



UNIVERSIDAD NACIONAL



PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

TESIS:

**“SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICA PARA
ELECTRIFICACIÓN FUNDO SAN CARLOS EMPRESA
AGROINDUSTRIAL ARATO PERU S.A”**

**PRESENTADO PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA.**

AUTOR:

BR. PEREZ LLONTOP KEVIN WILLIAMS.

ASESOR DE ESPECIALIDAD:

M.SC. ING. SEGUNDO ABELARDO HORNA TORRES

LAMBAYEQUE – PERÚ

**UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA ELÉCTRICA.**

**“SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICA PARA ELECTRIFICACIÓN FUNDO
SAN CARLOS EMPRESA AGROINDUSTRIAL ARATO PERU S.A”**

Por

Br. PEREZ LLONTOP KEVIN WILLIAMS

M.Sc. HORNA TORRES SEGUNDO ABELARDO

AUTOR

ASESOR

*Presentada a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad
Nacional” Pedro Ruiz Gallo” para Obtener el Título de:*

Ingeniero Mecánico Eléctrico.

**PRESIDENTE.
DR. ANIBAL SALAZAR MENDOZA**

**SECRETARIO.
ING. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ**

**MIEMBRO.
ING. ROBINSON TAPIA ASENJO**

Lambayeque, Diciembre del 2018

DEDICATORIA.

Dedico este trabajo de investigación con amor a DIOS, por darme la dicha de haber llegado a este momento tan especial de mi vida y haberme brindado el don de fortaleza y sabiduría para lograr mi meta.

A mis Padres, quienes me han acompañado lo largo de este trayecto dando un apoyo incondicional y haberme enseñado el camino para ser un profesional de éxito.

A mis hermanas, que depositaron su confianza en mi capacidad y disciplina para alcanzar mis metas.

A mis queridas abuelas, por ser las forjadoras de mi carácter y pasión por hacer las cosas de una manera correcta.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera universitaria y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres Williams y Mery por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanas Katherine y Crisley por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar.

Le agradezco a mi asesor de tesis: **M.Sc. HORNA TORRES SEGUNDO** por la confianza, apoyo y dedicación de su tiempo y por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.

RESUMEN

El Proyecto Especial Chavimochic, es la concesionaria de todo el valle de Chao, San José y Viru, teniendo ya su sistema colapsado y no pudiendo abastecer de manera total la máxima demanda de los fundos; el fundo San Carlos se encuentra en un estado crítico a no poder tomar la energía necesaria para su producción, en la actualidad no puede operar con un factor de simultaneidad 1 ya que si lo hace supera su demanda contratada. Este informe de investigación describe una alternativa de solución para poder abastecer de energía eléctrica al Fundo San Carlos de manera constante, confiable y optima el total de su demanda, realizando el análisis y diseño de un Sistema de Generación Eólica. Teniendo como objetivos específicos calcular la máxima demanda, establecer cuadros específicos de la Central Eólica como la velocidad promedio del viento, dimensionar y seleccionar los aerogeneradores, dimensionar y seleccionar los transformadores de potencia, celda de llegada, celda salida y protección, dimensionar la línea de media tensión, realizar el presupuesto de obra y su respectivo análisis financiero.

Para realizar el análisis y diseño de la central eólica se calculó la máxima demanda obteniendo un resultado de 3MW, luego se procedió a la recolección de datos obtenidos por los anemómetros del fundo San Carlos dando como resultado que la velocidad promedio del viento es 11.829m/s; procediéndose con el dimensionamiento y seleccionándose 3 aerogeneradores V112 de 3.3MW con factor de plata del 40%.

Cada aerogenerador V112 de 3.3MW está provisto de un transformador trifásico tipo seco con refrigeración forzada por aire, ubicado en la parte trasera de la góndola sus características principales son: potencia primaria 3 600 kVA, potencia secundaria (650 V) 3500 kVA, potencia secundario (480 V) 100 kVA, frecuencia 60 Hz, tensión primaria 22.9 kV y tensión secundaria 650/480 V. Las celdas de llegada y salida están diseñadas para una tensión de 25kV.

Se realizó el presupuesto de obra el cual nos da una suma de **S/.129 463 280.88** la cual se recuperaría según análisis financiero en 40 años siendo esta la cantidad de años de vida útil de nuestros equipos, la inversión es rentable por motivos que se recuperaría lo invertido y se obtendría el monto de **S/. 17 303 067.21** a lo largo del periodo de 40 años teniendo una ganancia a partir del año 41 de **S/. 6 186 351.61** considerando que la elaboración de esta obra es para suministrar de energía el mismo fundo y vender el exceso de energía producida.

PALABRAS CLAVES:

Aerogeneradores, transformador de potencia, máxima demanda, velocidad media del viento, celda de llegada, celda de salida y protección, factor de planta, potencia nominal, factor de simultaneidad.

ABSTRACT

The special project Chavimochic, is the concessionaire of all the valley of Chao, San José and Viru, having already its system collapsed and not being able to supply in a total way the maximum demand of the estate; The estate San Carlos is in a critical state to not be able to take the energy necessary for its production, currently cannot operate with a simultaneity factor 1 because if it does exceed its contracted demand. This research report describes an alternative solution to be able to supply electric power to Fundo San Carlos in a constant, reliable and optimal total demand, conducting the analysis and design of a wind generation system. Having as specific objectives to calculate the maximum demand, to establish specific tables of the wind plant like the average speed of the wind, to dimension and to select the turbines, to dimension and to select the Transformers of Power, Arrival cell, exit cell and protection, to dimension the line of medium voltage, to carry out the work budget and its respective financial analysis.

To perform the analysis and design of the wind power plant was calculated the maximum demand obtaining a result of 3MW, according to the data obtained by the anemometers of the Fundo San Carlos the average velocity of the wind is 11.829 m/s; Proceeding with sizing and selecting 3 V112 wind turbines of 3.3 MW with silver factor of 40%.

Each V112 wind turbine of 3.3 MW is equipped with a three phase transformer dry type with air forced cooling, located at the rear of the gondola its main characteristics are: Primary Power 3 600 KVA, secondary power (650 V) 3500 KVA, Secondary power (480 v) 100 KVA, frequency 60 Hz, primary voltage 22.9 KV and secondary voltage 650/480v. The incoming and outgoing cells are designed for a 25kV voltage.

The budget of work was realized which gives us a sum of S/. 129 463,280.88 which would recover according to financial analysis in 40 years being this the number of years

of useful life of our equipment, the investment is profitable for reasons that would recover what invested and Would get the amount of S/. 17,303,067.21 over the period of 40 years having a profit from the year 41 S/. 6,186,351.61 considering that the elaboration of this work is to provide energy the same farm and sell the excess energy produced.

KEY WORDS:

wind turbines, power transformer, maximum demand, and average speed of winds, arrival cell, exit cell and protection, plant factor, nominal power, simultaneity factor.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.

1. CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

- 1.1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.
- 1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.
- 1.1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.
- 1.1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.
- 1.1.5. LIMITACIONES DE LA TESIS.
- 1.1.6. OBJETIVOS DE LA TESIS.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.

- 2.1.1. ANTECEDENTE DE NUESTRO ESTUDIO EN CORUÑA - ESPAÑA.
- 2.1.2. ANTECEDENTE DE NUESTRO ESTUDIO EN CIUDAD DE MÉXICO- MÉXICO.
- 2.1.3. ANTECEDENTE DE NUESTRO ESTUDIO EN LIMA – PERÚ.
- 2.1.4. ANTECEDENTE DE NUESTRO ESTUDIO EN LAMBAYEQUE – PERÚ.
- 2.1.5. ANTECEDENTE DE NUESTRO ESTUDIO EN PUNO – PERU.

2.2. DESARROLLO DE LA TEMÁTICA CORRESPONDIENTES AL TEMA INVESTIGADO.

- 2.2.1. RECURSO EÓLICO.
- 2.2.2. LA ENERGÍA EÓLICA.
- 2.2.3. EL VIENTO.
- 2.2.4. DIRECCIÓN DEL VIENTO.
- 2.2.5. POTENCIA DEL VIENTO.

2.2.6. VELOCIDAD DEL VIENTO PARA VARIAS ALTURAS.

2.2.7. ROSA DE VIENTO.

2.3. DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA TERMINOLOGÍA EMPLEADA.

2.3.1. SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN ELECTRIFICACIÓN.

2.3.2. CENTRAL EÓLICA.

2.3.3. PALA.

2.3.4. REGULADORES DE VOLTAJE.

2.3.5. ACUMULADORES O BANCO DE BATERÍAS.

2.3.6. ROSA DE VIENTO.

2.3.7. MEDIA TENSIÓN.

2.3.8. MÁXIMA DEMANDA.

2.3.9. MÉNSULAS, CRUCETAS Y MEDIAS LOZAS.

2.3.10. AISLADORES POLIMÉRICO TIPO ANCLAJE O SUSPENSIÓN

2.3.11. AISLADORES POLIMÉRICOS TIPO PIN.

2.3.12. GÓNDOLA.

2.3.13. TRANSFORMADOR DE POTENCIA SECOS.

2.3.14. CELDA DE SALIDA Y PROTECCIÓN EN M.T. 22.9 KV. PARA
RADIAL DE ARATO PERÚ.

3. CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO.

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.

3.3. HIPÓTESIS.

3.4. VARIABLES – OPERACIONALIZACIÓN.

3.5. MÉTODO Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.

3.6. DESCRIPCIÓN DE INSTRUMENTOS UTILIZADOS.

4. CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.

4.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA EÓLICA.

4.1.1. GENERACIÓN EÓLICA EN EL PERÚ.

4.1.2. MARCO NORMATIVO EN EL PERÚ.

4.2. EQUIPOS PARA GENERAR ELECTRICIDAD.

4.2.1. AEROGENERADORES.

4.2.2. COMPONENTES DE UN AEROGENERADOR.

4.2.2.1. ROTOR.

4.2.2.2. GENERADOR.

4.2.2.3. TORRE.

4.2.2.4. PALA.

4.2.2.5. EL BUJE.

4.2.2.6. MULTIPLICADOR O CAJA DE ENGRANAJES.

4.2.2.7. GÓNDOLA.

4.2.2.8. SISTEMA DE ORIENTACIÓN.

4.2.2.9. TRANSFORMADOR.

4.2.2.10. SISTEMAS DE CONTROL Y PROTECCIÓN.

4.3. LOCALIZACIÓN DEL PARQUE EÓLICO.

4.4. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.

4.4.1. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO GEOGRÁFICO.

4.4.2. ESTUDIO TÉCNICO DEL VIENTO.

4.4.3. REGISTRO DE DATOS OBTENIDOS.

4.4.4. PECULIARIDADES DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO.

4.4.5. COEFICIENTES DE RUGOSIDAD Y FRICCIÓN.

4.4.6. PERFIL DEL VIENTO.

4.4.7. OTROS DATOS.

4.5. POTENCIA DE AEROGENERADORES PARA CUBRIR LA DEMANDA INICIAL DEL FUNDO SAN CARLOS.

4.6. SELECCIÓN DEL TIPO DE AEROGENERADOR.

4.7. CARACTERÍSTICAS DE LOS AEROGENERADORES.

4.8. CÁLCULO DE LA POTENCIA INSTALADA.

4.8.1. POTENCIA NOMINAL DEL PARQUE.

4.8.2. POTENCIA MÁXIMA.

4.8.3. POTENCIA MEDIA DEL PARQUE.

4.8.4. ENERGÍA ANUAL DEL PARQUE.

4.8.5. RATIO DE PRODUCCIÓN.

4.8.6. CUADRO RESUMEN.

5. CAPÍTULO V: PRESUPUESTO DE OBRA.

6. CAPÍTULO VI: PLANOS

7. CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES.

8. CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

9. ANEXOS.

ANEXO A – DATOS RELEVANTES DE LA CENTRAL.

ANEXO B – FICHA TÉCNICA DEL AEROGENERADOR

ANEXO C - MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

ANEXO D – VELOCIDADES DEL VIENTO A 13 METROS DE ALTURA POR 6 MESES

ANEXO E – VELOCIDADES DEL VIENTO A 11 METROS DE ALTURA POR 6 MESES

ANEXO F – PLANO UBICACIÓN DE LOS AEROGENERADORES

ANEXO G – DIAGRAMA UNIFILAR.

ANEXO H – TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE 1500KVA.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01.- Sistema de tubo de viento y turbina eólica usado para demostración de la máxima energía extraída del viento.

Figura N° 02.- Perfil de velocidad del viento para $\alpha = 1/7$ tomando como base una altura de 10m y una velocidad de 10m/s.

Figura N° 03.- Fotografías Fundo San Carlos Grupo Arato

Figura N° 04.- Puntos de rosa del viento

Figura 05: Potencia instalada y acumulada en el año 2017 en MW

Figura 06: Potencia instalada y acumulada desde el año 2001 hasta el 2017 en MW

Figura 07: Potencia instalada y acumulada desde el año 2017 en MW

Figura N°08 - Aerogenerador Bipala.

Figura N°09 - Aerogenerador Tripala.

Figura N°10 - Partes de un multiplicador.

Figura N° 11.- Componentes internos de un aerogenerador.

Figura 12: componentes exteriores de un aerogenerador

Figura 13: Anemómetro Thies First Class Advanced II

Figura 14: Ubicación Geográfica del lugar del proyecto

Figura N° 15.- Velocidad media horaria del viento, en función del tiempo, periodo de noviembre del 2017 al mes de abril del 2018.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01- Medición de la fuerza del viento según la escala Beaufort.

Tabla N° 02.- Valores de la densidad del aire seco a una presión de una atmósfera y diferentes temperaturas.

Tabla N° 03.- Valores de la densidad del aire seco a diferentes alturas, mediante la ecuación (11).

Tabla N° 04.- Relación entre la velocidad instantánea del viento y su densidad de potencia eléctrica extraíble correspondiente.

Tabla N° 05.- Coeficientes de fricción α para diferentes tipos de terreno.

Tabla N°06.- Clase de rugosidad y coeficiente de rugosidad para diferente tipo de terreno.

Tabla N° 07.- Coeficiente de rugosidad para diferentes tipos de terreno.

Tabla N°08.- Clases y longitud de rugosidad dadas por Danish Wind Industry Association

Tabla N°09.- Operacionalización de variables

Tabla N°10.- Parques eólicos en operación en el Perú

Tabla N° 11 .- Normas Relacionadas con la Promoción de Energías Renovables

Tabla N° 12 Datos mensuales de viento a 13m de altura.

Tabla N° 13 Velocidad media horaria del viento, periodo Noviembre a Abril 2017 – 2018.

Tabla N°14.- Coeficientes de Fricción.

Tabla N°15.- Coeficientes de rugosidad en las horas 3, 4, 8, 21, 22 y 23

Tabla N°16.- Ley exponencial y logarítmica para alturas y velocidad del viento a las 20 horas.

Tabla N°17.- Comparativa de modelos de aerogeneradores

Tabla N°18.- Potencia media del aerogenerador V100.

Tabla N°19.- Potencia media del aerogenerador A1000.

Tabla N°20.- Potencia media del aerogenerador A1000S.

Tabla N°21.- Potencia media del aerogenerador V1000.

Tabla N°22.- Resumen de los cálculos de la potencia instalada.

INTRODUCCIÓN

En nuestro país son cada vez más las industrias que optan por algún recurso renovable, tanto para su sistema de alumbrado como para su misma producción. En la región de La Libertad, existen diferentes empresas agroindustriales que tienen un consumo de energía elevado, dichas empresas como Arato Perú S.A. buscan poder abastecer de energía sus fundos. En la actualidad Arato Perú S.A. es cliente regulado de la concesionaria del lugar que es el Proyecto Especial Chavimochic (PECH). Arato Perú S.A. en la necesidad de expandirse para poder abastecer al mercado internacional, crea nuevos fundos entre los cuales esta FUNDO SAN CARLOS.

En el capítulo I: se describió la realidad problemática la cual es que la concesionaria ya no puede abastecer de energía eléctrica por estar saturada, en este capítulo también se describe el problema a investigar, los objetivos, justificaciones e importancia de la investigación.

En el capítulo II: Se describió los antecedentes del estudio, como también la teoría necesaria para poder comprender que es una central eólica, cuáles son sus partes y como se puede aplicar en esta investigación.

En el capítulo III: Marco metodológico, comprende el tipo de investigación, población y muestra, hipótesis, Operacionalización de variables, técnica de investigación y descripción de instrumentos utilizados.

En el capítulo IV: se describió la propuesta de investigación que es el análisis y diseño de un Sistema de Generación Eólica para el cual, se tuvo que calcular la demanda máxima y establecer las características y especificaciones que requiere el diseño de una central de generación eólica, es por ello que se procedió a realizar visitas técnicas programadas, para la toma datos de sus Maquinas y Equipos instalados a lo largo de los diferentes departamentos que constituyen el fundo San Carlos. La demanda máxima del FUNDO

SAN CARLOS es 2,992.82 KW. La velocidad de viento promedio es de 11.829m/s; en concordancia con mediciones realizadas por personal técnico de ARATO PERU S.A.

Tendiendo ya los datos de velocidad del viento como la máxima demanda se procedió a seleccionar los aerogeneradores necesarios para poder atender la necesitada energética del fundo. Seleccionamos 3 aerogeneradores de 3.3MW, para poder suministrar Energía Eléctrica de Calidad, dado que la DEMANDA MAXIMA es 3MW y considerando que una central eólica registra un factor de planta de 40 %, para un Aerogenerador TIPO V112, Marca VESTAS, procedente de DINAMARCA.

Al seleccionar el aerogenerador se tiene en cuenta la tensión de salida el cual tiene una tensión de salida en baja tensión. Es por ello que surge la necesidad de instalar un transformador de potencia para elevar la tensión de baja 650V a media tensión 22.9kV. Seleccionándose un transformador de 3 600 kVA, potencia secundaria (650 V) 3500 kVA, potencia secundario (480 V) 100 kVA, frecuencia 60 Hz, tensión primaria 22.9 kV y tensión secundaria 650/480V. Teniendo de la obligación de proteger nuestros aerogeneradores de cualquier imprevisto de la red del Fundo San Carlos se seleccionaron celdas de llegada como también una celda de salida y protección para 25 kV. De esta manera se puede ingresar a la red de media tensión de manera directa.

En el capítulo V: se realizó el presupuesto de obra y el análisis financiero sienta este proyecto rentable.

En el capítulo VI: se diseñaron los planos, en ellos podemos apreciar la ubicación dada por los ingenieros del Fundo para la posible instalación de los aerogeneradores, la caseta, el recorrido de conexión de la red de media tensión, el diagrama unifilar y la instalación de los aerogeneradores.

