a = \frac{P \text{ carga distribuida de veleta y placa}}{A} \quad (4.126)$$

$$F_a = \frac{439.4 N}{0.26 m^2} = 1690 Pa$$

Fuerzas externas en la veleta:

PUNTO B

$$+ ; \sum M_A = 0$$

$$(B * 0.27m) - (18 N * 1.9m) = 0$$

$$B = \frac{18N * 1.9}{0.27} = 127N.$$

PUNTO A

$$A_x ; \leftarrow + \sum F_x = 0$$

$$A_x - B = 0$$

$$A_x = 127N$$

$$A_y ; \uparrow + \sum F_y = 0$$

$$A_x = 18N$$

4.13 VELETA AUXILIAR.

La veleta auxiliar es generalmente utilizada en lugares con velocidades de viento superiores a 5m/s., como en algunas zonas del altiplano, por razones de seguridad, es necesario utilizar veleta auxiliar, además de la veleta simple anteriormente descrita. Ambas, producen el efecto de un freno de aire automático. En su extremo opuesto lleva soldado un contrapeso de 5 kg.

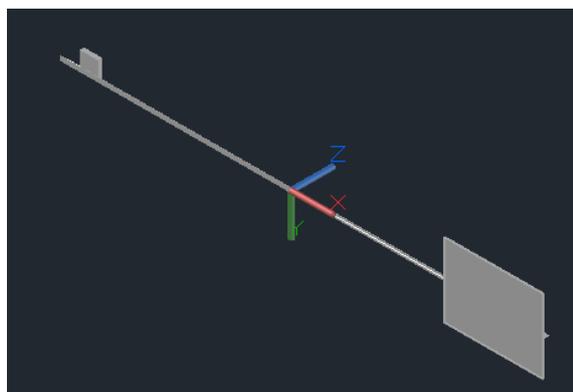


Figura N° 4.12: Veleta Auxiliar

Elaboración propia

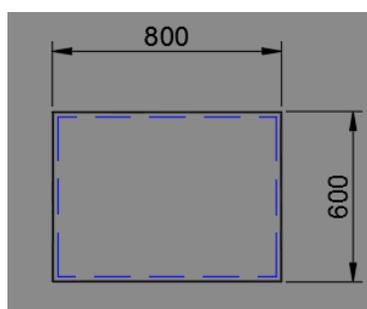


Figura N° 4.13: Medidas aleta

Elaboración propia

Área de la placa guía de la veleta.

$$A_{Placa} = \frac{0.8 * 0.6}{2} \quad (4.127)$$

$$A_{Placa} = 0.24 \text{ m}^2$$

Volumen de la placa guía de la veleta.

$$V_{Placa} = A_{Placa \text{ guía}} * e_{Placa \text{ guía}} \quad (4.128)$$

$$V_{Placa} = 0.24 \text{ m}^2 * 0.0008 \text{ m} = 0.000192 \text{ m}^3$$

Peso de la placa guía de la veleta.

$$P_{Placa} = V_{Placa \text{ guía}} * \sigma_{acero} \quad (4.129)$$

$$P_{Placa} = 0.000192 \text{ m}^3 * 7800 \text{ Kg/m}^3 \quad (4.130)$$

$$P_{Placa} = 1.50 \text{ N}$$

4.14 EJE PRINCIPAL.

Trasmite el movimiento de rotación del rotor a un plato-manivela. Cuenta con un disco soldado a uno de sus extremos y descansa sobre los soportes de rodamiento de la tornamesa. Se recomienda tener el máximo cuidado en taladrar los agujeros del disco según las dimensiones mostradas, porque servirán para su ensamble con el rotor. El eje cuenta con dos topes de seguridad que se colocaran en el momento de su instalación a los soportes de rodamiento.

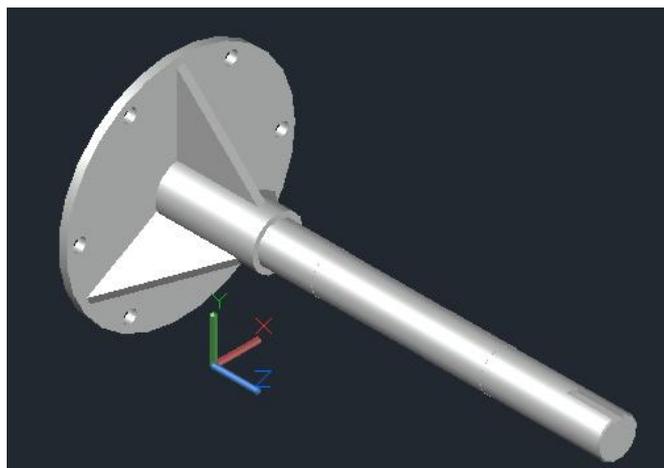


Figura N° 4.14: Eje Principal

Elaboración propia

Balace de fuerzas exteriores.