Finalmente se realizó las conclusiones con respecto a los objetivos establecidos que orientaron la investigación. También presentamos las referencias bibliográficas.

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA:

La Energía Eléctrica es un recurso esencial para la vida y el desarrollo económico del país, es por ello que este servicio debe ser de calidad, óptimo y confiable para así poder garantizar que todos los ciudadanos y empresas de nuestro país cuenten con él, siendo la energía eléctrica el servicio más estable y el que más se consume en el Perú.

En los últimos 10 años el avance tecnológico y el consumismo del mundo actual, han ocasionado un alto consumo de energía, de manera muy especial en la industria peruana. Ocasionado no solo por el aumento de personas en el país, sino también por el aumento de empresas dedicadas al rubro de la exportación de productos agrícolas como (ARATO PERÚ S.A., VIRU S.A, CAMPOSOL S.A., BEGGIE PERU S.A., AGROLMOS S.A., INAGRO S.A., ETC), empresas que amplían sus fundos y establecen nuevos fundos agroindustriales en el departamento de la libertad. Tales empresas, no solo aumentan en número, sino también en el área de terreno a irrigar es por ello que amplían sus potencias para poder abastecer el mercado internacional y nacional de productos como la palta, espárrago, arándano, mandarina, etc. Estos nuevos fundos se han desarrollado a partir de los nuevos proyectos de electrificación e irrigación con el agua proveniente de los proyectos que son:

- Proyecto Especial de Irrigación e Hidroenergético de Olmos. (Lambayeque)
- Proyecto Especial Chavimochic. (La Libertad)

Este incremento en el consumo de energía eléctrica en la agroindustria es constante por motivo que estos fundos lo utilizan en sus sistemas de rebombeo de agua para sus campos de cultivo, en plantas procesadoras y empaquetadoras.

El fundo San Carlos de propiedad de la empresa ARATO PERU S.A, necesita energía eléctrica para poder irrigar sus campos de cultivo en diferentes zonas las cuales son:

- Canal de Succión San Carlos
- Rebombeo Modulo 6
- Primer Rebombeo Modulo 4 y 8A
- Segundo Rebombeo Modulo 4
- Filtrado 8
- Valle Azul – Arándano
- Canal de Succión Montegrande
- Filtrado Modulo 5
- Blueberries - Filtrado 2
- Reserva

Y en estas zonas se utilizan bombas centrifugas de 75 a 250 hp de potencia. Para cumplir dicha función de irrigar los campos.

Actualmente el “Fundo San Carlos”, se encuentra en proceso de expansión de sus terreno, aumento de su producción y su máxima demanda sobrepasa la energía eléctrica que puede brindar el Proyecto Especial Chavimochic (P.E.CH.), ya que se encuentra totalmente saturado para poder distribuir la carga se solicitada quedando como alternativas:

- Hidrandina como distribuidor de energía eléctrica convencional.
- Realizar un sistema de generación eólica.
- Realizar un sistema de generación Solar.
- Realizar un sistema de sistema hibrido solar – eólico.

Es por ello que se está investigación propone implementar un sistema generación eólica para la electrificación del fundo San Carlos ya que necesita para abastecer su máxima demanda de 3 MW, teniendo como objetivo establecer los parámetros para obtenerlo

mediante una generación eólica cumpliendo su abastecimiento para sus necesidades las cuales se basan en el rebombeo del agua proveniente del canal Chavimochic.

Existen actualmente problemas en la generación eólica las cuales se deben de tener en cuenta para poder disminuir como la estabilidad debido a la naturaleza y origen estocástico e imprescindible del viento, el factor de planta, que se encontrara cuando se ejecute este nuevo sistema en el fundo San Carlos.

Si se logra un modelado efectivo de la generación eólica, será de utilidad para representar éste tipo de generación para los fundos, ya que el crecimiento de la agricultura con estos proyectos de irrigación en el norte peruano, hace que se demande más energía convencional.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

En el norte del país los proyectos de irrigación que se han desarrollado en estos últimos años, han generado el aumento de fundos agroindustriales con actividades principales como la agricultura y exportación de sus productos entre los cuales tenemos la palta, arándano, esparrago, etc., el “Fundo San Carlos” propiedad de la empresa Arato Perú S.A. que se encuentra ubicada en el distrito de Chao, Provincia de Virú, región La Libertad, siendo su concesionaria el proyecto especial Chavimochic.

¿Es posible suministrar energía eléctrica de calidad en forma óptima y confiable al fundo San Carlos de propiedad de la empresa Arato Perú S.A., con un sistema de generación eólica para atender una máxima demanda de 3MW?

1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:

Este trabajo de investigación tuvo como localidad el distrito de Chao, Provincia de Viru, departamento de La Libertad, con estudios tomados por entidades nacionales como el SENAMHI, COES, etc. Teniendo también la participación de ingenieros dedicados al área de energía, cumpliendo el rol de orientadores, poniendo a disposición sus

investigaciones. Este proyecto conto con una duración de 9 meses, dicho proyecto empezó en FEBREO del 2018 y concluyendo en NOVIEMBRE del 2018.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA TESIS:

a) Justificación del estudio.

Actualmente el Fundo San Carlos propiedad de la empresa Arato Perú S.A no puede realizar su producción de manera constante ya que su energía contratada no es lo suficiente para poder abastecer su demanda, es por ello que con un sistema de generación eólica se le abastecerá de energía eléctrica para el rebombeo de agua proveniente del canal Chavimochic irrigando de manera constante sus campos de cultivo, es por ello que está investigación traerá una solución no solo para este fundo en específico si no para los que se encuentran en el valle de Chao siendo ejemplo a seguir.

- Justificación técnica.

Este proyecto será óptimo, servirá como un informe para el dimensionamiento, y análisis del diseño de un sistema de generación eólica, así será modelo para nuevos fundos agroindustriales.

- Justificación económica.

Un sistema de generación eólica, proporcionará mayor rentabilidad económica ya que se podrá dimensionar el proyecto para futuras ampliaciones en su máxima demanda. Y el costo para producir energía eléctrica y distribuirla es menos que la energía convencional, así como también se recuperaría la inversión en los años de funcionamiento.

- Justificación social.

Este proyecto de tesis servirá como elemento de difusión de las diferentes aplicaciones en sistemas de utilización de energía eléctrica para diferentes fundos agrícolas de nuestro país.

- Justificación ambiental.

Una de las principales razones por las cuales se escogió este proyecto fue la constante preocupación por el cambio climático y el daño que se está provocando por la contaminación debido al uso indiscriminado de combustibles fósiles, no renovables

b) Importancia del estudio.

La importancia de este estudio presenta dos vertientes desde el aspecto empresarial; el Fundo San Carlos podrá realizar su producción de energía eléctrica manera óptima ya que contará con un sistema de generación eólica confiable y de calidad, el cual podrá suministrar la máxima demanda energética y teniendo aun dimensionamiento para futuras ampliaciones.

En el aspecto ambiental nos ayuda a garantizar el cuidado del medio ambiente.

1.5 LIMITACIONES DE LA TESIS:

- Falta de equipos en propios (anemómetros) para ser utilizados según requerimiento.
- Anemómetros utilizados fueron de la misma empresa y estuvieron en la altura que ellos requieren para su producción.
- La obtención de datos fue complicada obtenerla por tener que solicitar autorización y cumplir los requerimientos del área de SISOS.
- La validación de la inversión solo conto con un recibo de energía por tener prohibida la difusión de documentos contables de la empresa.

OBJETIVOS DE LA TESIS:

a) **OBJETIVO GENERAL**

- ✓ Realizar el análisis y diseño de un Sistema de Generación eólica, para el Suministro de Energía Eléctrica de Calidad al Fundo San Carlos, de Propiedad de la Empresa Arato S.A., para atender una máxima demanda de 3MW; en forma Confiable y Optima.

b) OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Calcular la Demanda Máxima del Fundo San Carlos.
- ✓ Establecer los cuadros de especificaciones de una central de Generación Eólica.
- ✓ Dimensionamiento y Selección de los Aerogeneradores necesarios para atender la Demanda Máxima.
- ✓ Dimensionar y Seleccionar el Transformador de Potencia, Celda de Llegada, Celda de Salida y Sistema de Protección.
- ✓ Dimensionamiento y Selección de la línea de media tensión
- ✓ Realizar el Presupuesto de obra.
- ✓ Realizar el análisis financiero.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO:

2.1.1 ANTECEDENTE DE NUESTRO ESTUDIO EN CORUÑA - ESPAÑA.

BAYÓN GÓMEZ, ROBERTO CEBADERA MIRANDA, LAURA DEL CASTILLO GÓMEZ (2010), en su tesis de grado de maestro, “DISEÑO DE UN PARQUE EÓLICO DE 6MW EN MALPICA DE BERGANTIÑOS, LA CORUÑA”, concluye que: *Para poder conocer bien el comportamiento del viento, se debe tener por lo menos medidas de medio año.* Para conocer el potencial eólico de la zona y su dirección preferente. Una vez conocidas estas dos cosas se realiza una simulación en tres dimensiones de la zona para saber la distribución del viento y poder conocer la distribución más idónea de los aerogeneradores. Una vez conocida la colocación de los aerogeneradores en el terreno se puede empezar a estudiar la evacuación de la energía producida. Habiendo definido todos los elementos necesarios en el parque ya se puede definir las obras necesarias para su realización.

2.1.2 ANTECEDENTE DE NUESTRO ESTUDIO EN CIUDAD DE MÉXICO- MÉXICO

ING. CÉSAR HEBERTO OCHOA RUIZ (2011) en su tesis para obtener el grado de master en ciencias de la ingeniería eléctrica, “MODELADO DE LA GENERACIÓN EÓLICA PARA ESTUDIOS EN REDES ELÉCTRICAS”, concluye en su investigación que: *para poder trabajar con las turbinas eólicas deberían ser velocidad variable con GIDA, las cuales se han convertido en el tipo de turbinas más instaladas dominante durante los últimos años.* El interés en las turbinas eólicas de velocidad variable con GIDA se debe a sus atractivas características, dadas por la presencia del convertidor de potencia y de los controladores de velocidad, ángulo y voltaje, a diferencia de las turbinas de velocidad fija, que no cuentan con estos dispositivos, por lo tanto no son tan versátiles, aunque tienen otras ventajas como simplicidad y bajo costo. El contar con un convertidor

de potencia, y con los controladores, favorece tanto a la turbina misma, ya que se disminuye considerablemente el stress mecánico, gracias al controlador del ángulo de inclinación, el cual evita sobre velocidades en la turbina.

2.1.3 ANTECEDENTE DE NUESTRO ESTUDIO EN LIMA – PERÚ

ING. JUAN AVILIO CHERCCA RAMÍREZ (2014), en su tesis de grado de maestro en ciencia en gestión ambiental, “APROVECHAMIENTO DEL RECURSO EÓLICO Y SOLAR EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO₂ EN EL POBLADO RURAL LA GRAMITA DE CASMA” concluye que: *Los sistemas Híbridos son fiables, pues tienen una ventaja al aprovechar dos fuentes de alimentación energética (el sol y el viento), de esta forma se reduce el tamaño de la batería en comparación con un sistema de una sola tecnología.* A partir de la estimación de recursos se concluye que la zona de estudio presenta velocidades promedio anuales superiores a 5,26 m/s, la maquina eólica seleccionada fue un aerogenerador de 2 kW de e irradiación global anual superior a 5,75 kWh/m² uno de los valores más altos por la característica costera del lugar e interesante para llevar a cabo proyectos de electrificación aprovechando estos recursos naturales. En base a los cálculos de diseño se obtuvo una generación fotovoltaica anual de 14103,6 kWh y eólica anual de 7008 kWh y 24 baterías de 1300AH y 2V. Con la ejecución de este proyecto se logra una reducción de emisiones de CO₂ a la atmosfera de 9,833 ton CO₂ por año. Si masificamos este proyecto a zonas costeras de característica similar como son las caletas “La isilla”, “lobos”, “Tortuga” en Paita, “La Planchada”, “Los órganos”, “La Sorda”, “Matacaballos”, se lograría reducir más el impacto ambiental es decir reducir las emeisiones a la atmósfera un total de 78,64 ton CO₂ por año y consecuentemente mejorar calidad de vida de los moradores de la zona aislada de las redes eléctricas.

2.1.4 ANTECEDENTE DE NUESTRO ESTUDIO EN LAMBAYEQUE – PERÚ

MONSALVE TEQUÉN MIGUEL ANGEL (2014) , en su tesis de grado titulada, “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN PARQUE EÓLICO DE 30MW EN EL DISTRITO DE CHONGOYAPE, PROVINCIA DE CHICLAYO DEL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE” concluye que: Primero, *existe la necesidad de potenciar la utilización de energías renovables no convencionales, tanto a nivel global, como local, principalmente porque es necesario desarrollar un sistema energético sostenible en el tiempo y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles.* Segundo, la evolución en la tecnología eólica ha permitido que los parques estén en condiciones de competir con sistemas convencionales de generación. Tercero, debido al incremento de la demanda eléctrica en la región hace que nos veamos en la necesidad de buscar alternativas para satisfacer el aumento de la demanda ya que en el Perú se cuenta con la disponibilidad y calidad del recurso eólico para el desarrollo de proyectos de gran magnitud.

2.1.5 ANTECEDENTE DE NUESTRO ESTUDIO EN PUNO – PERU.

ROBLES SAÚL MAQUE TINTA (2017) en su tesis de grado titulada “ANÁLISIS, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORA DE CALIDAD DE SERVICIO A CAUSA DE FALLAS IMPREVISTAS EN EL SUMINISTRO ELÉCTRICO EN EL DISTRITO DE MACUSANI-CARABAYA” concluye que: El análisis y diagnóstico realizada se enfocó en la detección de las causas de las fallas imprevistas en el suministro eléctrico Macusani, lo cual tienen una importancia específica, encontrando principalmente las fallas producidas por condiciones climáticas y por las condiciones actuales del sistema eléctrico, con base a estos datos y resultados obtenidos se da la propuesta de una nueva línea primaria en 22.9 KV San Gabán-Macusani, con un sistema de protección adecuado, concluyendo que con esto se puede tener una mayor

confiabilidad en el servicio y operación de esta red eléctrica. : El diagnóstico a la situación actual del sistema eléctrico Macusani, nos permite encontrar el estado en que se encuentran las instalaciones: en la línea primaria postes deterioradas en un 95%, sus cables de guarda y puestas a tierra en mal estado en un 80%, DMS y flechado en red primaria y secundarias encontramos en un 85% en mal estado, las cargas no están balanceados los cuales generan las fallas imprevistas. Lo cual nos indica que se debe hacer un cambio total de las redes eléctricas de Macusani.

2.2 DESARROLLO DE LA TEMÁTICA CORRESPONDIENTES AL TEMA INVESTIGADO:

2.2.1 RECURSO EÓLICO:

Es un recurso renovable, ecológico y respetuoso con el medio ambiente, la cual se está convirtiendo en uno de los métodos más extendidos y productivos para la producción de energía eléctrica a nivel mundial. El viento es generado por corrientes de aire debido al desigual calentamiento de la superficie de la tierra. No uniformidad del flujo de radiación solar incidente hace que unas zonas se calienten más que otras, provocando movimientos de convección de la masa atmosférica. El aire caliente asciende, arrastrando aire más frío proveniente de una región vecina. Al subir se enfría, por lo que aumenta su densidad, descendiendo para volver a repetir el ciclo. Así, el viento es una masa de aire en movimiento, y como tal, contiene una cierta energía cinética. En estos años las instalaciones que aprovechan recursos eólicos son de gran escala.

2.2.2 LA ENERGÍA EÓLICA:

La energía eólica es la energía de obtenida de la fuerza del viento, es decir, mediante la utilización de la energía cinética generada por las corrientes de aire. Se obtiene mediante unas turbinas eólicas que convierten la energía cinética del viento en energía eléctrica por

medio de aspas o hélices que hacen girar un eje central conectado, a través de una serie engranajes (la transmisión) a un generador eléctrico.

Por lo que puede decirse que la energía eólica es una forma no-directa de energía solar. Las diferentes temperaturas y presiones en la atmósfera, provocadas por la absorción de la radiación solar, son las que ponen al viento en movimiento. Es una energía limpia y también la menos costosa de producir, lo que explica el fuerte entusiasmo por sus aplicaciones. De entre todas aplicaciones la más extendida, y la que cuenta con un mayor crecimiento es la de los parques eólicos para producción eléctrica.

Un parque eólico es la instalación integrada de un conjunto de aerogeneradores interconectados eléctricamente. Los aerogeneradores son los elementos claves de la instalación de los parques eólicos que básicamente, son una evolución de los tradicionales molinos de viento. Como tales son máquinas rotativas que suelen tener tres aspas, de unos 20-150 metros, unidas a un eje según modelo. El elemento de captación o rotor que está unido a este eje, capta la energía del viento. El movimiento de las aspas o paletas, accionadas por el viento, activa un generador eléctrico que convierte la energía mecánica de la rotación en energía eléctrica. Estos aerogeneradores suelen medir unos 40-100 metros de altura dependiendo de la orografía del lugar, pero pueden ser incluso más altos. Este es uno de los grandes problemas que afecta a las poblaciones desde el punto de vista estético. Los aerogeneradores pueden trabajar solos o en parques eólicos, sobre tierra formando las granjas eólicas, sobre la costa del mar o incluso pueden ser instalados sobre las aguas a cierta distancia de la costa en lo que se llama granja eólica marina, la cual está generando grandes conflictos en todas aquellas costas en las que se pretende construir parques eólicos. El gran beneficio medioambiental que proporciona el aprovechamiento del viento para la generación de energía eléctrica viene dado, en primer lugar, por los niveles de emisiones gaseosas evitados, en comparación con los producidos en centrales

térmicas. En definitiva, contribuye a la estabilidad climática del planeta. Un desarrollo importante de la energía eléctrica de origen eólico puede ser, por tanto, una de las medidas más eficaces para evitar el efecto invernadero ya que, a nivel mundial, se considera que el sector eléctrico es responsable del 29 % de las emisiones de CO₂ del planeta. Como energía limpia que es, contribuye a minimizar el calentamiento global. Centrándose en las ventajas sociales y económicas que nos incumben de una manera mucho más directa, son mayores que los beneficios que aportan las energías convencionales.