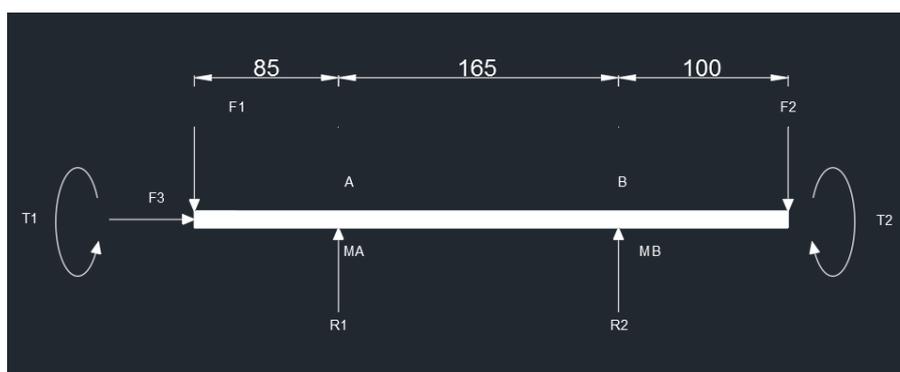


Figura N° 4.15: Esquema de las fuerzas ejercidas sobre el eje del rotor

Elaboración propia

Estimación de fuerzas aplicadas en el eje.

Peso propio del eje 1.60 kg = 15.68 N

Peso del rotor: Se tiene una masa total aproximada de los elementos que conforman el rotor de 28 kg. Sumando algunos elementos de como pernos, tuercas de sujeción de palas y abrazaderas, Sumando todo nos da un peso de 38.5 kg.

$$F_1 = 38.5 \text{ kg} * 9.80 \text{ m/s}^2$$

$$F_1 = 377.3 \text{ N}$$

Fuerza de bombeo del agua:

$$F_2 = 439.4 N$$

Fuerza de arrastre de las palas de la Aerobomba: Para nuestro caso tenemos un diámetro de rotor de 2.3 m. el coeficiente de arrastre sería de $CD=0.03$ con el coeficiente de seguridad de 5.

Fuerza axial del rotor:

$$C_p = 0.15$$

$$V_{\text{max del viento}} = 12 \text{ m/s}$$

$$F_3 = C_p * \frac{1}{2} * \rho_{\text{aire}} * V^2 * S \quad (4.131)$$

$$F_3 = 0.15 * \frac{1}{2} * 1.24 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (12 \text{ m/s})^2 * 4.16 \quad (4.132)$$

$$F_3 = 55.71 N$$

Donde:

C_p = Coeficiente de arrastre 0.15

S = Área del barrido del rotor $A = 4.16 \text{ m}^2$

Diagrama de cortantes y momentos del eje.

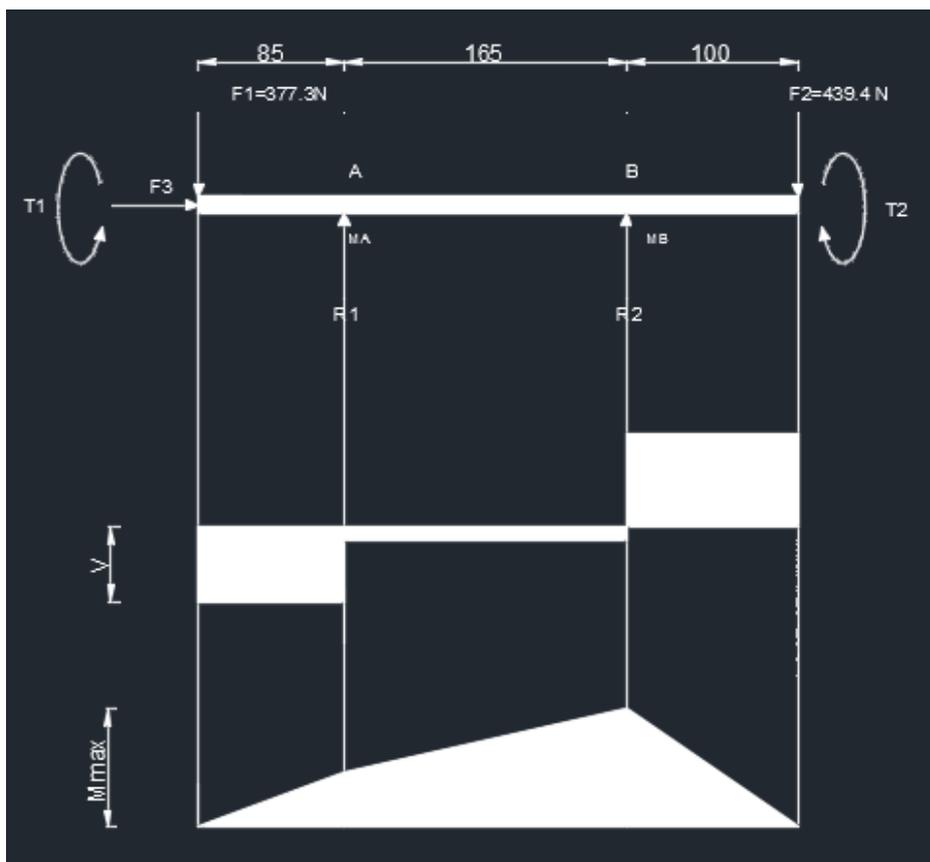


Figura N° 4.16: Diagrama de momentos flectores en el eje

Elaboración propia

$$\downarrow + \sum F = 0$$

$$F1 + F2 - R1 - R2 = 0$$

Despejando la fuerza de reacción en los rodamientos.

$$-377.3 * 85 - R2 * 165 + 439.4 * 350 = 0$$

$$R2 = 737.70 N$$

Entonces:

$$F1 + F2 - R1 - R2 = 0$$

$$R1 = 79$$

Momentos:

$$M(A) = 377.3 * 0.085 = 32.1 Nm.$$

$$M(B) = 439.4 * 0.10 = 43.94 Nm$$

4.15 TORNAMESA.

Es un elemento que tiene libertad de giro para colocar al rotor en la dirección del viento.