✓ **Ventajas.**

- Energía renovable e inagotable.
- Es una energía limpia, sin emisión de gases de efecto invernadero. En términos cuánticos 1,000 MW permiten ahorrar casi 500,000 toneladas de petróleo por año, 2 900,000 toneladas de dióxido de carbono, el principal gas del efecto invernadero, 75,000 toneladas de dióxido de azufre y 1,500 toneladas de óxidos de nitrógeno.
- El ruido ocasionado por los aerogeneradores resulta ser muy pequeño, puede mantenerse una conversación sin esfuerzo en la base del mismo. Se podría decir que el nivel de ruido es como el de un frigorífico a 50 metros.
- Los parques eólicos solo ocupan un 2% de la tierra. El 98% restante puede utilizarse para pastos, carreteras, industrias, etc.
- En los aerogeneradores se viene utilizando la más reciente tecnología y se sigue innovando actualmente por lo que hace flexible el diseño de aerogeneradores.
- Es considera como la energía renovable con mayor ritmo de crecimiento en la última década.

✓ **Desventajas.**

- La variación constante de los vientos hacen que la producción de energía sea muy variable, por lo que el aprovechamiento de la energía eólica debe considerarse como una energía complementaria mas no como la base energética de una comunidad o país.
- En la planificación energética se generan problemas e incertidumbres ya que la predicción de la producción de una instalación eólica resulta ser muy difícil.
- La instalación de estos parque eólicos producen una contaminación acústica, por eso se deben de llevar a cabo estudios muy rigurosos, por lo que siempre se considera instalarlos lo más distantes de la población para evitar molestias por el ruido.
- El impacto visual que produce la instalación de parques es otro problema que se debe tomar muy en cuenta, por lo que se debe elegir correctamente el lugar del emplazamiento.

2.2.3 EL VIENTO:

Es una gran corriente de aire que se crea en la atmosfera a gran escala por causas naturales, es por ello que al viento se le dice es el aire en movimiento. El viento va de las zonas de alta presión a las de baja presión intentando igualarlas. Hay dos parámetros importantes relacionados con el viento: la velocidad, que nos indica si es fuerte o flojo, y su dirección. La velocidad se mide con el anemómetro, y la dirección con la veleta. En meteorología se estudia el viento como aire en movimiento tanto horizontal como verticalmente. Los movimientos verticales del aire caracterizan los fenómenos atmosféricos locales, como la formación de nubes de tormenta. Se estima que la energía contenida en los vientos es aproximadamente el 2% del total de la energía solar que alcanza la tierra.

✓ **El origen del viento**

El viento se origina por la energía del sol ya que el sol es fuente de calor; el movimiento del aire se realiza principalmente por una propiedad intrínseca de los gases: **el aire**

caliente sube y el aire frío baja. Esto es el principio básico que gobierna la generación y movimiento del viento.

✓ **Velocidad del viento.**

Es el espacio que recorre las partículas de aire por unidad de tiempo. La velocidad del viento se mide preferentemente en náutica, en nudos y mediante la escala Beaufort. Pero también se puede medir en m/s, aunque es común usar Km/h. por lo cual resulta válido y es lo que comúnmente utilizan las estaciones meteorológicas. El viento tiene inconveniente, es disperso y aleatorio. El gradiente de velocidad es mayor siempre y cuando las diferencias de presiones sean mayores y su movimiento está influenciado con el giro de la tierra. La velocidad del viento tienen una magnitud vectorial, como en dirección y sentido, las velocidades medias suelen ser 3 – 7 m/s

Tabla N° 01- Medición de la fuerza del viento según la escala Beaufort.

ESCALA DE BEAUFORT	DENOMINACION	EFFECTOS OBSERVADOS	NUDOS	km/hora
0	Calma.	El humo se eleva en vertical.	menos de 1	0 a 1,9
1	Ventolina o brisa muy ligera.	El viento inclina el humo, no mueve banderas.	1 a 3	1,9 a 7,3
2	Flojito o brisa ligera.	Se nota el viento en la cara.	4 a 6	7,4 a 12
3	Flojo o pequeña brisa.	El viento agita las hojas y extiende las banderas.	7 a 10	13 a 19
4	Bonancible o brisa moderada	El viento levanta polvo y papeles.	11 a 16	20 a 30
5	Fresquito o buena brisa	El viento forma olas en los lagos.	17 a 21	31 a 40
6	Fresco	El viento agita las ramas de los árboles, silban los cables, brama el viento.	22 a 27	41 a 51

7	Frescachón	El viento estorba la marcha de un peatón.	28 a 33	52 a 62
8	Duro	El viento arranca ramas pequeñas.	34 a 40	63 a 75
9	Muy duro	El viento arranca chimeneas y tejas.	41 a 47	76 a 88
10	Temporal o tempestad	Grandes estragos.	48 a 55	89 a 103
11	Tempestad violenta	Devastaciones extensas.	56 a 63	104 a 118
12	Huracán	Huracán catastrófico.	64 y más	119 y más

✓ **Aprovechamiento del viento.**

La energía del viento se origina por la energía proveniente del sol convirtiéndose en energía térmica al ser absorbida por la superficie de la tierra, en cada momento de conversión hay pérdidas es por ello que solo un pequeño porcentaje de energía térmica se convierte en viento. A parte de estas pérdidas tenemos que tener en cuenta que no se puede extraer toda la energía del viento. La ley de Betz concluye que solo se puede extraer el 56% de la energía del viento.

✓ **Anemómetro o Anemógrafo.**

Es un instrumento meteorológico que sirve para medir la velocidad relativa del viento o la rapidez de los gases que incide sobre él.

2.2.4 DIRECCIÓN DEL VIENTO:

Se define como la dirección donde sopla el viento, ya que el punto del horizonte de donde viene, no el punto a donde va, es decir el viento que viene del norte está soplando hacia el sur. El instrumento de medida es la veleta que define la dirección de las partículas de aire en movimiento.

- ✓ **Veleta.** Una veleta es un dispositivo giratorio que consta de una placa que gira libremente, un señalador que indica la dirección del viento y una cruz horizontal que

indica los puntos cardinales. Se ubica generalmente en lugares elevados y su diseño puede ser muy variado.

2.2.5 POTENCIA DEL VIENTO:

Para calcular el potencial eólico de una región o aérea es necesario el uso de estudios preliminares de monitoreo de velocidad del viento, dirección del viento, el manejo adecuado de datos, como también el uso de modelos matemáticos.

Para obtener mejores resultados se necesita:

- ✓ Datos del viento (velocidad promedios, dirección, rosas del viento, densidad de potencia.)
- ✓ Datos del lugar (altura sobre nivel del mar y coordenadas geográficas)
- ✓ Velocidades promedios, rosas del viento, densidad de potencia.
- ✓ Evaluación matemática de la aérea, mediante extrapolación matemática de velocidades a alturas distintas.
- ✓ Calculo de producción de energía anual

La energía cinética de una masa “m” en movimiento y con una velocidad “v” se describe por:

$$E = (1/2)mv^2 \text{ (joules)}$$

(1)

La potencia se define como energía por unidad de tiempo, entonces

$$P = E/t = \left(\frac{1}{2}\right)m(v^2/t) \text{ (en watts)} \quad (2)$$

Usando Densidad --- $\rho = (m/V) \text{ (en kg/m}^3\text{)}$ (3)

Si Volumen ---- $V = AL \text{ (en m}^3\text{)}$ (4)

De donde $m = \rho AL \text{ (en kg)}$ (5)

Así (2) se convierte en:

$$P = (1/2)(\rho AL)(v^2)/t \text{ (en watts)} \quad (6)$$

Que para una distancia recorrida en un tiempo “t” con $v = L/t$ (6) se convierte en

$$P = (1/2)\rho A(v^3) \text{ (en watts)} \quad (7)$$

Del mismo modo podemos definir la densidad de potencia como:

$$(P/A) = \rho(1/2)(v^3) \quad (8)$$

Que en el SI queda expresada en W/m^2

Para el caso de un área circular A y de diámetro D, para el que incide un flujo de aire, la potencia será

$$P = (1/2)\rho\pi(D^2/4)(v^3) \text{ (en watts)} \quad (9)$$

Donde ρ es la densidad del aire en el punto a tratar. Para alturas diferentes al nivel del mar, esta densidad puede ser calculada mediante la ecuación:

$$\rho = \rho_0 e^{-\{0,297H_m\}} \text{ (en kg/m}^3\text{)} \quad (10)$$

Donde ρ_0 es la densidad del aire al nivel del mar y H_m la altura del lugar en metros.

Esta ecuación es válida hasta una altura de 6000 m.s.n.m.

Es usual encontrar la ecuación (10) en la forma

$$\rho = \rho_0 - (1,194 \times 10^{-4})H_m \text{ (en kg/m}^3\text{)} \quad (11)$$

En la existen tablas que proporcionan valores de la densidad del aire para diferentes temperaturas y altitudes (ver tablas 03 y 04).

Tabla N° 02.- Valores de la densidad del aire seco a una presión de una atmósfera y diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Densidad (Kg/m ³)
-30	1.451
-20	1.394
-10	1.341
0	1.292
5	1.269
10	1.246
15	1.225
20	1.204
25	1.184

30	1.164
35	1.145
40	1.127

- ❖ Temperatura promedio del fundo san Carlos 17° en conclusión interpolando se tomara la densidad 1.2166 Kg/m³.

Tabla N° 03.- Valores de la densidad del aire seco a diferentes alturas, mediante la ecuación (11).

Altitud H _m (m)	Densidad ρ (Kg/m ³)
0	1.225
200	1.201
400	1.177
600	1.153
800	1.129
1000	1.106
1200	1.082
1400	1.058

- ❖ Altitud de fundo san Carlos es 240 m.s.n.m. en conclusión interpolando se tomara la densidad 1.1962 Kg/m³.

De la ecuación (8) la densidad de potencia del viento puede ser calculada para diferentes velocidades.

Para una densidad relativa del aire ρ=1,0 en la tabla 05 se presenta la densidad de potencia instantánea para varios valores de velocidad instantánea, la cual debe **considerarse sólo como un dato** que ayude a proporcionar un estimado de potencia o densidad de potencia eléctrica, para una velocidad del viento que pueda presentarse en el lugar.

Tabla N° 04.- Relación entre la velocidad instantánea del viento y su densidad de potencia eléctrica extraíble correspondiente.

Velocidad del viento (m/s)	Densidad de potencia (W/m ²)
0	0
5	62.50
10	500
15	1687.5
20	4000
25	7812.5
30	13500

Máxima Eficiencia De Un Sistema De Conversión.

Esta premisa que es la potencia entregada por un sistema de conversión eólica puede ser expresada mediante la siguiente ecuación ya que una turbina no puede aprovechar toda la energía del viento

$$P = (1/2)\rho A(v^3)C_p\eta \quad (\text{en watts}) \quad (12)$$

Donde:

- a) C_p = eficiencia de captación del rotor
- b) η = eficiencia electromecánica del sistema.

Esta eficiencia de C_p es toda la energía del viento la cual puede ser captada por el rotor, por motivo que la velocidad de salida del mismo rotor no puede ser reducida a cero, ya que significaría que no estaría fluyendo energía a través de la turbina.

La figura N° 01, se muestra una turbina en la que se puede inferir que la velocidad del flujo de aire que atraviesa el sistema es el promedio de la velocidad de llegada V_i y la velocidad de salida V_o entonces la potencia que se extrae es igual a la tasa de cambio cinética. [$V_b = (V_i + V_o)/2$]

El flujo de masa de aire por segundo, que pasa a través del sistema es:

$$Q = \rho A(V_i + V_o)/2 \quad (\text{en kg/s}) \quad (13)$$

La potencia que entra debe ser igual a la que sale por el sistema hacia el lado de V_o , más la extraída por el rotor, entonces para el rotor se tiene:

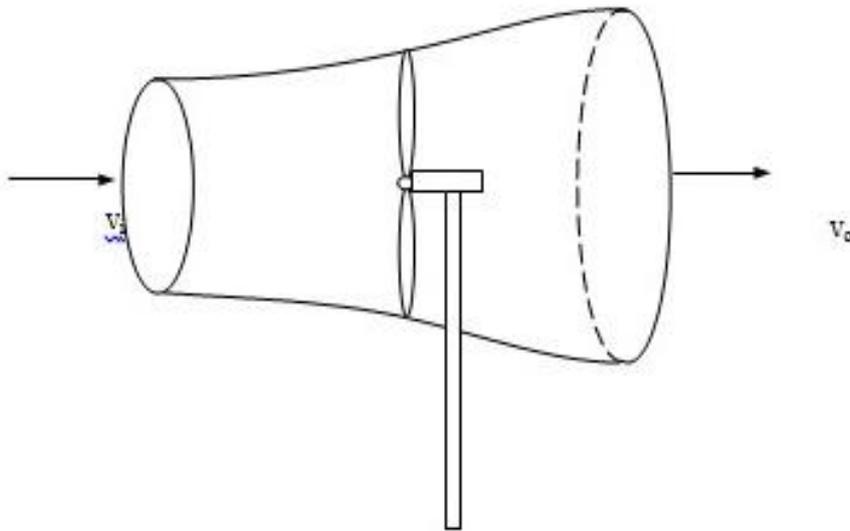
$$P_{rotor} = Q[(V_o^2 - V_i^2)/2] \quad (\text{en watts}) \quad (14)$$

Sustituyendo (13) en (14), tenemos:

$$P_{rotor} = \rho A(V_i + V_o)/2[(V_o^2 - V_i^2)/2] \quad (15)$$

$$P_{rotor} = \rho A[(V_i^3 + V_oV_i^2 - V_iV_o^2 - V_o^3)/4] \quad (\text{en watts})$$

Figura N° 01.- Sistema de tubo de viento y turbina eólica usado para demostración de la máxima energía extraída del viento.



O también:

$$P_{rotor} = \rho AV_i^3 [(1 + (V_o/V_i) - (V_o/V_i)^2 - (V_o/V_i)^3)/4] \quad (\text{en watts}) \quad (16)$$

Haciendo $x = V_o/V_i$

$$P_w = (\rho AV_i^3) \quad (\text{Pot. Total viento antes de llegar al rotor en watts}) \quad (17)$$

Entonces

$$P_{rotor} = [(P_w)/2](1 + x - x^2 - x^3) \quad (\text{en watts}) \quad (18)$$

De donde

$$(P_{rotor})/dx = 1 - x - 3x^2 = 0, \text{ obteniéndose } x = -1 \text{ y } x = 1/3$$

Llevando $x = 1/3$ a la formula (18) para obtener la máxima potencia por el rotor.

$$P_{rotor\ max.} = [(P_w)/2]\{1 + (1/3) - (1/3^2) - (1/3^3)\} \text{ (en watts)} \quad (19)$$

$$P_{rotor\ max.} = (16/27)P_w = 0,593P_w \text{ (en watts)} \quad (20)$$

Donde

$$C_p = 16/27 = 0,593 \text{ Es la máxima eficiencia teórica del rotor.}$$

A este factor se le conoce como Eficiencia de Betz o Ley de Betz.

En la práctica esta eficiencia tiene valores en el rango de 46 a 50%, por lo que la eficiencia global de un sistema puede ser del orden del 46%, ya que existen más pérdidas en otros subsistemas, tales como caja de engranes y generador.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VELOCIDAD DEL VIENTO.

La velocidad del viento es influenciada por la topografía local y los patrones climáticos los cuales son factores que influyen en la velocidad.

La disponibilidad del viento aumenta con la altitud ganada en la zona, de allí que las colinas y montañas sean zonas de alta velocidad del viento en la capa atmosférica.

A veces se producen una aceleración de los flujos del viento alrededor o sobre las colinas o el efecto sifón o embudo cuando el viento fluye en los barrancos o zonas estrechas.

2.2.6 VELOCIDAD DEL VIENTO PARA VARIAS ALTURAS.

Partiendo de mediciones preliminares a 11m y 13m de altura en un determinado lugar, la técnica comúnmente usada para estimar velocidades a mayores alturas es extrapolar los valores obtenidos y de esa manera construir el perfil de velocidad del viento, el cual es la representación de las variaciones de la velocidad del viento de acuerdo con la altura o la distancia al lugar elegido.

Hay diversas expresiones teóricas para la determinación del perfil de velocidad del viento.

La más usada de estas expresiones es la ley exponencial de Hellmann que relaciona las velocidades del viento a dos alturas diferentes y se expresa por:

$$\left(\frac{v}{v_0}\right) = \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha \quad (21)$$

Donde:

v : Es la velocidad a la altura H .

v_0 : Velocidad a la altura H_0 (referida a una altura de 10 metros).

α : Coeficiente de fricción o exponente de Hellmann

Este coeficiente está en función de la topografía del terreno sobre el cual se está midiendo la velocidad del viento, frecuentemente se usa 1/7 para terrenos abiertos.

Sin embargo hay que hacer notar que puede variar entre 1/7 durante el día hasta 1/2 durante la noche.

El coeficiente de fricción α se evalúa empíricamente y la ecuación (21) puede ser usada para ajustar datos entre 10m-150m si no hay obstáculos significativos en el terreno.

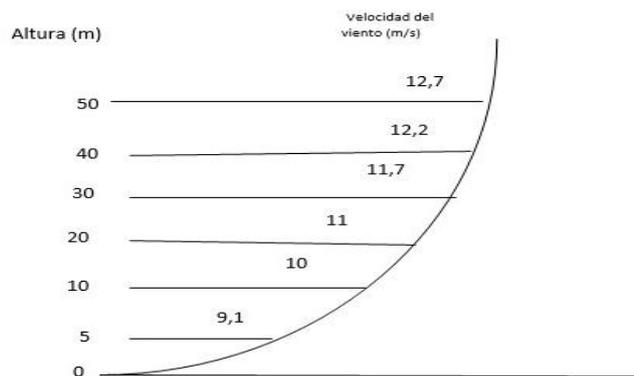
Hay que hacer notar que este coeficiente puede variar con la altura, hora del día, época del año, naturaleza del terreno, velocidad del viento, temperatura.

Tabla N° 05.- Coeficientes de fricción α para diferentes tipos de terreno.

Tipos de terreno	Coefficiente de fricción α
Lagos, océano, superficies suaves tierra dura	0,10
Césped	0,15
Terrenos de cultivo, setos o vallas y arbustos	0,20
Campo boscoso con muchos árboles	0,25
Pueblo pequeño con algunos árboles y arbustos	0,30
Área de la ciudad con edificios altos	0,40

Se puede apreciar en la figura siguiente la variación de la velocidad del viento con la altura para $\alpha = 1/7$ en la ecuación (21).

Figura N° 02.- Perfil de velocidad del viento para $\alpha = 1/7$ tomando como base una altura de 10m y una velocidad de 10m/s.