Tiene dos componentes: estructura principal y soporte giratorio.

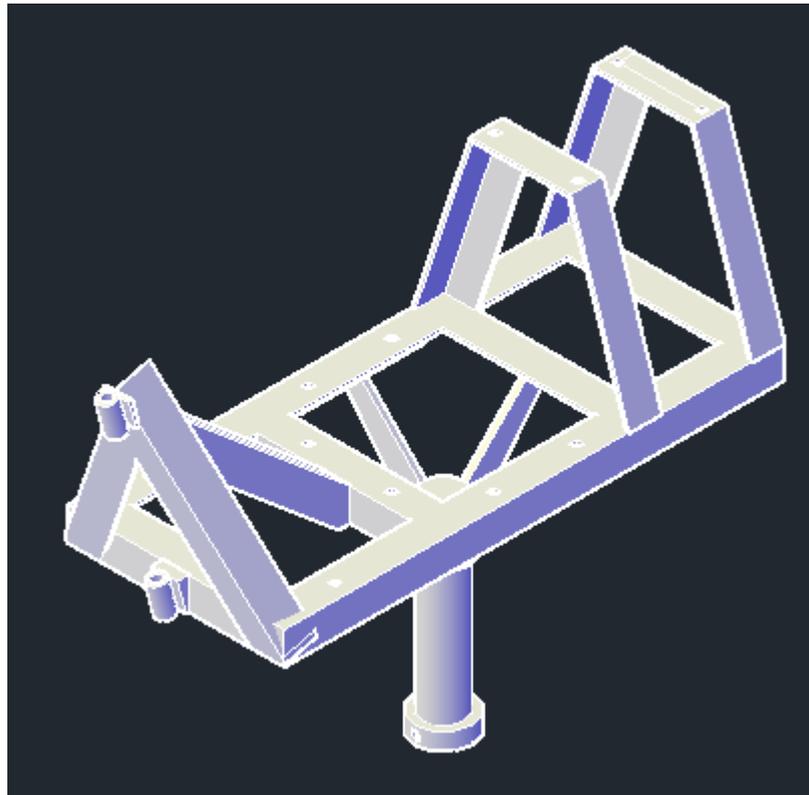


Figura N° 4.17: Tornamesa

Elaboración propia

Estructura principal:

Elemento principal que tiene que soportar las cargas:

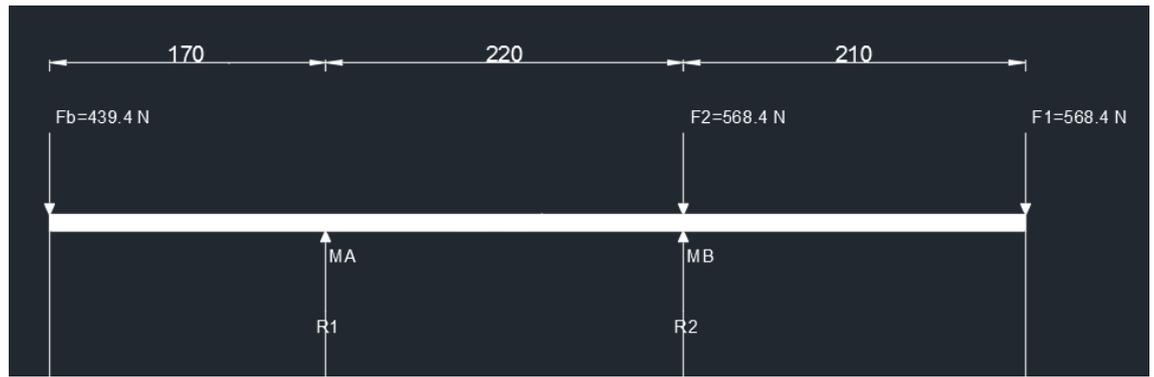


Figura N° 4.18: Diagrama de cuerpo libre de la estructura principal

Elaboración propia

Bombeo:

$$Fb = 439.4 \text{ N}$$

Fuerzas aplicables al eje:

Sumamos el peso del rotor más el peso del eje principal más sus componentes:

$$F1 = 568.4 \text{ N}$$

$$F2 = 568.4 \text{ N}$$

Diagrama de cortes y momentos en la viga:

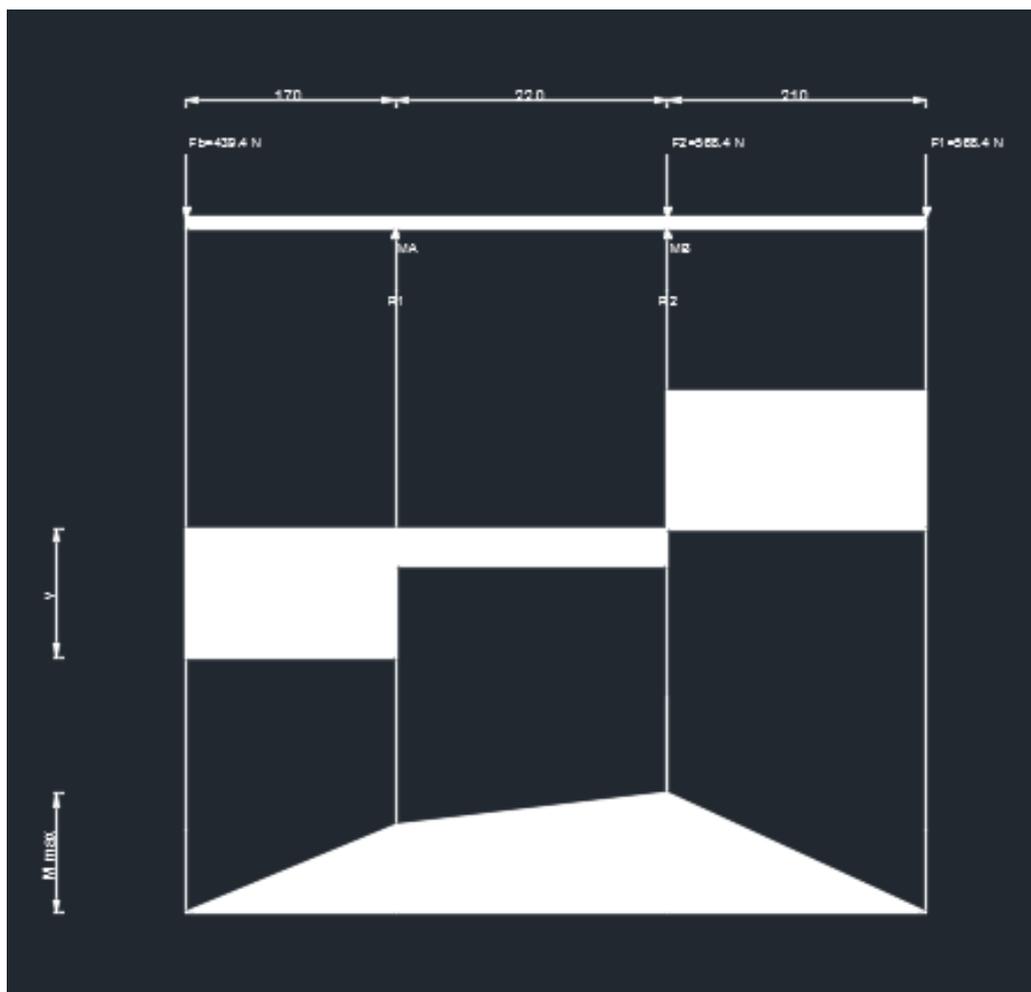


Figura N° 4.19: Diagrama de cortes y momentos en la viga

Elaboración propia

$$\downarrow + \sum F = 0$$

$$F1 + F2 + Fb - R1 - R2 = 0$$

$$\downarrow + \sum M = 0$$

$$-Fb * 0.17m + F2 * 0.22m - R2 * 0.220 + F1 * 0.39 = 0$$

$$R2 = \frac{(-439.4 * 0.17) + (568.4 * 0.22) + (568.4 * 0.39)}{0.22} = 1236.48 \text{ N}$$

Donde:

$$F1 + F2 + Fb - R1 - R2 = 0$$

$$568.4 + 568.4 + 439.1 - 1236.48 = R1$$

$$R1 = 339.72$$

Momentos:

$$M = F * d$$

$$M(A) = 439.4 * 0.17$$

$$M(A) = 74.70 Nm$$

$$M(B) = 568.4 * 0.21$$

$$M(B) = 119.36 Nm$$

Cargas de la viga (W_{CV}):

- Presión del viento:

$$Presion_{viento} = (0.00445)(V^2)(f). \tag{4.133}$$

Donde:

Velocidad = 5.00 m/s

f = 1.3

$$Presion_{viento} = (0.00445)(5^2)(1.3). \tag{4.134}$$

$$Presion_{viento} = (0.00445)(5^2)(1.3).$$

$$Presion_{viento} = (0.00445)\left(\frac{18km}{h}\right)^2(1.3) \tag{4.135}$$

$$Presion_{viento} = 1.87 Kg/m^2$$

- Fuerza del viento:

$$Presion_{viento} = (1.87 Kg/m^2)(0.26m)(0.6m) \tag{4.136}$$

$$Presion_{viento} = 0.29 Kg. = 2.84 N$$

Estimación de cargas muertas (W_{CV}):

- Fuerza del rotor:

$$F = 1201.9N$$

- Masas de la vigas:

$$m_{vigas} = (A) * (L) * (\rho) \quad (4.137)$$

$$m_{vigas} = (0.000346 \text{ m}^2 * 2) * (0.6) * (7800 \text{ Kg/m}^3)$$

$$m_{vigas} = 3.24 \text{ Kg} = 31.74 \text{ N} \quad (4.138)$$

$$Total W_{CM} = 1233.61 \text{ N}$$

- Total de cargas vivas:

$$Total W_{CM} = 1236.45 \text{ N}$$

Carga distribuida:

$$W = \frac{W}{L} \quad (4.139)$$

$$W = \frac{1236.45}{0.6m} \quad (4.140)$$

$$W = 2060.75 \text{ N/m.}$$

4.16 EJE DE TORNAMESA.

Es una pieza metálica de fierro, que permite el ensamble de la Aero bomba, debe resistir una fuerza de compresión y un momento flector.