De igual manera, esta ley del perfil logarítmico del viento, dada por:

$$\left(\frac{v}{v_0}\right) = \left[\frac{\ln\left(\frac{H}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{H_0}{z_0}\right)}\right] \quad (22)$$

Donde, z_0 : Es el coeficiente de longitud de rugosidad y es dada en metros.

Otros factores como su variación durante el día, la noche, incluso el año; cuyos valores oscila entre 0,0002 y 1,6.

Tabla N°06.- Clase de rugosidad y coeficiente de rugosidad para diferente tipo de terreno.

Rugosidad (clase)	Descripción de terreno	Z _o (m)
0	Superficie del agua	0,0002
1	Áreas abiertas con muy poca protección contra el viento	0,03
2	Terreno agrícola con algo de protección contra el viento de más de 1 Km de distancia de separación	0,1
3	Distritos urbanos y terreno agrícola con mucha protección contra el viento	0,4
4	Ciudades grandes o bosques	1,6

Tabla N° 07.- Coeficiente de rugosidad para diferentes tipos de terreno.

Tipo de terreno	Z _o (mm)
Muy suave, hielo o lodo	0,01
Mar abierto en calma	0,20
Mar picado	0,50
Superficie de nieve	3,00
Césped	8,00
Pasto quebrado	10,00
Campo preparado para cultivo	30,00
Cultivo	50,00
Pocos árboles	100,00
Varios árboles, hileras de árboles, pocas construcciones	250,00
Bosques, tierras cubiertas con árboles	500,00
Suburbios	1500,00
Centros de ciudades con edificios altos	3000,00

z_o Para una tierra homogénea, puede obtenerse con mediciones en dos alturas diferentes.

Es así como se puede obtener un dato más exacto de las velocidades del viento a diferentes alturas y que con dicho z_o se puede calcular el valor, trabajando claro está con la formula

N° 22.

Así como la rosa de los vientos se usa para ver la cantidad de energía proveniente de diferentes direcciones. De la misma manera se puede construir la rosa de rugosidades para un lugar definido, donde la rugosidad se especifica para cada dirección de la rosa, que nos permite estimar como la velocidad del viento cambia en cada dirección, en función de la rugosidad del terreno.

La literatura es bastante prolífica en cuanto a los coeficientes de rugosidad utilizados, es por ello que se puede ver a mayor detalle con valores precisos ya definidos en las tablas N° 07 y N° 08. También tomando en cuenta la tabla N° 09, que contribuyen a tener una idea más precisa del posible aprovechamiento eólico.

Tabla N°08.- Clases y longitud de rugosidad dadas por Danish Wind Industry Association

Clase de rugosidad	Longitud de rugosidad (m)	Índice de energía (%)	Tipo de paisaje
0	0,0002	100	Superficie del agua
0,5	0,0024	73	Terreno completamente abierto con una superficie lisa, por ejm. pistas de hormigón en los aeropuertos, césped cortado, etc.
1	0,03	52	Área agrícola abierta sin cercados ni setos y con edificios muy dispersos. Sólo colinas suavemente redondeadas.
1,5	0,055	45	Terreno agrícola con algunas casas y setos resguardantes de 8 m de altura con una distancia aproximada de 1250 m.
2	0,1	39	Terreno agrícola con algunas casas y setos resguardantes de 8 m de altura con una distancia aproximada de 500 m.
2,5	0,2	31	Terreno agrícola con muchas casas, arbustos y plantas o setos resguardantes de 8 m de altura con una distancia aproximada de 250 m.
3	0,4	24	Pueblos, ciudades pequeñas, terreno agrícola, con muchos o altos setos resguardantes, bosques y terreno accidentado y muy desigual

3,5	0,8	18	Ciudades más grandes con edificios altos
4	1,6	13	Ciudades muy grandes con edificios altos y rascacielos

Para tener coeficientes de fricción y rugosidad confiables, es necesario contar con registros de mediciones de velocidad del viento a diferentes alturas de al menos un año.

A dos diferentes alturas y velocidades se determina α y de (21) se tiene:

$$\alpha = \left[\frac{(\ln v - \ln v_o)}{(\ln H - \ln H_o)} \right] \quad (23)$$

Igualando (21) y (22) se tiene: $Z_o = e^{\left\{ \frac{H_o \ln H - H^\alpha \ln H_o}{H_o^\alpha - H^\alpha} \right\}}$ (en mm.) (24)

Así ambos coeficientes de fricción y rugosidad coinciden en un punto para dos diferentes mediciones, pudiéndose representar el perfil del viento ya sea para un día, época o año, y a diferentes direcciones de viento.

2.2.7 ROSA DE VIENTO.

La velocidad del viento siempre está fluctuando. La magnitud de esas fluctuaciones depende tanto del tiempo como de las condiciones de la superficie y los obstáculos que están presente. La medición de la velocidad del viento se hace mediante un aparato llamado anemómetro, en tanto que la dirección se determina usando una veleta. A continuación se presenta una ilustración de estos aparatos:

Figura N° 03.- Fotografías Fundo San Carlos Grupo Arato



Fotografías tomadas en campo.

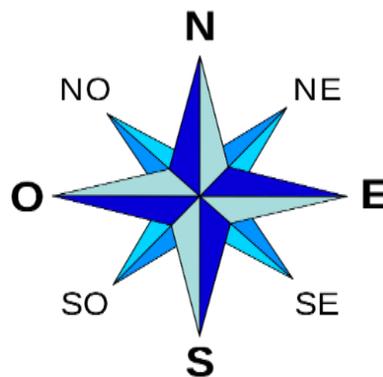
Por lo general, el viento es más fuerte durante el día que durante la noche. Esto se debe principalmente a que las diferencias de temperatura tienden a ser mayores durante el día. El viento es también más turbulento y tiende a cambiar más su dirección en el día que durante la noche. Sin embargo, los vientos más fuertes usualmente provienen de una dirección particular. Para representar la distribución de las velocidades y la frecuencia de la variación en la dirección del viento, se usa un gráfico llamado rosa de los vientos. Una rosa de los vientos o rosa náutica es un círculo que tiene marcados alrededor los rumbos o direcciones en que se divide la circunferencia del horizonte. Siendo esta distribución temporal de la dirección del viento y su distribución acimutal (que consiste en el ángulo formado por una dirección y el norte magnético) de velocidad del viento en un lugar dado.

Este gráfico consta de las siguientes partes:

- Un círculo dentro del cual se indica la frecuencia relativa de las calmas observadas.
- Un haz de líneas rectas que se originan en el centro del círculo y cuyos diversos grosores y colores representan las distintas velocidades del viento registradas. La longitud de estas líneas representan la frecuencia de vientos provenientes de una misma dirección.

- Un conjunto de círculos concéntricos con el primero. Estos círculos son una graduación auxiliar para la medición de las longitudes de las líneas rectas.
- El gráfico se complementa con una escala o leyenda que explica el simbolismo de los grosores de las líneas.

Figura N° 04.- Puntos de rosa del viento



2.3 DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA TERMINOLOGÍA EMPLEADA.

2.3.1 SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN ELECTRIFICACIÓN:

Es un conjunto de elementos que sirven para brindar de energía eléctrica a una zona o lugar establecido, este sistema de utilización está compuesto por conductores, aisladores, postes, ferretería, estudio de ingeniería, etc.

2.3.2 CENTRAL EÓLICA:

Es el lugar donde se realiza la transformación en electricidad a través de los aerogeneradores. Un aerogenerador eléctrico es, una máquina que convierte la energía cinética del viento (masa a una cierta velocidad) en energía eléctrica.

2.3.3 PALA:

Es una parte del aeromotor, en la cual se inicia el cambio de energía cinética por energía eléctrica por medio del desplazamiento de la misma.

2.3.4 REGULADORES DE VOLTAJE:

Es el dispositivo que se encarga de proteger a las baterías en caso de sobre voltaje el cual regula constantemente el estado de carga.

2.3.5 ACUMULADORES O BANCO DE BATERÍAS:

Son elementos indispensables en los sistemas eólicos, ya que se encargan de almacenar energía cuando esta no es consumida.

2.3.6 ROSA DE VIENTO:

La Rosa de Vientos es un modo de representación del recurso eólico. Con un simple vistazo a este modo de gráfico conoceremos la frecuencia, valores medios de velocidad de viento y la energía en cada dirección. La Rosa de Vientos, se trata de un diagrama polar que representa el tanto por ciento de viento con la dirección indicada y, en módulo, su escala de velocidad media.

2.3.7 MEDIA TENSIÓN:

Es el término que hace referencia a instalaciones eléctricas con tensión nominal de 1KV a 30 KV. Estas líneas de media tensión pueden ser subterráneas o aéreas y pueden alcanzar un máximo de 400 Amp – 700 Amp

2.3.8 MÁXIMA DEMANDA:

Se puede definir como la máxima coincidencia de cargas en un intervalo de tiempo. El medidor de energía almacena la lectura correspondiente al máximo valor registrado de demanda (kW) en intervalos de 15 minutos del periodo de facturación

2.3.9 MÉNSULAS, CRUCETAS Y MEDIAS LOZAS:

Son elementos estructurales que pertenecen al poste para la instalación de aisladores, ferretería, conductores, transformadores.

2.3.10 AISLADORES POLIMÉRICO TIPO ANCLAJE O SUSPENSIÓN:

Sirven para controlar la corriente de fuga, fabricados de goma de silicona. Se emplea como aisladores de suspensión y anclaje de fines de línea, subestaciones aéreas de distribución en media tensión, especialmente en zonas con alta incidencia de contaminación industrial, niebla salina y polvo.

2.3.11 AISLADORES POLIMÉRICOS TIPO PIN:

El aislamiento elastomérico está formado por Goma de Silicona de la más alta consistencia y el núcleo del aislador es una barra de Fiberglass Round Rod, Excelente control de la corriente de fuga, Se emplea como aisladores soporte y alineamiento de líneas de distribución en media tensión, en lugares con alta incidencia de contaminación industrial, niebla salina y polvo.

2.3.12 GÓNDOLA:

Se puede considerar como la sala de máquinas del aerogenerador. Puede girar en torno a la torre para poner a la turbina enfrentada al viento, dentro de ella se encuentra el eje principal, los sistemas de control, el generador, el multiplicador, los frenos y los mecanismos de giro de la misma

2.3.13 TRANSFORMADOR DE POTENCIA SECOS

Los transformadores, serán del tipo seco en resina encapsulados al vacío de 3 600 kVA, potencia secundaria (650 V) 3500 kVA, potencia secundario (480 V) 100 kVA, frecuencia 60 Hz, tensión primaria 22.9 kV y tensión secundaria 650/480V. Los transformadores serán instalados en la parte trasera de las góndolas. Los transformadores serán trifásicos, siendo el sistema de elevación de tensión de 650V a 22900V.

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE: TRANSFORMADOR DE 3600 KVA

- Tipo de Potencia : Trifásico
- **Potencia Nominal (KVA) : 3600**
- Tensión Nom. Primaria (KV) : 22.9
- Tensión Nom. Secundario (V) : 650/480
- Frecuencia (Hz) : 60
- Regulación de tensión (%) : $\pm 2 \times 2.5$
- Nivel de ruido (Db) : < 55
- Grupo Conexión : DYN5
- Altura Trabajo (msnm) : 1000

Pruebas de inspección de transformadores.

Las pruebas de rutina que se llevarán a cabo en el transformador completamente arenado, son las siguientes:

- Relación de transformación.
- Prueba de vacío. - Prueba de cortocircuito.
- Prueba de aislamiento. - Prueba de tensión aplicada.
- Prueba de tensión inducida.
- Prueba de espesor de recubrimientos. y totales.
- Prueba de calentamiento.
- Prueba de impulso a la onda completa según norma IEC.
- Prueba de impulso a la onda cortada según norma ANSI.
- Prueba de descargas parciales.

2.3.14 CELDA DE LLEGADA DEL AEROGENERADOR A LA BARRA DE ACOPLAMIENTO.

Celdas Modulares System 6 SAREL - Italia, aisladas en aire - Ejecución a prueba de arco Interno - ARC PROOF compuesta por: Un Compartimiento tipo "as" para Celda de Remonte para subida de cables

- **DETALLE DE COMPATIMIENTOS COMPARTIMIENTO DE LLEGADA**

01 Celda de Remonte 25 kV tipo interior System 6 SAREL Ejecución a prueba de Arco "ARC PROOF" 25 KV 630 Amp, 20 kA y Compuesta por:

Compartimiento de remonte 25 KV Equipada con:

- * 01 Bus bar de Cobre 25 KV - 630 Amp

- * 01 Juego de aisladores capacitivos 25 KV con indicadores luminosos reveladores de presencia de tensión

- * Compartimiento de baja tensión

- * Resistencia anti condensación y climatizador interno

- * Juego de aisladores capacitivos 25 KV uso interior con Indicadores luminosos presencia de tensión

- * Zócalo metálico h= 300 mm

2.3.15 CELDA DE SALIDA Y PROTECCIÓN EN M.T. 22.9 KV. PARA RADIAL DE ARATO PERÚ.

Celdas Modulares System 6 SAREL - Italia, aisladas en aire - Ejecución a prueba de arco Interno - ARC PROOF compuesta por: Un Compartimiento tipo "as" para Celda de

Remonte para subida de cables, un compartimiento tipo "ITI" para Celda de Maniobra, Medición y Protección.

- DETALLE DE COMPARTIMIENTOS COMPARTIMIENTO DE LLEGADA

01 Celda de Remonte 25 kV tipo interior System 6 SAREL Ejecución a prueba de Arco "ARC PROOF" 24 KV 630 Amp, 20 kA y Compuesta por:

Compartimiento de remonte 25 KV Equipada con:

- * 01 Bus bar de Cobre 25 KV - 630 Amp

- * 01 Juego de aisladores capacitivos 25 KV con indicadores luminosos reveladores de presencia de tensión

- * Compartimento de baja tensión

- * Resistencia anti condensación y climatizador interno

- * Juego de aisladores capacitivos 25 KV uso interior con Indicadores luminosos presencia de tensión

- * Zócalo metálico h= 300 mm

- CELDA GENERAL ITI + MEDICION

01 Celda de llegada "ITI" medición VT 25 KV 630 Amp 20KA Equipada con:

- * 01 Seccionador bajo carga cámara aislada en SF6 - 25 KV - 630 Amp Corriente Nominal admisible de corta duración : 20 KA x 1 Seg Poder de cierre en cortocircuito : 40 KA Niveles de aislamiento : 24/50/125 KV BIL Con mecanismo de accionamiento "KP" Patentado Carga automática del resorte de apertura al cerrar el seccionador Mecanismo de operación "KP" carga automática del resorte apertura Posiciones de

operación CERRADO - ABIERTO - ATERRADO Bobinas de apertura 24 VDC / Juego de contactos auxiliares.

* 01 Interruptor de potencia cámara de contactos en Vacío Modelo tipo WL/r 24KV - 630 Amp 20 KA SAREL - Tensión nominal 25KV - Corriente nominal 630 Amp - Capacidad de cortocircuito: 3seg 20KA - Poder de apertura en cortocircuito : 40 KA Accesorios Incluidos: Bobinas de apertura y cierre 24 VDC / Indicador mecánico compresión del resorte Indicador mecánico apertura - cierre del interruptor Contador de maniobras / Juego de 05 contactos auxiliares Llave de bloqueo / pulsadores de apertura - cierre Mando motorizado carga del acumulador Bloqueo mecánico para el botón de apertura (Lock Out)

* 01 Bus bar de Cobre con mangas aisladas 25 KV - 630 Amp y juego de aisladores en resina uso interior 2

* Switchs de puesta a tierra a ambos lados del Interruptor automático de potencia, enclavado con el Breaker principal

* Indicadores luminosos presencia de tensión

* Juego de aisladores capacitivos uso interior con Indicadores luminosos presencia de tensión.

* 03 Transformadores de corriente para protección y medición Clase 0.5 / 5P20 relación 75-150 / 5-5 Amp, 15VA encapsulados en resina 24/50/125 KVBIL

* 03 Transformadores de Potencial Clase medición 10-22,9/ $\sqrt{3}$:0.1/ $\sqrt{3}$ -0.1/3, 15-15VA, Cl. 0.5 Medición Encapsulados en resina Aislamiento 24/50/125 KV BIL

* 01 Relé de protección secundario con Microprocesador S20 S20 MERLIN GERIN - Schneider con protecciones ANSI 50 - 51 / 50N 50G - 51N 50G - / 50BF Puerto de comunicación Rs485 ModBus / DNP 3.0 Logs de eventos Funciones de alarma y disparo

- * 01 Medidor Multifunción Elster, A1800, tipo A1830 RALNQ. 3H ó 4H 1(10) A, 3x58/100-277/480 V. Cl. 0.2, Modem 3G/GPRS
- * Sensor corriente Toroidal para falla Homopolar diámetro SCHNEIDER
- * Resistencia de calefacción con termostato de control
- * Compartimiento auxiliar de Baja tensión
- * 01 Juego Bornes de interconexión señales de disparos remotos (protección, alarmas, estado)
- * 01 Juego de Borneras seccionables para transformadores de corriente
- * 01 Juego Interruptores termomagneticos para elementos de control B.T.
- * Juego de aisladores capacitivos 25 KV uso interior con Indicadores luminosos presencia de tensión FUENTE DE TENSION AUXILIAR Fuente de alimentación switching 110 - 240 VAC / 10 Amp con pack de baterías secas 12 Amp - Hora para operación autónoma

CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO.

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

El diseño de investigación según la manipulación de variables es, ex post facto. Ya que el estudio se basa en analizar eventos y estudios ya ocurridos, para ello se tomaran encuestas a profesionales que dominen la materia, para llegar a la mejor conclusión.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.

En este proyecto investigación, nuestro estudio fue la población, teniendo como muestra la misma población por lo que no se aplicó ninguna técnica de seleccionamiento muestral.

3.3 HIPÓTESIS.

Con un modelo de un sistema de generación eólica, podremos brindar de manera confiable y optima energía eléctrica al fundo San Carlos de la empresa Arato Perú S.A.

3.4 VARIABLES – OPERACIONALIZACIÓN.

Tabla N°09.- Operacionalización de variables

DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACION DE VARIALBES.				
TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN	TÉCNICA	INSTRUMENTOS	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	SISTEMA GENERACIÓN EÓLICA	Observación	Guía de observación	Potencia
			Mapas Conceptuales	Eficiencia
		Resumen	Fichajes	Balances
			Cuadros sinópticos	Costo Fijos
Encuesta	Cuestionarios	Costos Variables		
	test	Tecnología		
VARIABLE DEPENDIENTE	PARA LA ELECTRIFICACIÓN DEL FUNDO SAN CARLOS	Observación	Guía de observación	Consumo de combustible
			Mapas Conceptuales	Calidad de Combustión
		Fichaje	Fichajes	Poder calorífico
			Cuadros sinópticos	
Encuesta	Cuestionarios	test		
	test			
VARIABLE DE LOCALIZACIÓN	EMPRESA AGROINDUSTRIAL ARATO PERU S.A	Observación	Guía de observación	Ubicación
				Acceso
				Tamaño

3.5 MÉTODO Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.

Para el presente trabajo de investigación se utilizara una técnica de muestreo no probabilística del tipo discrecional; ya que el resultado del trabajo será de aporte al objeto de estudio.