Cuenta con un tope de seguridad que se puede fijar al eje mediante un perno.

Fuerza de compresión:

$$F = 1236.45 \text{ N}$$

Masa del eje hueco de la tornamesa.

$$m_{eje} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)(L)(\rho_{acero}) \quad (4.141)$$

$$m_{eje} = \frac{\pi}{4} (0.058^2 - 0.030^2)(0.33)(7800 \text{ Kg/m}^3) \quad (4.142)$$

$$m_{eje} = 4.98 \text{ Kg.}$$

Inercia del eje de la tornamesa:

$$I_{eje} = \frac{\pi * (D^4 - d^4)}{64} \quad (4.143)$$

$$I_{eje} = \frac{\pi * (0.058^4 - 0.030^4)}{64} \quad (4.144)$$

$$I_{eje} = 5.16 * 10^{-7} m^2$$

Radio del eje de la tornamesa:

$$r_{eje} = \sqrt{\frac{(D^2 + d^2)}{4}} \quad (4.145)$$

$$r_{eje} = \sqrt{\frac{(0.058^2 + 0.030^2)}{4}} \quad (4.146)$$

$$r_{eje} = 0.032 m$$

Momento flector:

$$M_x = F * D \quad (4.147)$$

$$M_x = 377.3 N * 0.33 m \quad (4.148)$$

$$M_x = 124.51 Nm$$

$$M_y = F * D \quad (4.149)$$

$$M_y = 439.4 N * 1.8 m \quad (4.150)$$

$$M_y = 790.92 Nm$$

$$M_f = \sqrt{(M_x^2 + M_y^2)} \quad (4.151)$$

$$M_f = \sqrt{(124.51^2 + 790.92^2)} \quad (4.152)$$

$$M_f = 800.66 Nm$$

CAPITULO V

CONCLUSIONES

- 1.- Al término de la presente tesis se puede concluir que mediante un sistema de bombeo eólico se puede mejorar la producción en las zonas rurales de la región Puno para la extracción de agua del subsuelo, esto implicaría un uso masivo de estas máquinas, lo que ampliaría la producción agrícola de ya ser solo por temporadas de lluvia pasaría a ser todo el año sin ningún problema
- 2.- Se diseñó un molino de viento que nos permite satisfacer las necesidades de las personas en las zonas rurales de la región Puno, ya que su construcción puede ser en forma artesanal por el propio poblador rural o ser construido en forma industrial, para el desarrollo tecnificado de irrigación.
- 3.-La energía eólica no ha sido aprovechada en la región Puno para resolver los problemas de irrigación agrícola, pero este es un recurso que está al alcance de todos.

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES

- 1.- Se recomienda llevar el diseño donde se cuente con una velocidad promedio de viento de 5 m/s. Con el propósito de generar la potencia necesaria para el bombeo.
- 2.- El diseño del perfil es muy importante ya que es el que comunica el movimiento directamente al rotor donde se encuentra el sistema que transmite el movimiento hacia la bomba.
- 3.- Es importante realizar un mantenimiento adecuado al sistema para evitar problemas de funcionamiento a largo plazo.
- 4.- La velocidad promedio del viento en la región de Puno es de 5 m/s con la cual se determinó la potencia para seleccionar el diámetro del rotor de 2.3 m, en otros.
- 5.- Se utilizara una bomba de pistón de diámetro de 4 pulgadas, todo este sistema bombearemos una altura de 10 metros, con lo cual compensa las pérdidas producidas por el sistema.

CAPITULO VII

REFERENCIAS

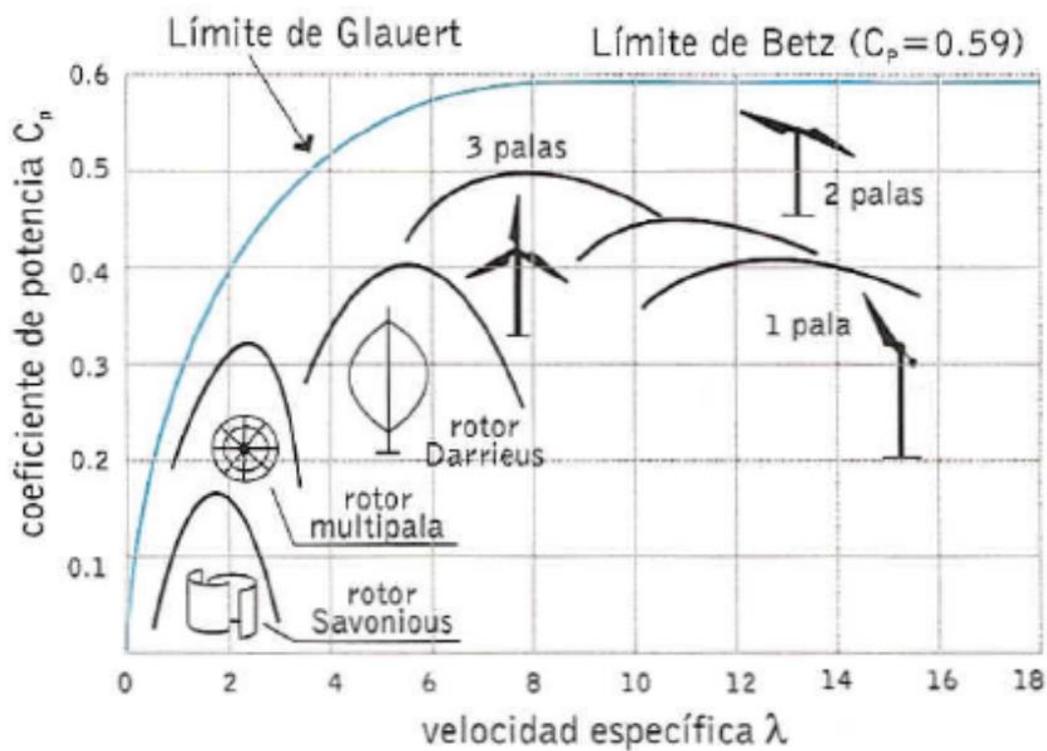
- Agüera-Paredes (1998) LOS MOLINOS DE VIENTO EN LA VILLA DE TORRE PACHECO (CAMPO DE CARTAGENA, MURCIA). Actas II Jornadas Molinología. Terrassa, España.
- Ayala-Carcedo FJ (2001) HISTORIA DE LA TECNOLOGÍA EN ESPAÑA. Vol. 2. Ed. Valatenea, Barcelona, España.
- Cádiz-Deleito JC (1992) HISTORIA DE LAS MÁQUINAS EÓLICAS. Tabapress. Madrid, España.
- Cádiz-Deleito JC, Ramos-Cabrero J (1984) LA ENERGÍA EÓLICA: TECNOLOGÍA E HISTORIA. Blume. Madrid, España.
- Caro-Baroja J (1952) DISERTACIÓN SOBRE LOS MOLINOS DE VIENTO. Revista de Dialectología y Tradiciones Populares, Tomo VIII, Cuaderno 2º: Bermejo. Madrid, España.
- Fernández-Lavandera E, Fernández-Rodríguez CM (1998) LOS MOLINOS: PATRIMONIO INDUSTRIAL Y CULTURAL. Grupo Editorial Universitario. Granada, España.
- Sánchez-Molledo JM (1995a) TECNOLOGÍA DEL MOLINO DE VIENTO. Actas I Jornadas Nacionales Molinología. La Coruña, España.
- White L (1973) TECNOLOGÍA MEDIEVAL Y CAMBIO SOCIAL. Paidós. Buenos Aires, Argentina.
- Rojas-Sola (2015) ORIGEN Y EXPANSIÓN DE LOS MOLINOS DE VIENTO EN ESPAÑA Recuperado en:
- [//www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005000600004](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005000600004)

ANEXOS

ANEXO A: Propiedades del agua pura a presión atmosférica

TEMPERATURA (°C)	Peso específico γ (N/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica μ (Pa-s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9810	1000	$1,75 \times 10^{-3}$	$1,75 \times 10^{-6}$
5	9810	1000	$1,52 \times 10^{-3}$	$1,52 \times 10^{-6}$
10	9810	1000	$1,30 \times 10^{-3}$	$1,30 \times 10^{-6}$
15	9810	1000	$1,15 \times 10^{-3}$	$1,15 \times 10^{-6}$
20	9790	998	$1,02 \times 10^{-3}$	$1,02 \times 10^{-7}$
25	9780	997	$8,91 \times 10^{-4}$	$8,94 \times 10^{-7}$
30	9770	996	$8,00 \times 10^{-4}$	$8,03 \times 10^{-7}$
35	9750	994	$7,18 \times 10^{-4}$	$7,22 \times 10^{-7}$
40	9730	992	$6,51 \times 10^{-4}$	$6,56 \times 10^{-7}$
45	9710	990	$5,94 \times 10^{-4}$	$6,00 \times 10^{-7}$
50	9690	988	$5,41 \times 10^{-4}$	$5,48 \times 10^{-7}$
55	9670	986	$4,98 \times 10^{-4}$	$5,05 \times 10^{-7}$
60	9650	984	$4,60 \times 10^{-4}$	$4,67 \times 10^{-7}$
65	9620	981	$4,31 \times 10^{-4}$	$4,39 \times 10^{-7}$
70	9590	978	$4,02 \times 10^{-4}$	$4,11 \times 10^{-7}$
75	9560	975	$3,73 \times 10^{-4}$	$3,83 \times 10^{-7}$
80	9530	971	$3,50 \times 10^{-4}$	$3,60 \times 10^{-7}$
85	9500	968	$3,30 \times 10^{-4}$	$3,41 \times 10^{-7}$
90	9470	965	$3,11 \times 10^{-4}$	$3,22 \times 10^{-7}$
95	9440	962	$2,92 \times 10^{-4}$	$3,04 \times 10^{-7}$
100	9400	958	$2,82 \times 10^{-4}$	$2,94 \times 10^{-7}$

ANEXO B: Coeficientes de potencia en función de la velocidad específica y el ángulo de paso de las palas