3.6 DESCRIPCIÓN DE INSTRUMENTOS UTILIZADOS.

En este presente trabajo se utilizará técnicas e instrumentos los cuales mencionaremos.

Técnicas: Observación, resumen, fichaje, encuesta.

Instrumentos: Guía de observación, mapas conceptuales, fichajes, cuadros sinópticos, cuestionarios, test.

CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA EÓLICA:

“La energía eólica es la tecnología más competitiva en muchos mercados, si no en todos, y la aparición de híbridos (eólicos y solares) es una gestión de red más sofisticada y a su vez asequible. Hoy en día se comienza ver una prospectiva de como verá este sector de energías renovables en un mercado totalmente de combustibles fósiles”.

Global Wind Energy Council publico el 14 de febrero del 2018 sus estadísticas anuales sobre energía eólica. Dando como resultado que el mercado en el 2017 se mantuvo por encima de 50GW, las instalaciones Chinas que por años venían marcando una tendencia de aumento, el año 2017 redujeron su productividad, a solo 19,5 GW, pero el resto del mundo lo compenso, las instalaciones totales en el 2017 fueron 52,573 MW llevando al total global 539, 581MW.

Estas cifras muestran un mercado de energía eólica que va madurando, con respecto a otros tipos de fuentes de energía, los precios para la energía eólica tanto en tierra como en el mar siguen sorprendiendo. Los mercados eólicos en lugares tan diversos como Marruecos, India, México y Canadá oscilan entre US \$ 0,03 / kWh, con una reciente licitación mexicana con precios menores a US \$ 0,02. Mientras tanto, la energía eólica marina tuvo su primera licitación ‘libre de subsidios’ en Alemania este año, con ofertas por más de 1 GW de nueva capacidad.

En América Latina, Brasil acumuló más de 2 GW, totalizando un total en todo su territorio de 12,76 GW a pesar de las crisis políticas y económicas que aún no se han resuelto por completo. Uruguay completó su construcción y se acerca al objetivo de energía 100% renovable en el sector eléctrico.

Al respecto, la presidenta de Abeeólica, Elbia Gannoum, destacó que Brasil ha estado escalando posiciones en la clasificación mundial “de forma consistente”, ya que en 2015 ocupaba la décima posición y desde entonces ha subido una posición por año.

La previsión de la Abeeólica es que hasta 2020, considerando los contratos ya firmados y las licitaciones realizadas, Brasil llegue a los 18,63 GW de capacidad instalada de energía eólica.

Durante el 2017, se colocaron 52,573 GW de potencia de energía eólica en el mundo, alcanzando un total de 539,581 GW a nivel global.

Según el GWEC, China fue el país que más energía eólica instaló el año pasado, con 19,5 GW, y totalizando 188,23 GW de capacidad instalada, seguida de Estados Unidos (89 GW), Alemania (56,1 GW), India (32,8 GW), España (23,2 GW), Reino Unido (18,8 GW) y Francia (13,7 GW).

Figura 05: Potencia instalada y acumulada en el año 2017 en MW fuente: ([http://gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC PRstats2017 EN-003 FINAL](http://gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC_PRstats2017_EN-003_FINAL))

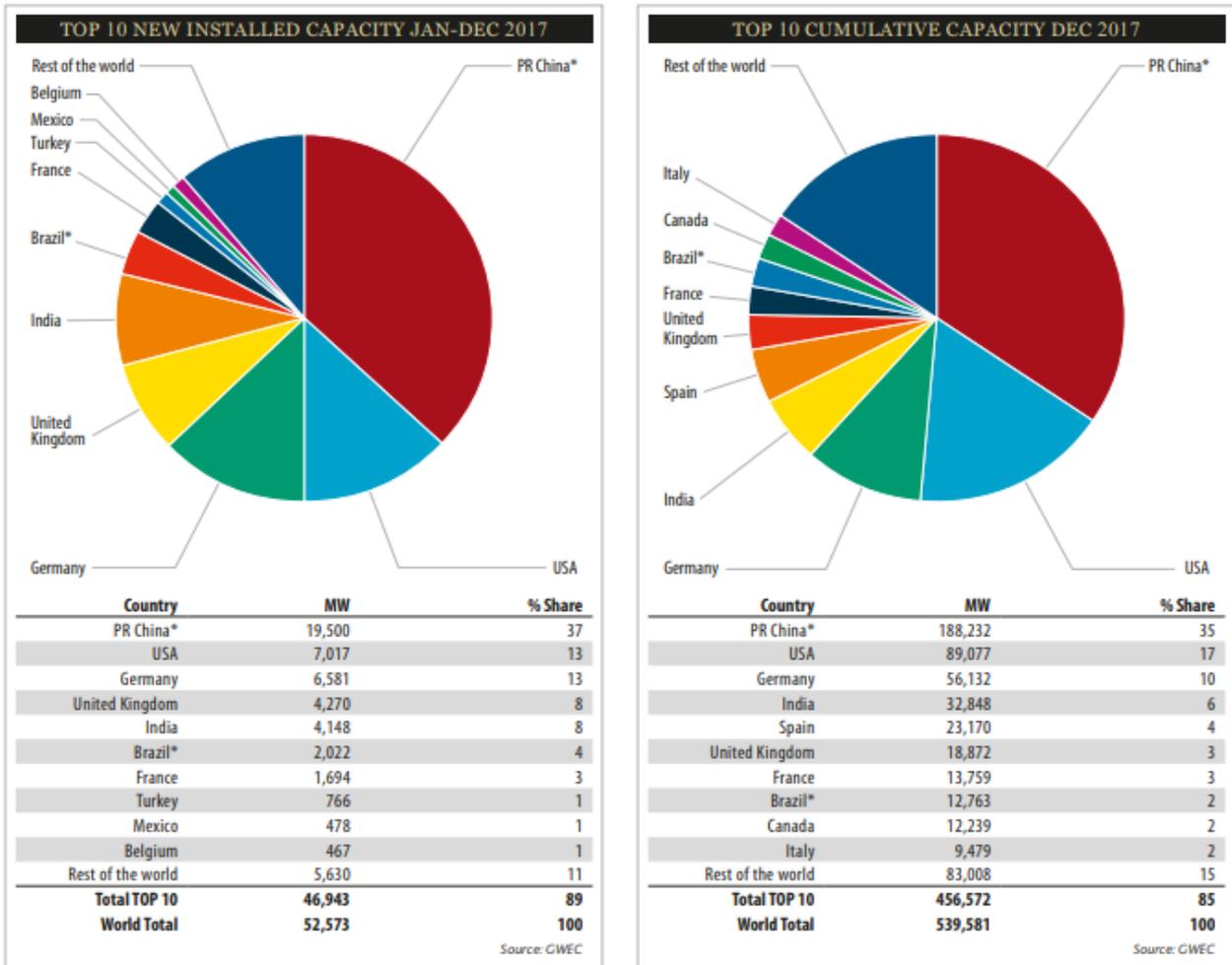
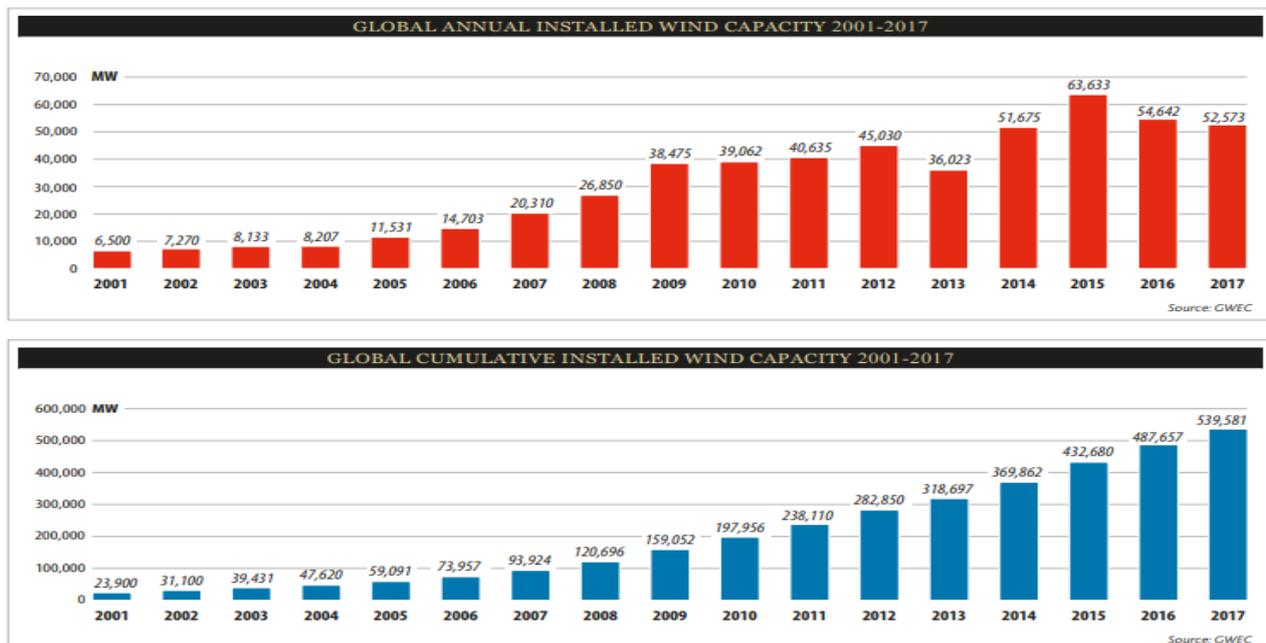


Figura 06: Potencia instalada y acumulada desde el año 2001 hasta el 2017 en MW fuente: ([http://gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC PRstats2017 EN-003 FINAL](http://gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC_PRstats2017_EN-003_FINAL))



La región del Pacífico permanece tranquila, y aunque se firmaron muchos contratos nuevos en 2017, Australia, el único mercado activo en la región, presentó un modesto 245 MW.

Con la creciente preocupación por la seguridad global de energía, la energía generada por el viento está tomando una posición importante en la nueva economía de la energía. Los aerogeneradores no necesitan combustibles por lo tanto no producen emisiones dañinas para el medio ambiente y frente a los recursos finitos de las energías fósiles, la energía generada por el viento ofrece un potencial ilimitado. Según la Asociación Latinoamericana de Energía Eólica (LAWEA) si el viento se aprovechara en su totalidad sería suficiente para abastecer cinco veces la necesidad energética mundial anual.

Asumiendo un consumo de 1000KWh al mes por vivienda el cual es el consumo promedio en los países desarrollados. A continuación se mostrara el reporte global de la capacidad de producción de energía eólica en todo el mundo.

Figura 07: Potencia instalada y acumulada desde el año 2017 en MW

GLOBAL INSTALLED WIND POWER CAPACITY (MW) – REGIONAL DISTRIBUTION				
		End of 2016	New 2017	Total 2017
AFRICA & MIDDLE EAST				
	South Africa	1,473	621	2,094
	Egypt	810	-	810
	Morocco	787	-	787
	Ethiopia	324	-	324
	Tunisia	245	-	245
	Jordan	119	-	119
	Other ¹	159	-	159
	Total	3,917	621	4,538
ASIA				
	PR China*	168,732	19,500	188,232
	India	28,700	4,148	32,848
	Japan	3,230	177	3,400
	South Korea	1,031	106	1,136
	Pakistan	592	200	792
	Taiwan	682	10	692
	Thailand*	430	218	648
	Philippines	427	-	427
	Vietnam	159	38	197
	Mongolia	50	50	100
	Other ²	70	-	70
	Total	204,104	24,447	228,542

EUROPE				
	Germany	50,019	6,581	56,132
	Spain	23,075	96	23,170
	UK	14,602	4,270	18,872
	France	12,065	1,694	13,759
	Italy	9,227	252	9,479
	Turkey	6,091	766	6,857
	Sweden	6,494	197	6,691
	Poland	6,355	41	6,397
	Denmark	5,230	342	5,476
	Portugal	5,316	–	5,316
	Netherlands	4,328	81	4,341
	Ireland	2,701	426	3,127
	Romania	4,328	5	3,029
	Belgium	2,378	467	2,843
	Austria	2,632	196	2,828
	Rest of Europe ³	8,354	1,432	9,778
	Total Europe	161,891	16,845	178,096
	of which EU-28 ⁴	154,279	15,680	169,319
LATIN AMERICA & CARIBBEAN				
	Brazil ⁵	10,741	2,022	12,763
	Chile	1,424	116	1,540
	Uruguay	1,210	295	1,505
	Costa Rica	319	59	378
	Panama	270	–	270
	Peru	243	–	243
	Argentina	204	24	228
	Honduras	180	45	225
	Dominican Republic	135	–	135
	Caribbean ⁵	200	18	218
	Others ⁶	386	–	386
	Total	15,312	2,578	17,891
NORTH AMERICA				
	USA	82,060	7,017	89,077
	Canada	11,898	341	12,239
	Mexico	3,527	478	4,005
	Total	97,485	7,836	105,321
PACIFIC REGION				
	Australia	4,312	245	4,557
	New Zealand	623	–	623
	Pacific Islands	13	–	13
	Total	4,948	244.9	5,193
	World total	487,657	52,573	539,581

Source: GWEC

¹ Algeria, Cape Verde, Iran, Israel, Kenya, Libya, Mozambique, Nigeria
² Azerbaijan, Bangladesh, Sri Lanka
³ Bulgaria, Cyprus, Czech Republic, Estonia, Finland, Faroe Islands, FYROM, Hungary, Iceland, Latvia, Liechtenstein, Lithuania, Luxembourg, Malta, Norway, Romania, Russia, Switzerland, Slovakia, Slovenia, Ukraine.
⁴ Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Croatia, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, UK
⁵ Caribbean: Aruba, Bonaire, Curacao, Cuba, Dominica, Guadalupe, Jamaica, Martinica, Granada, St. Kitts and Nevis
⁶ Bolivia, Colombia, Ecuador, Guatemala, Nicaragua, Venezuela

Note: Project decommissioning of approximately 648 MW and rounding affect the final sums
* Provisional Number

Fuente: ([http://gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC PRstats2017 EN-003 FINAL](http://gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC_PRstats2017_EN-003_FINAL))

4.1.1 GENERACIÓN EÓLICA EN EL PERÚ:

Antecedentes: En el Perú existen gran variedad de recursos energéticos, entre ellas se destaca por su gran abundancia para desarrollar grandes potencias la energía hidráulica, también existen grandes centrales térmicas, que interconectadas con las anteriores satisfacen la demanda del país.

A nivel mundial se tiene conocimiento que las reservas de hidrocarburos se están agotando, esto ha permitido el desarrollo de fuentes nuevas basadas en energía renovable, como energía solar, energía eólica, biomasa y mini – hidráulica.

El Perú y todos los países de Latinoamérica sé deben acondicionar a estas nuevas fuentes de energía y es de suma importancia poder desarrollar sistemas, fuentes nuevas y energía renovable de altas potencias. Y emplearlas para regiones muy alejadas y de difícil acceso a sistemas convencionales.

Reconocemos que el recurso eólico en nuestro país no es elevado como en otros países de Latinoamérica, no obstante, a lo largo de toda la costa existen zonas con potencial eólico elevado.

En abril 2014 se instaló en Marcona el primer parque eólico del Perú de grandes dimensiones (32 MW). En agosto y septiembre de ese mismo año se conectaron a la red los parques eólicos de Cupisnique (Pacasmayo, La Libertad) con 80 MW y Talara (Piura) con 30 MW respectivamente. A principios de 2016 se conectó el parque eólico Tres Hermanas (Ica) con 97 MW de potencia instalada. La capacidad nominal de todas las instalaciones eólicas conectadas a la red pública hoy en día es de 239 MW.

Tabla N°10.- Parques eólicos en operación en el Perú

PARQUE EÓLICO	POTENCIA INSTALADA	DEPARTAMENTO
P.E. Marcona	32 MW	Ica
P.E. Cupisnique	80 MW	La Libertad
P.E. Talara	30 MW	Piura
P.E. Tres Hermanas	97 MW	Ica

Fuente: MIMEN (Ministerio de Energía y Minas)

Ventajas de la energía eólica:

- Procede indirectamente del sol, que calienta el aire y ocasiona el viento.
- Se renueva de forma continua.
- Es limpia, no contamina.
- Existe en todo el mundo.
- Cada vez es más barata conforme aumenta la tecnología.
- Permite el desarrollo respetando el medio ambiente.
- Las instalaciones son fácilmente reversibles. No dejan huella.

4.1.2 MARCO NORMATIVO EN EL PERÚ.

- **Recursos Energéticos Renovables**

El Decreto Legislativo N° 1002, Ley de Promoción de la Inversión en Generación de Electricidad con el uso de Energías Renovables (2008), tiene por objeto promover el aprovechamiento de los *Recursos Energéticos Renovables (RER)* para mejorar la calidad de vida de la población y proteger el medio ambiente, mediante la promoción de la inversión en la producción de electricidad.

Normas.

El Perú se rige por numerosas normas, las cuales se detallarán a continuación en un cuadro resumen para una mejor apreciación de las mismas.

Tabla N° 11 .- Normas Relacionadas con la Promoción de Energías Renovables.

ITEM	NOMBRE DE LA NORMA	DETALLE	FECHA	
			EMISION	PUBLICACION
1	Decreto Legislativo N° 1002	De promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables	01/05/2008	02/05/2008
2	Decreto Supremo N° 012-2011-EM	Nuevo Reglamento de la Generación de Electricidad con Energías Renovables	22/03/2011	23/03/2011
3	Decreto Supremo N° 031-2012-EM	Modifican los artículos del Decreto Supremo N° 009-93-EM y del Decreto Supremo N° 012-2011-EM, relativos al marco regulatorio que regula el otorgamiento de las concesiones de generación hidráulica RER	21/08/2012	22/08/2012
4	Decreto Supremo N° 020-2013-EM	Aprueban Reglamento para la Promoción de la Inversión en Áreas no Conectadas a Red	22/06/2013	27/06/2013
5	Decreto de Urgencia 019-2008	Declaran de interés nacional la implementación y aplicación de la tecnología alternativa de calefacción “Sistema pasivo de recolección de energía solar de forma indirecta” denominada “Muro Trombe”	04/06/2008	05/06/2008
6	Decreto Supremo N° 056-2009-EM	Disponen adecuar competencia de los Gobiernos Regionales para el otorgamiento de concesiones definitivas de generación con recursos energéticos renovables	10/07/2009	11/07/2009
7	Ley N° 26848	Ley Orgánica de Recursos Geotérmicos	23/07/1997	29/07/1997
8	Decreto Supremo N° 019-2010-EM	Aprueban nuevo reglamento de la Ley N° 26848, Ley Orgánica de Recursos Geotérmicos.	07/04/2010	08/04/2010
9	Decreto Supremo N° 024-2013-EM	Modifican el Reglamento de la Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el uso de Energías Renovables y el Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas.	05/07/2013	06/07/2013

Fuente: OSINERGMIN.