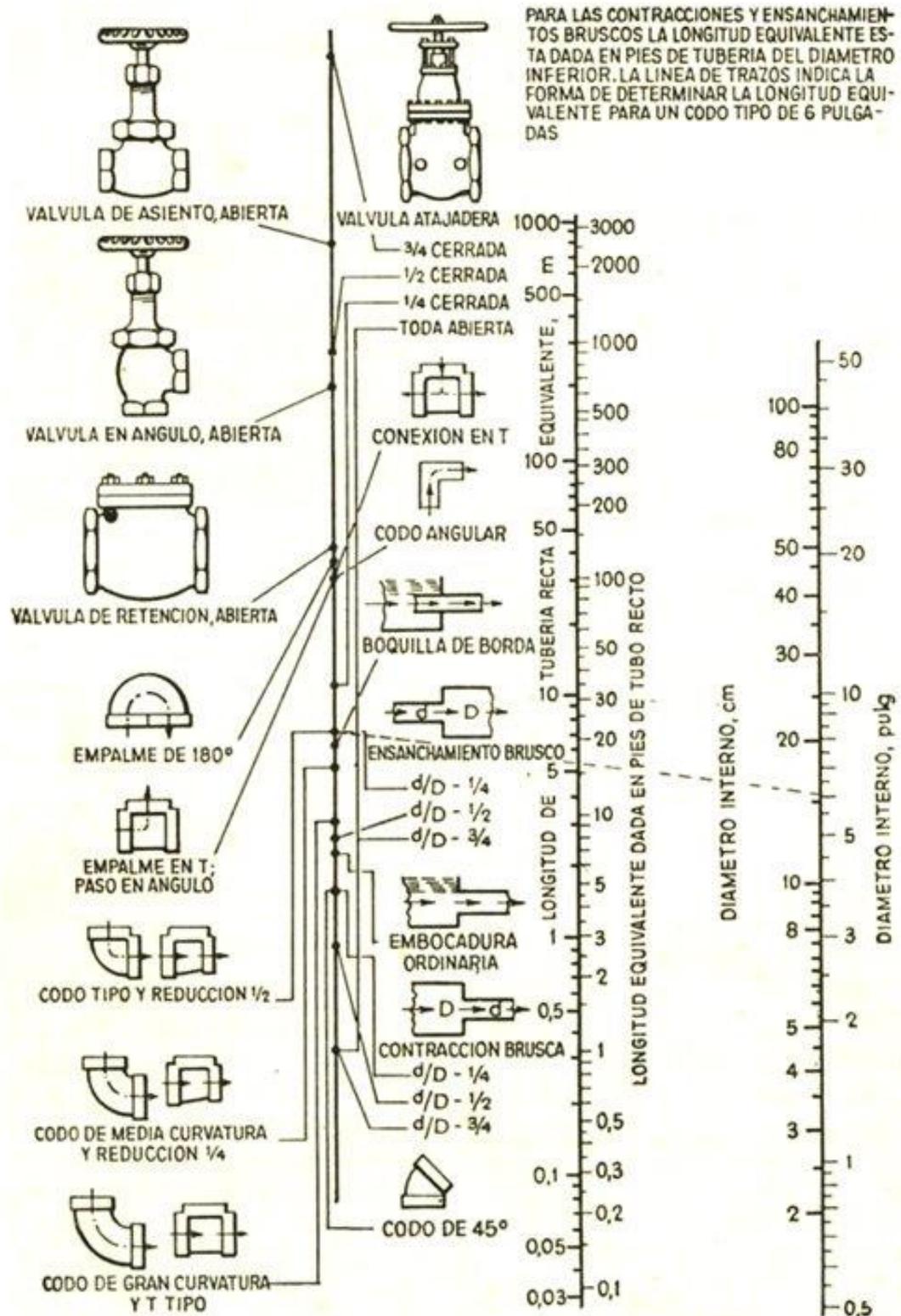
ANEXO C: Valores de relación de interés en aplicaciones de energía eólica en función del parámetro K para una distribución de Weibull.

k	$\langle v \rangle / c$	$\sigma / \langle v \rangle$	$\tilde{v} / \langle v \rangle$	$v_m / \langle v \rangle$	$F_e = \langle v^3 \rangle / \langle v \rangle^3$	$F_e^{1/3} = v^* / \langle v \rangle$
1,2	0,941	0,837	0,783	0,239	3,99	1,59
1,4	0,911	0,724	0,844	0,448	3,03	1,45
1,6	0,897	0,640	0,887	0,604	2,48	1,35
1,8	0,889	0,575	0,917	0,717	2,14	1,29
2,0	0,886	0,523	0,939	0,798	1,91	1,24
2,2	0,886	0,480	0,956	0,857	1,75	1,21
2,4	0,886	0,444	0,968	0,901	1,63	1,18
2,6	0,888	0,413	0,978	0,934	1,53	1,15
2,8	0,890	0,387	0,985	0,959	1,46	1,13
3,0	0,893	0,363	0,991	0,978	1,40	1,12
3,2	0,896	0,343	0,996	0,993	1,36	1,11
3,5	0,900	0,316	1,001	1,010	1,30	1,09
4,0	0,906	0,281	1,007	1,027	1,23	1,07
5,0	0,918	0,229	1,012	1,042	1,15	1,05
6,0	0,928	0,194	1,014	1,046	1,11	1,04
7,0	0,935	0,168	1,014	1,046	1,08	1,03
8,0	0,942	0,148	1,014	1,044	1,06	1,02
9,0	0,947	0,133	1,014	1,042	1,05	1,02
10,0	0,951	0,120	1,013	1,040	1,04	1,01

ANEXO D: Coeficientes de pérdida de carga k para singularidades.

Accesorio	Coefficiente K
Codo 90°	0.90
Válvula de pie	2.50
Llave de compuerta abierta 25%	24.00
Llave de compuerta abierta 50%	5.60
Llave de compuerta abierta 75%	1.15
Llave de compuerta abierta 100%	0.19
Válvula de globo abierta	10.00
Válvula de no retorno	2.50
Contracción brusca: ϕ entrada/ ϕ salida = 0.25	0.42
ϕ entrada/ ϕ salida = 0.50	0.32
ϕ entrada/ ϕ salida = 0.75	0.19
Expansión brusca: ϕ entrada/ ϕ salida = 0.25	0.92
ϕ entrada/ ϕ salida = 0.50	0.56
ϕ entrada/ ϕ salida = 0.75	0.19
Tee	1.80
Codo 45°	0.42
Codo cuadrado	1.80

ANEXO E: Perdidas de carga en accesorios.



ANEXO F: Perfiles estructurales, ángulos

Tabla de Angulos de alas iguales							
Ángulos	Dimensiones			Peso	Valores estáticos		
	a (mm)	e (mm)	Long. (m)	(kg/m)	Jx=Jy (cm4)	J1 (cm4)	J2 (cm4)
5/8" x 1/8"	15.9	3.2	6	0.7	0.20	0.09	0.31
3/4" x 1/8"	19.1	3.2	6	0.9	0.37	0.17	0.57
7/8" x 1/8"	22.2	3.2	6	1.0	0.58	0.31	0.94
1" x 1/8"	25.4	3.2	6	1.2	0.91	0.38	1.44
1" x 3/16"	25.4	4.8	6	1.8	1.25	0.55	1.96
1" x 1/4"	25.4	6.4	6	2.2	1.50	0.67	2.33
1 1/4" x 1/8"	31.7	3.2	6	1.5	1.83	0.74	2.93
1 1/4" x 3/16"	31.7	4.8	6	2.2	2.54	1.08	4.07
1 1/4" x 1/4"	38.1	6.4	6	3.4	5.69	2.59	8.99
1 1/2" x 1/8"	38.1	3.2	6	1.8	3.25	1.30	5.17
1 1/2" x 3/16"	38.1	4.8	6	2.7	4.58	1.86	7.26
1 1/2" x 1/4"	38.1	6.4	6	3.4	5.78	2.43	9.09
1 3/4" x 1/8"	44.4	3.2	6	2.1	5.24	2.11	8.35
1 3/4" x 3/16"	44.4	4.8	6	3.1	7.45	3.03	11.84
2" x 1/8"	50.8	3.2	6	2.4	7.91	3.18	12.94
2" x 3/16"	50.8	4.8	6	3.6	11.33	4.61	18.05
2" x 1/4"	50.8	6.4	6	4.7	14.48	5.93	22.96
2 1/4" x 3/16"	57.1	4.8	6	4.1	16.23	6.52	26.12
2 1/4" x 1/4"	57.1	6.4	6	5.4	21.23	8.62	33.40
2 1/2" x 3/16"	63.5	4.8	12	4.6	22.77	9.22	36.28
2 1/2" x 1/4"	63.5	6.4	12	6.1	29.26	12.00	46.59
3" x 1/4"	76.2	6.4	12	7.3	51.60	20.90	82.58
3" x 5/16"	76.2	7.9	12	9.1	62.80	25.83	100.03
3" x 3/8"	76.2	9.5	12	10.7	73.20	30.21	116.21
3 1/2" x 1/4"	88.9	6.4	12	8.6	83.60	33.76	133.47
3 1/2" x 5/16"	88.9	7.9	12	10.7	101.90	41.28	162.42
3 1/2" x 3/8"	88.9	9.5	12	12.6	119.40	48.44	189.55
4" x 5/16"	101.6	7.9	12	12.2	154.60	62.54	246.68
4" x 3/8"	101.6	9.5	12	14.6	181.30	73.80	288.43
4" x 1/2"	101.6	12.7		19.0	231.40	95.79	367.43
4" x 1/4"	101.6	6.4		9.8	124.23	50.03	198.44

ANEXO G: Planchas galvanizadas.

Tabla de Chapas Galvanizadas				
Ancho 1000 mm - Largos normales de 2000 mm				
Ancho 1220 mm - Largos normales de 2440 mm				
Espesor en mm	Pesos teóricos (Kgs) por cada			
	Ancho 1000 mm		Ancho 1220	
	En largo de		En largo de	
	1000 mm	2000 mm	1000 mm	2440 mm
Cal. 10 (3.20)	25.50	51.00	38.00	76.00
Cal. 12 (2.50)	20.10	40.20	24.50	59.80
Cal. 14 (2.00)	16.05	32.10	19.58	47.78
Cal. 16 (1.60)	12.88	25.76	15.71	38.34
Cal. 18 (1.25)	10.10	20.20	12.32	30.06
Cal. 20 (0.90)	7.33	14.66	8.94	21.82
Cal. 22 (0.70)	5.90	11.80	7.20	17.57
Cal. 24 (0.55)	4.56	9.12	5.56	13.58
Cal. 26 (0.40)	3.52	7.04	4.30	10.48
Cal. 28 (0.35)	3.13	6.26	-	-
Cal. 30 (0.30)	2.66	5.32	-	-