4.2 EQUIPOS PARA GENERAR ELECTRICIDAD:

4.2.1 AEROGENERADORES:

Un aerogenerador es una máquina que puede realizar la transformación de la fuerza cinética del viento en electricidad ya que se encargan de tomar la energía del viento. El funcionamiento de esta máquina se basa en el movimiento de su hélice, para la cual aprovecha la energía eólica que proviene del aire y mientras más pesado este el aire, más

fuerza podrá entregar el generador. En la actualidad los aerogeneradores modernos de gran potencia alcanzan un rendimiento de 60%.

Estos tipos de aerogeneradores comienzan a funcionar con una velocidad de viento entre 3-4 m/s, gracias al desarrollo de hélices de fibra de carbono y a mejoras aerodinámicas, alcanzando su potencia nominal para velocidades entre 12 y 15 m/s, luego interrumpe su funcionamiento para velocidades del viento entre 20 y 25 m/s.

Se estima que aerogenerador tiene vida útil alrededor de 20 a 25 años, efectuando un mantenimiento preventivo cada 3500horas, es decir cada 6 meses. Lo que nos quiere decir es que su factor de disponibilidad es del 98%.

❖ **Características.**

- Los aerogeneradores pequeños incluyen turbinas de eje vertical con una potencia desde decenas de W hasta algunos kW.
- La adquisición de aerogeneradores ocupa el 70% de la inversión para una instalación eólica.
- La vida útil de las instalaciones eólicas se estiman en unos 30 años como máximo pero generalmente son desmantelados a los 20 años, debido al envejecimiento de sus componentes y la reducción en la producción energética.
- Los aerogeneradores deben de ubicarse a una distancia adecuada entre ellos para evitar interferencias aerodinámicas, y así sus dos consecuencias más graves: el aumento de las turbulencias y la pérdida de potencia.
- Principales opciones para el diseño:
 - ✓ El número de palas puede ser de entre 2 o 3 generalmente.
 - ✓ Posición del rotor: barlovento (parte por donde se va el viento) y sotavento (parte hacia dónde va el viento).

- ✓ Material de construcción, método de construcción y tipo de perfil de palas.
- ✓ Diseño del buje: rígido, basculante o abisagrado.
- ✓ Rotor de velocidad fija o variable.
- ✓ Orientación libre o mediante control activo.
- ✓ Generador síncrono o asíncrono.
- ✓ Con multiplicador o conectado directamente al eje del generador.

❖ **Principio de funcionamiento:**

La captación de la energía eólica se produce mediante la acción del viento sobre las palas, el principio aerodinámico por el cual las palas giran, es similar al que hace que los aviones vuelen.

Si descomponemos esta fuerza en dos direcciones obtendremos:

Según como estén montadas las palas con respecto al viento y al eje de rotación, la fuerza que producirá el par motor será predominantemente de arrastre o de sustentación.

Para que un aerogenerador se ponga en marcha necesita de un valor mínimo del viento para vencer los rozamientos y comenzar a producir trabajo útil, a continuación los valores específicos de velocidad del viento:

- **Velocidad de arranque.**- el rotor empieza a girar y el alternador genera una tensión, que aumenta con la velocidad del viento.
- **Velocidad de acoplamiento (2-4 m/s).**- cuando la tensión es lo suficientemente elevada para la aplicación específica, entonces se empieza a producir energía y se activa todo el circuito, el cual constituirá la carga del aerogenerador.
- **Velocidad nominal (10-14 m/s).**- es la velocidad a la cual se genera la potencia nominal.

- **Velocidad de desconexión (20-25 m/s).**- es la velocidad del viento por encima de la cual el rotor debe detenerse para evitar daños en la máquina, dicho sistema de control interviene mediante dispositivos adecuados, activos o pasivos.

❖ **Aerogeneradores de Eje Horizontal.**

Son aquellos en los que el eje de rotación del equipo se encuentra paralelo al suelo. Ésta es la tecnología que se ha impuesto, por su eficiencia y confiabilidad y la capacidad de adaptarse a diferentes potencias. Ocupando el 99% del mercado eólico.

❖ **VENTAJAS.**

- ✓ Se aprovecha a mayor escala la velocidad del viento ya que son torres muy altas, teniendo en cuenta que en algunos lugares la velocidad del viento se incrementa en un 20% cada 10 metros de altura.
- ✓ Poseen extremos de pala variable, lo que da a las hojas el ángulo de ataque óptimo, proporcionando así un gran control recogiendo la máxima cantidad de energía eólica de cada día y estación.

❖ **DESVENTAJAS.**

- ✓ Tienen problemas para funcionar cerca del suelo, debido a las turbulencias.
- ✓ El transporte de las mismas puede tener un equivalente del 20% del costo de equipamiento debido a que las torres altas y las palas largas son difíciles de transportar.
- ✓ Se necesitan grúas poderosas y operadores hábiles para su instalación.
- ✓ Pueden afectar los radares de los aeropuertos.
- ✓ Presentan impacto visual en el entorno, afectando así el paisajismo.
- ✓ Exigen un control cuidadoso, son propensas a la fatiga del material y los daños estructurales.

❖ **Los Aerogenerador se dividen según en :**

En número de palas:

- ***Bipala:*** Posee menor coste del rotor, más ruidoso, instalación más simple, mayor complejidad de diseño, debido a que necesita un buje basculante.

Figura N°08 - Aerogenerador Bipala.



- ***Tripala:*** Mayor compensación de las fuerzas aerodinámicas, mayor estabilidad mecánica, par motor más uniforme, menor impacto visual.

Figura N°09 - Aerogenerador Tripala.



Según su tamaño:

- **Microaerogeneradores:** Potencia inferior a 1 kW, presentan un radio del rotor de 1 m, se aplica generalmente a sistemas de comunicación, refugios de montaña, embarcaciones.

- **Miniaerogeneradores:** Potencia comprendida entre 1 kW y 10 kW. Presentan un radio de rotor de entre 1 y 3 m. sus aplicaciones representativas son: granjas, viviendas aisladas, bombeo, etc.

En potencia entregada:

- **Aerogeneradores de poca potencia:** Potencia comprendida entre 10 y 100 kW. Presentan un radio de rotor comprendido entre 3 y 9m. Sus aplicaciones representativas son: pequeñas empresas, drenaje, tratamiento de aguas, comunidades de vecinos, etc.
- **Aerogeneradores de media potencia:** Potencia comprendida entre 100 y 1,000 kW. Radio de rotor comprendido entre 9 y 27 m. Sus aplicaciones representativas son parques eólicos en tierra y en el mar.
- **Aerogeneradores de alta potencia:** Potencia comprendida entre 1,000 y 10,000 kW. Presentan diámetros de rotor comprendido entre 27 y 100 m, aunque actualmente dichos diámetros se vienen incrementando. Sus aplicaciones representativas con parques eólicos tanto en tierra como aprovechamiento eólico en el mar.

4.2.2 COMPONENTES DE UN AEROGENERADOR:



Excepcionalmente, algunos aerogeneradores incorporan un controlador electrónico que tiene un ordenador que continuamente monitoriza las condiciones del aerogenerador y que controla el mecanismo de orientación y la posición de las palas así como dirige los frenos. Éste es el caso de aerogeneradores de grandes potencias, como los que se ven en

los parques eólicos. El bastidor o góndola es la estructura en la cual se montan los distintos componentes del aerogenerador. En la góndola se montan el buje, el multiplicador de velocidad, los ejes y el generador. Finalmente la torre es el componente que sustenta todo el conjunto del aerogenerador y le une al suelo, dichos componentes se detallarán:

4.2.2.1 ROTOR: que convierte la fuerza del viento en energía rotatoria en el eje.

4.2.2.2 GENERADOR: También denominado alternador, es una maquina eléctrica encargada de transformar la energía mecánica de rotación en energía eléctrica, existen dos tipos de generadores:

- ❖ **Generador Asíncrono**, son motores de inducción que se utilizan en forma inversa haciéndolos girar a una velocidad mayor que su velocidad de sincronismo.

Actualmente, cerca del 95% de los aerogeneradores comerciales son sistemas de velocidad constante con generadores eléctricos asíncronos.

Existen dos tipos de generadores asíncronos que se han utilizado para la integración de aerogeneradores:

- ✓ **Tipo de jaula ardilla:** Son robustos y son los más utilizados debido a que su coste es bajo no solo de implementación sino también en su mantenimiento. Se pueden conectar directamente a la línea eléctrica a la que entregaran energía, claro está a través de protecciones y medios de desconexión adecuados.
- ✓ **Tipo rotor devanado**, es utilizado con muy poca frecuencia en la integración de aerogeneradores.
- ❖ **Generador Síncrono**, no son muy apropiados para integrar aerogeneradores de velocidad constante ya que cuando se conectan directamente a la línea

eléctrica resultan ser un sistema demasiado rígido en cuanto a su relación par-velocidad.

4.2.2.3 TORRE: Actualmente se construyen torres tubulares de forma cónica con el diámetro en la punta menor que la de la base, por general son de acero laminado y en pocos casos de cemento. En la torre se ubica la góndola. Las torres se fijan al suelo mediante cimentaciones formadas por pedestales de hormigón situados a cierta profundidad. Para los aerogeneradores de gran potencia suelen utilizarse grandes torres cuya longitud total e altura va desde los 80 a 140 metros. Y para los equipos de baja potencia de utilizan estos tipos de torre:

4.2.2.4 PALA: Es son aquellos elementos donde se realiza impacto de la corriente del viento, generando por su perfil aerodinámico un movimiento rotativo que por medio de un eje es transmitido al generador. Siempre se diseñan con materiales ligeros, como son los plásticos reforzados con fibra. Fibra de vidrio o aluminio para aerogeneradores de tamaño medio y pequeño, mientras que para las palas más grandes se utiliza fibra de carbono. Se diseñan con un perfil que maximice su eficiencia. El principio de funcionamiento de la pala se basa en la diferencia de velocidad (Teorema de Bernoulli) debido a esta diferencia de velocidad surge una diferencia de presión entre las dos caras de la pala. Existen diferentes tipos: Monopala, bipala, tripala, multipala.

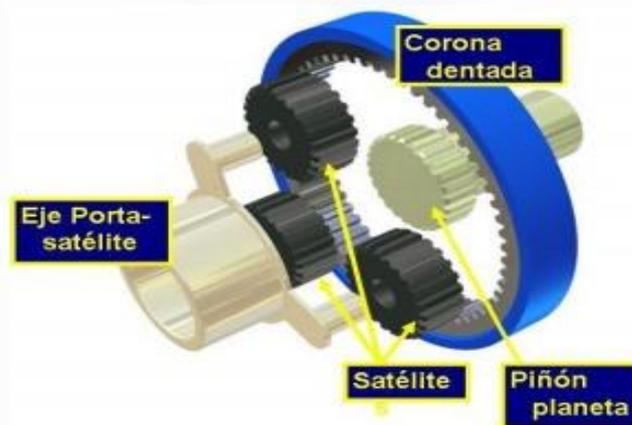
4.2.2.5 EL BUJE: Conecta a las palas al eje central, transmitiendo así la potencia extraída del viento, generalmente son fabricadas de acero o de fundición y se protege mediante una cubierta. Se presentan tres tipos de buje:

- ❖ **Rígido:** Es el tipo de buje que con mayor frecuencia se utiliza en los rotores de tres o más palas, mantiene los elementos principales en una posición fija. Se acopla rígidamente con el eje principal del aerogenerador.
- ❖ **Basculante:** Se utiliza en todos los aerogeneradores de dos palas, diseñado para reducir las cargas aerodinámicas desequilibradas transmitidas al eje, permitiendo así al rotor oscilar algunos grados en dirección perpendicular al eje principal.
- ❖ **Abisagrado:** Es un híbrido entre los dos modelos anteriores, siendo un buje rígido con bisagras para las palas que se usa en los aerogeneradores a sotavento para reducir las cargas excesivas con vientos fuertes.

4.2.2.6 MULTIPLICADOR O CAJA DE ENGRANAJES: Aumenta la velocidad de rotación del rotor, está constituido por una o varias parejas de engranajes de tipo epicicloidal o de ejes paralelos. Actualmente se utilizan multiplicadoras de tipo planetario porque aunque son costosas son más compactas, pesan menos, emiten menos ruido y tienen una eficiencia mayor. Las multiplicadoras o cajas de engranajes utilizadas son:

- ❖ Cajas de engranes del tipo ejes paralelos.
- ❖ Cajas del tipo planetario.

Figura N°10 - Partes de un multiplicador.



- 4.2.2.7 GÓNDOLA:** Es la parte móvil de aerogenerador ya que gira en torno a la torre para poner a la turbina enfrente al viento, dentro de ella se encuentra el eje principal, los sistemas de control, el generador, el multiplicador, los frenos y los mecanismos de giro de la misma.
- 4.2.2.8 SISTEMA DE ORIENTACIÓN:** Para los aerogeneradores de eje horizontal con rotor a sotavento no son necesarios los sistemas de orientación, ya que la turbina se orienta por sí sola, siguiendo la dirección del viento como una veleta. Mientras que los aerogeneradores a barlovento tiene o una aleta posterior de orientación o un control activo de orientación, por lo que al torre de soporte debe ser dimensionada para resistir las cargas de torsión resultantes del uso de los sistemas de orientación.
- 4.2.2.9 TRANSFORMADOR:** A la salida del generador, la potencia eléctrica es generalmente de baja tensión y debe convertirse a media tensión a través de un transformador para así reducir las pérdidas de transmisión mediante la conexión a la red de distribución de media tensión. Generalmente se logra instalar en la góndola o bien en la base de la torre. Los transformadores, serán del tipo seco en resina encapsulados al vacío de 3 600 kVA, potencia secundaria (650 V) 3500 kVA, potencia secundario (480 V) 100 kVA, frecuencia 60 Hz, tensión primaria 22.9 kV y tensión secundaria 650/480 V.
- 4.2.2.10 SISTEMAS DE CONTROL Y PROTECCIÓN.**
- Son la parte fundamental del aerogenerador, ya que proporcionan la lógica de control para regular los procedimientos de arranque y parada de la turbina y para garantizar su funcionamiento dentro de parámetros determinados ya preestablecidos, protegiendo al rotor contra velocidades excesivas y las diferentes partes del circuito contra sobretensiones.

Sistema de freno.

Es un elemento fundamental en el equipo ya que brinda la seguridad cuando la velocidad del viento es mayor a la intensidad soportada por los materiales que componen el aerogenerador. Nota: Los ejes son los elementos de transmisión que acoplan al multiplicador con las palas (eje de baja velocidad) y el multiplicador con el generador (eje de alta velocidad). El eje de alta velocidad está equipado con un freno de disco mecánico de emergencia. El cual protege a la máquina de vientos demasiados fuertes es por ello que el freno mecánico se utiliza en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante las labores de mantenimiento de la turbina. Además, un aerogenerador posee un anemómetro y una veleta, que mide la velocidad y la dirección del viento. Estos equipos proporcionan las señales a los sistemas de control, para accionar a los equipos de orientación del aerogenerador, el cual lo ubicara en posición más óptima contra del viento.

OTROS EQUIPOS:

- Cables: transmiten la electricidad desde el aerogenerador.
- Baterías: almacenan la electricidad producida por el aerogenerador para poder usarla cuando se necesite, independientemente exista o no viento. El conjunto de baterías está en relación a la potencia a instalar.
- Regulador de carga: Protege las baterías de sobrecarga de energía, regulando el paso de energía para las baterías.
- Inversor: transforma la electricidad continua en trifásica alterna.
- Convertidor: interconecta la producción del aerogenerador con la red eléctrica manteniendo el voltaje de conexión estable y variando los amperios de salida.

- Tablero de transferencia: posee los siguientes componentes para regular el funcionamiento del aerogenerador:
 - Interruptor termomagnético trifásico: encargado de crear un cortocircuito en el alternador del aerogenerador actuando de modo de freno.
 - Piloto: indica si el aerogenerador está produciendo energía.
 - Detector de fallo de red: verifica si el circuito está cerrado.
 - Sensor de tensión del aerogenerador: cierra el circuito al producir corriente el aerogenerador.
 - Amperímetro: produce la lectura de la corriente producida.
 - Transformador: convierte la electricidad producida en alterna.
 - Rectificador: convierte en electricidad continua la electricidad alterna.
 - Inversor: organiza el paso de corriente y transforma en trifásica alterna la electricidad continua rectificada.
 - Contador: registra la potencia producida por el sistema.
- Línea eléctrica: es la conexión desde el parque eólico hasta el lugar de distribución de la corriente eléctrica.

Figura N° 11.- Componentes internos de un aerogenerador

fuelle:<http://www.chubut.gov.ar/portal/wp-organismos/energiasrenovables/wp-content/uploads/sites/43/2011/11/15.-Vestas.pdf>

AEROGENERADOR DE 1.8MW

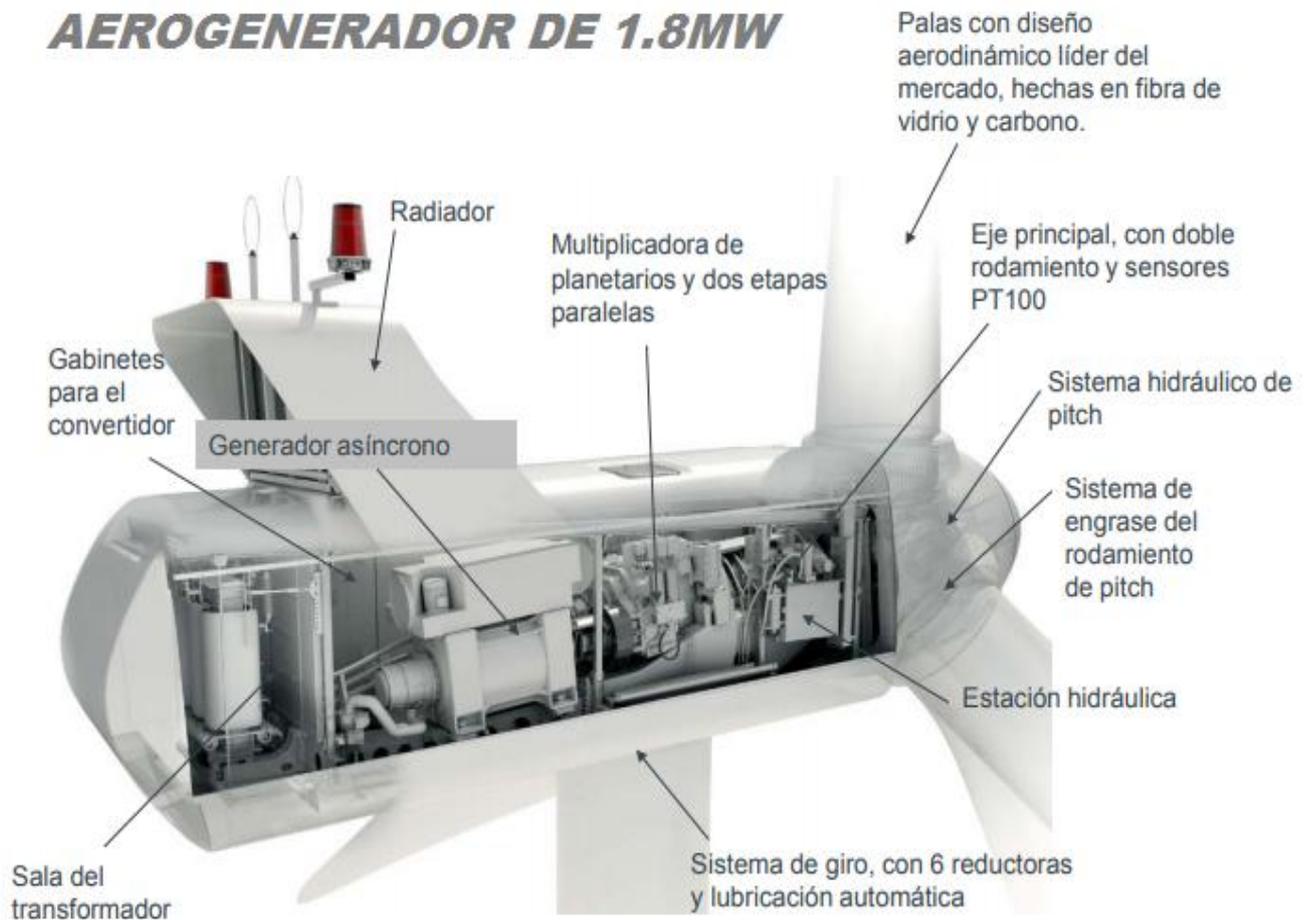
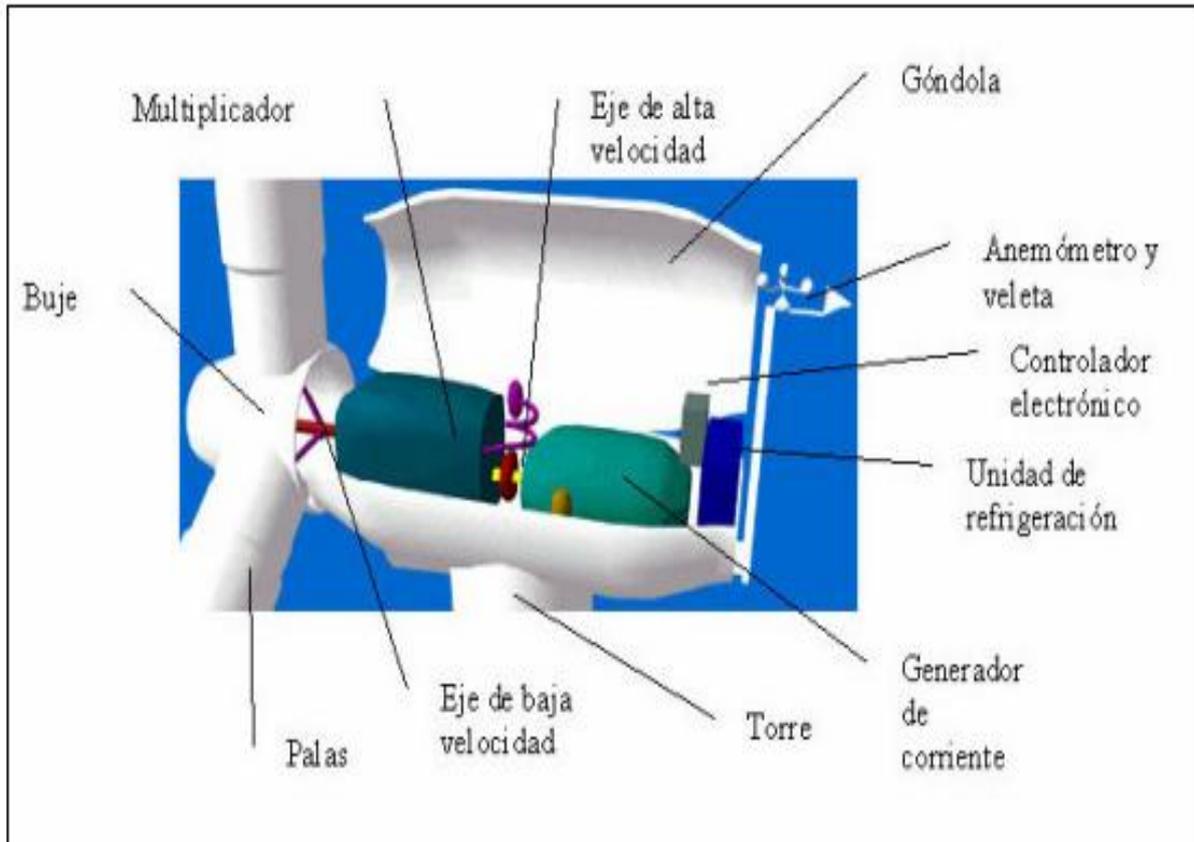


Figura 12: componentes exteriores de un aerogenerador fuente:
(<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/2763/40843-1.pdf?sequence=1>)



4.3 LOCALIZACIÓN DEL PARQUE EÓLICO.

La producción energética por parte de los aerogeneradores depende siempre de la velocidad del viento, la cual es fundamental en la localización del parque eólico. En este estudio el parque eólico se ubicará dentro del fundo San Carlos en un área de 90 000m² ya que será un proyecto de propiedad privada, el fundo San Carlos, que se encuentra en el distrito de Chao, provincia de Viru, región La Libertad.

En el mismo distrito de Chao contamos con una velocidad promedio del viento por hora 10,9km/h. La parte más ventosa del año dura 6 meses, del 1 de mayo al 2 de noviembre. El día más ventoso del año 2017 fue el 13 de agosto, con una velocidad promedio del viento de 12,0 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 6 meses, del 2 de noviembre *al* 1 de mayo. El día más calmado del año es el 16 de marzo, con una velocidad promedio del viento de 9,8 kilómetros por hora. Fuente: WEATHER SPARK.

Las mediciones que se tomaron con el anemómetro THIES FIRST CLASS ADVANCED II que se encuentra en el mismo fundo San Carlos dándonos como resultados el promedio de velocidad del viento en los últimos 6 meses (noviembre – abril) es de 11.829m/s

❖ CARACTERÍSTICAS DEL ANEMÓMETRO THIES FIRST CLASS ADVANCED II:

Los anemómetros FirstClass están diseñados para la adquisición del componente horizontal de la velocidad del viento en el campo de la meteorología y la tecnología de medición ambiental, la evaluación de la ubicación y la medición de las características de capacidad de los sistemas de energía eólica. El Anemómetro cumple con todos los requisitos de IEC 61400-12-1 (2005-12) para un instrumento de la clase de precisión 0.5. Mantenimiento extremadamente bajo gracias a la baja inercia de las copas confeccionadas con plástico de fibra de carbono reforzado.

Muy alta precisión:	Resolución: 0,05 m
Excelente relación calidad precio.	Rango de temperatura: -50 ... 80°C
Linearidad óptima: $r > 0,99999$	Velocidad de arranque baja
Intervalo de medida: 0,3 ... 75 m/s	Aguante a muy altas velocidades

Figura 13: Anemómetro Thies First Class Advanced II:



4.4 PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN:

Para poder generar los 3MW que necesita el fundo San Carlos para el rebombeo de aguas proveniente del canal Chavimochic existen dos o más opciones, *en este trabajo de investigación desarrollaremos una opción, que es la generación eólica utilizando 3 aerogeneradores de 3.3MW por motivos que su factor de planta es 40%.*

4.4.1 DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO GEOGRÁFICO.

✓ Ubicación geográfica y política.

El proyecto se desarrollará en el distrito de CHAO, que se encuentra ubicado en la parte sur oeste de la provincia de Viru, a 120 kilómetros de la misma ciudad (Trujillo), constituyendo uno de los distritos más alejados del litoral y que se encuentra situado entre las coordenadas:

- UTM: Norte: 9'056,978 y Este 761986
- Elevación 280msnm

Figura 14: Ubicación Geográfica del lugar del proyecto.



✓ **Altitud.**

Está ubicado a una altura promedio de 280 m.s.n.m., en su parte intermedia, mientras que existen lomadas empinadas que alcanzan los 500 m.s.n.m. y partes bajas que se encuentran a 200 m.s.n.m.

✓ **Extensión.**

El distrito de CHAO cuenta con una extensión de 1 736,87 km²

Límites Distrital.

El distrito de Chao limita con los siguientes distritos:

- **Por el Norte:** Con el distrito de San José.
- **Por el Sur:** Distrito de Guadalupito y Santa
- **Por el Este:** Con los distritos de Oyon y Santa Rosa.
- **Por el Oeste:** Con el mar Peruano

✓ **Accesibilidad.**

La accesibilidad al distrito de Chao, se realiza partiendo desde la ciudad de Trujillo, capital de la región La Libertad, utilizando la carretera asfaltada que une las provincias de Trujillo y Chimbote; el cual se encuentra en buen estado de conservación y transitabilidad, con muchas mejoras en estos últimos años.

El acceso para ingresar al fundo San Carlos es por una trocha carrozable perteneciente al proyecto Chavimochic, dicha trocha comienza en el Km 497 + 347m, de la Panamericana norte, el ingreso desde la panamericana hacia el fundo es de aproximadamente 10 Km al este, la trocha se encuentra en buen estado de conservación y es de muy alta transitabilidad, ya que actualmente se no solo están ubicado los fundos del grupo ARATO, si no también se encuentran ubicados los fundo de Camposol y su fábrica, es por ello que esta trocha carrozable es muy transitada, de manera especial por camiones de carga de sus productos provenientes de sus cultivos.

✓ **Vías De Comunicación**

La principal vía de acceso partiendo de Trujillo es la carretera asfaltada que une Trujillo con la provincia de Chao; y en la misma localidad de Chao, las calles principales se encuentran pavimentadas.

✓ **Servicios Básicos.**

Actualmente cuenta con todos los servicios básicos necesarios, tales como agua, luz, desagüe, servicio de limpieza pública, telefonía móvil y fija, internet, servicios de salud, educación, mercado de abastos, servicios comunales, agencia del Banco de la Nación, servicio de transporte de pasajeros en forma permanente.

✓ **Clima.**

De clima cálido, seco y con lluvias concentradas entre diciembre y marzo, intensificándose el calor durante los meses de verano.

✓ **Temperatura.**

Durante el verano alcanza una temperatura máxima de 35°, en invierno baja hasta los 10°.

4.4.2 ESTUDIO TÉCNICO DEL VIENTO.

❖ **Obtención De Los Datos.**

Para la instalación de un parque eólico, se tiene que hacer un estudio de vientos de la zona donde se vayan a ubicar los aerogeneradores.

Al no tener una estación meteorológica cerca y en funcionamiento del Servicio nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) se solito a los ingenieros del Fundo San Carlos los datos obtenidos por medio de sus anemómetros los cuales recogen los datos del vientos de la zona periódicamente cada 10 diez minutos, a su vez se le sollicito que colocaran sus anemómetros en lugares estratégicos definido por el proyectista, como también se sollicitó una aérea donde se podría ejecutar la obra para realizar el estudio, ya que al ser propiedad privada se encuentran copadas de sus sembríos de palto ya definidos.

Estas instalaciones de medida se encuentra situada a una altura sobre el suelo de 11 metros y también se posee datos a una altura de 13 metros, es en este punto donde se encuentra un dilema porque para hacer el estudio de un parque eólico se necesitan datos de viento tomados a una altura mayor, y es por ello procederá a utilizar las formulas del *capítulo*

II. Este registro de datos se solicitó que se tome de la siguiente manera:

- ✓ Datos de frecuencia y dirección del viento cada 10 minutos, realizando lo mismo cada hora, de la misma manera todos los días por 6 meses. Al obtener estos datos se procedió a promediar.
- ✓ Para poder tener los datos más frecuentes se construyó un cuadro resumen de frecuencias por hora y altura de cada anemómetro.
- ✓ Luego se realizó un gráfico la velocidad vs tiempo para escoger las horas de interés de nuestro estudio.

4.4.3 REGISTRO DE DATOS OBTENIDOS.

❖ Datos Obtenidos Por Los Anemómetros Del Fundo San Carlos.

Las velocidades medias mensuales, en m/s, obtenidas en la estación meteorológica del fundo San Carlos, desde noviembre del 2017 hasta abril del 2018, se expresan en el siguiente cuadro a modo de resumen.

Tabla N° 12 Datos mensuales de viento a 13m de altura.

2017-2018	PROMEDIO DE VELOCIDAD DEL VIENTO A 13 METROS DE ALTURA POR MESES.
Noviembre	11.59
Diciembre	11.49
Enero	12.00
Febrero	11.94
Marzo	11.98
Abril	11.98
PROMEDIO TOTAL m/s	11.829

La velocidad media de todo el periodo fue de 11.829 m/s. Al ser la velocidad media superior a 5.5 m/s, se considera la zona con un potencial eólico alto.

4.4.4 PECULIARIDADES DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO.

En el periodo entre noviembre del 2017 y abril del 2018 (valores de la tabla N° 13) en la estación Meteorológica del fundo San Carlos. Se recogió información cada 10 min sobre la velocidad y dirección del viento para 2 niveles sobre el suelo (11 m y 13 m), promediándose para dicho periodo las frecuencias de velocidad del viento para cada hora.

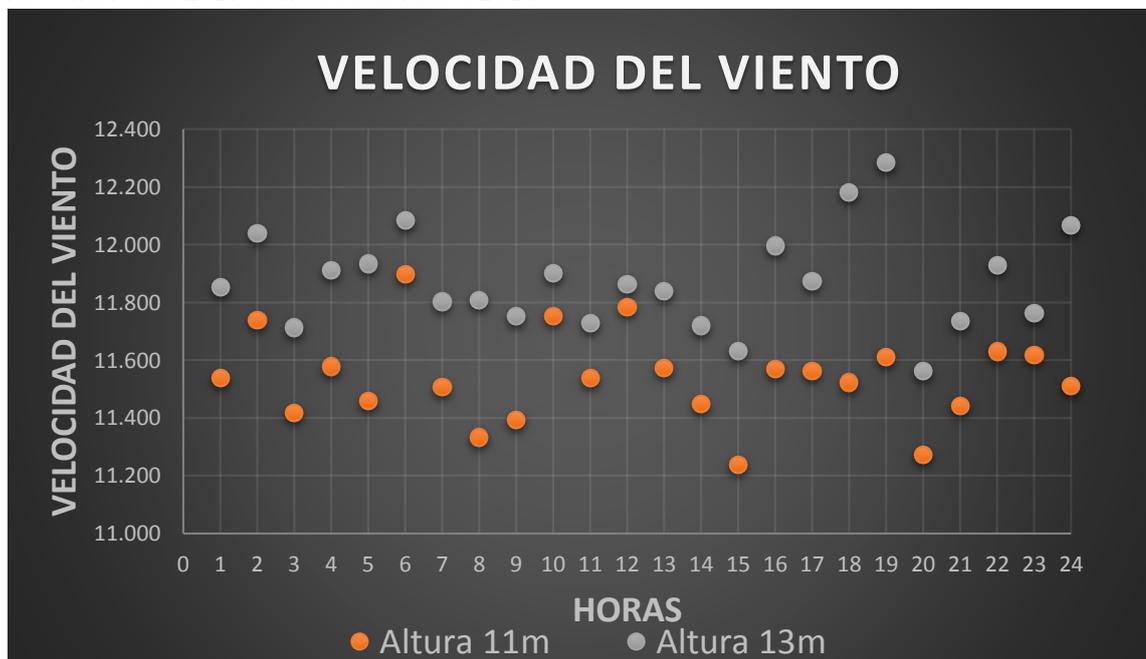
Tabla N° 13 Velocidad media horaria del viento, periodo Noviembre a Abril 2017 – 2018.

HORA	VELOCIDAD (m/s)	
	ALTURA (11m)	ALTURA (13m)
01:00	11.537	11.853
02:00	11.738	12.039
03:00	11.417	11.713
04:00	11.578	11.912
05:00	11.459	11.934
06:00	11.897	12.083
07:00	11.506	11.803
08:00	11.333	11.807
09:00	11.394	11.752
10:00	11.753	11.902
11:00	11.539	11.727
12:00	11.785	11.864
13:00	11.573	11.839
14:00	11.447	11.721
15:00	11.237	11.632
16:00	11.569	11.997
17:00	11.563	11.876

18:00	11.522	12.181
19:00	11.611	12.287
20:00	11.273	11.564
21:00	11.442	11.736
22:00	11.630	11.928
23:00	11.618	11.763
00:00	11.510	12.067

Tomando los datos obtenidos y representados en la tabla N°14 se construye la Fig. N° 15, donde se puede observar a mayor detalle la velocidad promedio del viento en función del tiempo por hora y por día, satisfaciendo el modelo exponencial y logarítmico.

Figura N° 15.- Velocidad media horaria del viento, en función del tiempo, periodo de noviembre del 2017 al mes de abril del 2018.



4.4.5 COEFICIENTES DE RUGOSIDAD Y FRICCIÓN.

Los datos que nos brinda la tabla N°14, mediante la expresión (24) se tiene los coeficientes de fricción.

Tabla N°14.- Coeficientes de Fricción.

<i>HORA</i>	COEFICIENTE DE FRICCIÓN (α)
1	0.16
2	0.15
3	0.15
4	0.17
5	0.24
6	0.09
7	0.15
8	0.24
9	0.19
10	0.08
11	0.10
12	0.04
13	0.14
14	0.14
15	0.21
16	0.22
17	0.16
18	0.33
19	0.34
20	0.15
21	0.15
22	0.15
23	0.07
24	0.28
<i>Más representativo</i>	0.15

El coeficiente de fricción que más se repite en la tabla N°15 es 0.15, correspondiente a las horas 2, 3, 7, 20, 21 y 22 y que según la tabla N°6 está entre 0,15 y 0,20 correspondiente a Césped o terreno de cultivo.

Igualmente con los datos del en la tabla N° 15 para las horas 2, 3, 7, 20, 21 y 22 mediante la expresión (25) se tiene los coeficientes de rugosidad, como se aprecia a continuación.

Tabla N°15.- Coeficientes de rugosidad en las horas 3, 4, 8, 21, 22 y 23

HORA	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD (Z_0)
2	0,04
3	0,03
7	0,04
20	0,03
21	0.045
22	0.03
Más representativo	0,03

El coeficiente de rugosidad más representativo es 0,03, y según la tabla N°7, se encuentra entre la clase 1 y 2, que pertenece al área cubierta y terreno agrícola con algo de protección. De acuerdo con la tabla N° 8, nuestros datos están entre las clases 1 y 1,5 referidas a área agrícola sin cercados. Y para este proyecto consideraremos la *rugosidad de clase 1*.

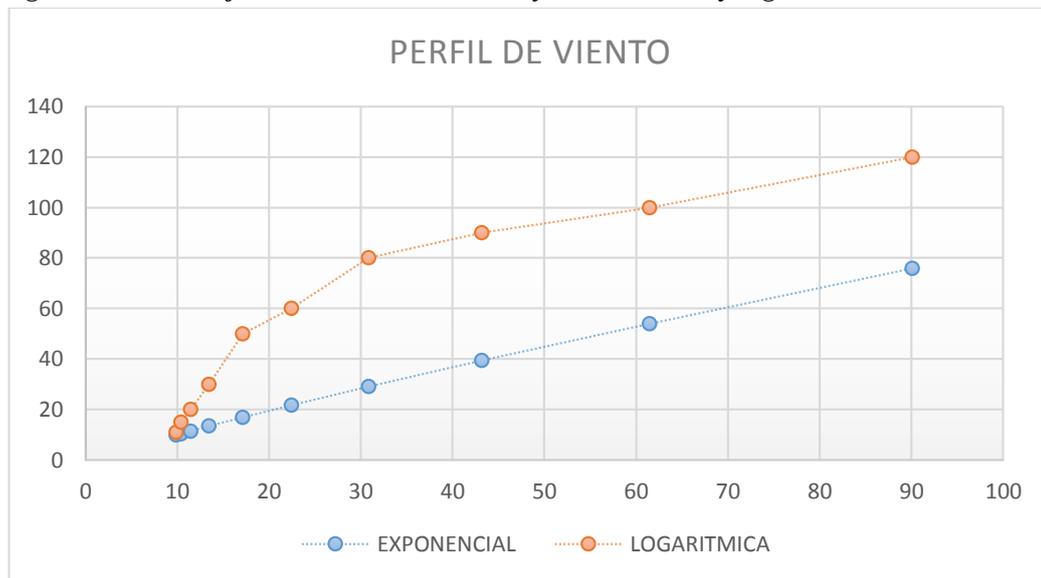
4.4.6 PERFIL DEL VIENTO.

Obteniendo la los cálculos de α y Z_0 que resalta la particularidad del lugar objeto de estudio, usando las ecuaciones (22) y (23), nos proyectamos a 15,0m, 20,0m, 30,0m, 50,0m, 60,0m, 80,0m, 90,0m, 100,0m y 120,0m, como se aprecia en la tabla N°17.

Tabla N°16.- Ley exponencial y logarítmica para alturas y velocidad del viento a las 20 horas.

LEY	VELOCIDAD (m/s)										
	METROS	11	15	20	30	50	60	80	90	100	120
Exponencial	11.442	11.99	13.11	15.24	19.13	24.67	33.22	45.53	63.41	90.74	
Logarítmica	11.442	12.04	13.26	15.52	19.49	25.10	33.53	45.47	62.46	87.74	

Figura N° 15.- Perfil del viento usando la ley de Hellmann y logarítmica.



En la Figura N° 15, vemos que el perfil del viento para ambos coeficientes tiende a coincidir hasta los 20 metros, a partir de 20 metros las diferencias de valor de la velocidad es notable; constituyendo un referente positivo a posteriori de tratarse de utilización de energía eólica.

4.4.7 OTROS DATOS.

La densidad del aire varía con la temperatura y con la altura, pero se pudo saber el valor gracias a que la estación meteorológica cuenta con ese dato.

- Densidad del aire: 1,225 kg/m³.

Este es el valor promedio anual obtenido de la estación meteorológica, está claro que ira variando a lo largo del año, pero ha sido tenido en cuenta en la elaboración de este estudio.

4.5 POTENCIA DE AEROGENERADORES PARA CUBRIR LA DEMANDA INICIAL DEL FUNDO SAN CARLOS.

El proyecto eólico es tomado para cubrir una demanda inicial de 3 MW, es necesario una configuración correcta, las cuales se basan en estas tres opciones:

- ✓ *Opción 1: 3 Aerogeneradores de 3.3 MW c/u.*
- ✓ *Opción 2: 3 Aerogeneradores de 1 MW c/u.*
- ✓ *Opción 3: 6 Aerogeneradores de 500 KW c/u.*

En la **opción 1** se dispone instalar 3 aerogeneradores de una potencia unitaria de 3.3MW, esta opción es favorable, ya que si aplicamos el factor de planta 40% se obtendría 3,96MW cumpliendo con la máxima demanda requerida, también es favorable ya que al ser solo 3 aerogeneradores su costo total estaría 25 millones aproximadamente menor que si se instalaría 5 aerogeneradores de 1.8MW. El aerogenerador seleccionado sería *V112/3.3MW FABRICANTE (VESTAS)*

En la **opción 2** se dispone instalar 5 aerogeneradores de una potencia unitaria de 1.8MW, esta opción sería adecuada por tener disponibilidad del mercado y variedad de aerogeneradores al igual como piezas para mantenimientos ya que los aerogeneradores de 1.8MW son más utilizados que los de potencia baja. De la misma manera si se desconecta uno de los aerogeneradores del parque por problemas técnicos podremos tener más de la mitad de potencia requerida en nuestra máxima demanda. El problema surge en el costo de instalación así como también en la energía entregada con 3 aerogeneradores de 1.8 MW, ya que solo podríamos suministrar 2.16 MW por el factor de planta. Entre los posibles aerogeneradores más representativos de 1.8 MW, tenemos:

- *V100 FABRICANTE (VESTAS)*
- *V90 FABRICANTE (VESTAS)*

En la **opción 3**, se dispone instalar 6 aerogeneradores de 500KW es una de alternativa interesante, ya que en el mercado existes estos tipos de aerogeneradores, pero el espacio proporcionado por el fundo San Carlos para la instalación de estos aerogeneradores es reducido, por lo que nos obliga disponer de menos aerogeneradores para poder cubrir demanda. Esta opción se planteó a los responsables de campo los cuales denegaron ya que el utilizar más aerogeneradores les obliga a reducir su espacio de cultivo. También se dedujo que el traslado de dichos aerogeneradores no resultaría viable.

4.6 SELECCIÓN DEL TIPO DE AEROGENERADOR.

Los aerogeneradores que se instalarán deberán ser de paso y velocidad variable para que cumplan características que aseguren una potencia de salida suave teniendo como objetivo reducir cargas significativamente.

Se tiene que realizar una clasificación de los aerogeneradores según tres clases en función de las velocidades medias del viento que sean capaces de aprovechar.

En el Fundo San Carlos de propiedad de la Empresa Arato el potencial eólico es elevado, pero existen zonas donde el potencial eólico es mucho más elevado.

En la selección de un aerogenerador, en primer lugar hay que observar la curva de potencia del mismo y la velocidad del viento anual del parque, para llegar a la conclusión que la velocidad de arranque resulta ser la óptima para el análisis de viento descrito anteriormente. No hay que tener sólo en cuenta la producción esperada por unidad de costo del aerogenerador, sino la fiabilidad del mismo, las garantías que ofrecen los suministradores, y el compromiso que ofrecen con el cliente. En el fundo San Carlos los responsables de campo acordaron colocar aerogeneradores más grandes para la producción eólica para poder aprovechar del terreno y producir más electricidad, es decir, más energía producida en menos espacio, es por ello la utilización del aerogenerador V112/3.3MW *FABRICANTE (VESTAS)*

Se ha realizado un estudio comparativo con diferentes modelos de aerogeneradores:

Tabla N°17.- Comparativa de modelos de aerogeneradores

MAQUINA	DENSIDAD DE POTENCIA	DIAMETRO ROTOR(m)	AREA BARRIDO (m ²)	VEL. CONEXIÓN (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA DEL ROTOR	TENSION DE SALIDA DEL GENERADOR	TENSION DE SALIDA DEL TRANSFORMADOR
A1000S	2.3 m ² /kW	54 m	2 291 m ²	4 m/s	22 vuelta/min	690V	SEGÚN REQUERIMIENTO
A1000	2.65 m ² /kW	58 m	2 643 m ²	4 m/s	22 vuelta/min	690V	SEGÚN REQUERIMIENTO
V90	3.54 m ² /kW	90 m	6362 m ²	4 m/s	15 vuelta/min	690V	SEGÚN REQUERIMIENTO
V100	4.37 m ² /kW	100 m	7854 m ²	4 m/s	16.6 vuelta/min	690V	SEGÚN REQUERIMIENTO
V112	2.99 m ² /kW	112 m	9852 m ²	4 m/s	17.7 vuelta/min	650V	SEGÚN REQUERIMIENTO

Para la selección del aerogenerador **V112 FABRICANTE (VESTAS)** frente a los modelos anteriores, el A1000, A1000S, V90 y V100; atendiendo a varios aspectos según el emplazamiento se eligió:

- **Velocidades de funcionamiento.**

El aerogenerador V112 es diseñado para recoger una gran cantidad de aire en emplazamientos con vientos de velocidad media a baja, este modelo empieza a arrancar a una velocidad de 4 m/s.

También podemos observar que la velocidad nominal del viento pasa a ser 14 m/s, esto determina la vida útil de entre 20 y 30 años por lo que las velocidades del viento varían constantemente y si bien existe una velocidad de viento muy buena nos e sabe que pueda pasar de aquí a los próximos años es por ello elegir un aerogenerador que trabaje con velocidades mínimas.

- **Funcionamiento en altura.** Una de las ventajas es que está diseñado para que funcione hasta una altura máxima de la góndola de 105 metros sin que baje su potencia nominal.

- **Área de barrido y número de palas.**

La ventaja con respecto al A1000S, A1000, V90 y V100, es que su área de barrido es mucho mayor, esto le permite poder generar más energía.

- **Máximo rendimiento.**

El diseño de sus palas, de 56 metros, hacen que el V112 sea aerogenerador capaz de generar más electricidad que cualquier otro aerogenerador de 3.3MW. Todo esto queda demostrado en el siguiente cálculo de la potencia media de cada aerogenerador:

Tabla N°18.- Potencia media del aerogenerador V112.

VELOCIDAD (m/s)	HORAS	FRECUENCIA (%)	POTENCIA (kW)	FRECUENCIA*Pot
1	46	0.26	0	0.000
2	275	1.57	0	0.000
3	590	3.37	22	74.087
4	614	3.50	134	469.612
5	659	3.76	302	1135.947
6	889	5.27	552	2911.359
7	945	5.39	906	4886.815
8	1562	8.92	1370	12214.269
9	1368	7.81	1950	15226.027
10	1600	9.13	2586	23616.438
11	1690	9.65	3071	29623.231
12	1785	10.19	3266	33275.171
13	1360	7.76	3298	25600.913
14	933	5.33	3300	17573.630
15	775	4.42	3300	14597.603
16	565	3.22	3300	10642.123
17	385	2.20	3300	7251.712
18	347	1.98	3300	6535.959
19	224	1.28	3300	4219.178
20	195	1.11	3300	3672.945
21	172	0.98	3300	3239.726
22	140	0.80	3300	2636.986
23	103	0.69	3300	2270.069
24	90	0.61	3300	2025.205
25	60	0.79	3300	2607.000
				226306.008

Tabla N°19.- Potencia media del aerogenerador A1000.

VELOCIDAD (m/s)	HORAS	FRECUENCIA (%)	POTENCIA (kW)	FRECUENCIA*Pot
1	46	0.262557	0	0.000
2	275	1.569635	0	0.000
3	590	3.367580	0	0.000
4	614	3.504566	13	45.559
5	659	3.761416	40	150.457
6	889	5.074201	108	548.014
7	945	5.393836	200	1078.767
8	1562	8.91553	305	2719.235
9	1368	7.80822	438	3420.000
10	1600	9.13242	585	5342.466
11	1690	9.64612	760	7331.050
12	1785	10.18836	960	9780.822
13	1360	7.76256	1000	7762.557
14	933	7.61415	1000	7614.155
15	775	4.42352	1000	4423.516
16	565	3.22489	1000	3224.886
17	385	2.19749	1000	2197.489
18	347	1.98059	1000	1980.594
19	224	1.27854	1000	1278.539
20	195	1.11301	1000	1113.014
21	172	0.98174	1000	981.735
22	140	0.79909	1000	799.087
				61791.940

Tabla N°20.- Potencia media del aerogenerador A1000S.

VELOCIDAD (m/s)	HORAS	FRECUENCIA (%)	POTENCIA (kW)	FRECUENCIA*Pot
1	46	0.262557	0	0.000
2	275	1.569635	0	0.000
3	590	3.367580	0	0.000
4	614	3.504566	13	45.559
5	659	3.761416	40	150.457
6	889	5.074201	108	548.014
7	945	5.393836	200	1078.767
8	1562	8.91553	305	2719.235
9	1368	7.80822	438	3420.000
10	1600	9.13242	585	5342.466
11	1690	9.64612	760	7331.050
12	1785	10.18836	960	9780.822
13	1360	7.76256	1000	7762.557
14	933	7.61415	1000	7614.155
15	775	4.42352	1000	4423.516
16	565	3.22489	1000	3224.886
17	385	2.19749	1000	2197.489
18	347	1.98059	1000	1980.594
19	224	1.27854	1000	1278.539
20	195	1.11301	1000	1113.014
21	172	0.98174	1000	981.735
22	140	0.79909	1000	799.087
				61791.940

Como puede apreciar, el **V112** con A1000 y A1000S genera un rendimiento mayor es por ello que sé que elegir por densidad de potencia, convertidor y/o área de barrido y por su rendimiento.

- **Respuesta ante huecos de tensión.**

El V112 posee un convertidor total de potencia que garantiza una producción estable y escalable.

Su mayor ventaja, en comparación con modelos más antiguos, es que, en este caso, se reducen las cargas dinámicas transitorias, sin imponer esfuerzos adicionales en las demás partes móviles.

4.7 CARACTERÍSTICAS DE LOS AEROGENERADORES.

A continuación mostramos las características más importantes:

- ✓ Fabricante: VESTAS (DINAMARCA)
- ✓ Diámetro del rotor: 112 m.
- ✓ Área barrido por el rotor: 9852 m².
- ✓ Torre de acero tubular: 84 m.
- ✓ Tipo de Generador: Generador magnético permanente ASYNC DF.
- ✓ Longitud palas: 52 m.
- ✓ Potencia nominal: 3.3 MW.
- ✓ Velocidad de conexión: 4 m/s.
- ✓ Velocidad de desconexión: 25 m/s.

MEMORIA DE CÁLCULOS

4.8 CÁLCULO DE LA POTENCIA INSTALADA.

4.8.1 POTENCIA NOMINAL DEL PARQUE.

El parque eólico consta de 3 aerogeneradores A1000 de 1MW de potencia nominal cada uno, dispuestos en una fila.

La potencia nominal del parque viene determinada por la siguiente expresión:

$$P_{np} = P_n * N = 3.3MW * 3 = \mathbf{9.9 MW}.$$

Donde:

- P_{np} : Potencia nominal del parque.
- P_n : Potencia nominal del aerogenerador.
- N : Número de aerogeneradores.

4.8.2 POTENCIA MÁXIMA.

Es la potencia dada por los 3 aerogeneradores, en condiciones de Rendimiento total,

$$P_{m\acute{a}x.} = P_{np} * R_{total} = 9.9MW * 0,866016 = \mathbf{8,574984 MW}$$

Para calcular el rendimiento total de un aerogenerador (R_{total}), se tiene que seguir los siguientes pasos:

RENDIMIENTOS.

El rendimiento total (R_{total}), es el producto del: factor de utilización (F_u), Factor estela o sombra (F_s), y el rendimiento eléctrico (R_e); todos ellos descritos a continuación.

- **FACTOR DE UTILIZACIÓN.**

Es la definición de disponibilidad de los aerogeneradores. Una forma de ajustar el factor de disponibilidad o de utilización es calculando el cociente entre las horas de producción (T_p) con respecto al número de horas de viento (T_v), descontando las

horas en las que la red está fuera de servicio (T_{fr}) y en las que se produce una parada justificada (T_{pj}).

$$Fu = \frac{T_p}{T_v - T_{fr} - T_{pj}}$$

Para este caso adoptaremos un factor de utilización estándar utilizado en la mayoría de instalaciones eólicas: **0,96**.

- **FACTOR ESTELA O SOMBRA.**

Es el efecto que se produce cuando se recibe el viento desviado a partir de otros aerogeneradores situados por delante en la dirección del viento.

El factor de estela o sombra caracteriza la pérdida de potencia/energía del viento que recibe un aerogenerador provocada por la estela o sombra de aerogeneradores situados aguas arriba.

Con todo ello utilizaremos un factor de estela estándar de **0,93**.

- **RENDIMIENTO ELÉCTRICO.**

Es el rendimiento que nos proporcionan todos los equipos eléctricos, generador, convertidores, filtros, cables de potencia y transformador. El rendimiento eléctrico estipulado está en **0,97**.

Con todo ello nos disponemos a calcular el rendimiento total:

$$R_{total} = Fu * Fs * Re = 0,96 * 0,93 * 0,97 = \mathbf{0,866}$$

4.8.3 POTENCIA MEDIA DEL PARQUE.

La potencia media del parque se halla a partir de la multiplicación de la potencia media de cada aerogenerador, por el número de aerogeneradores del parque.

$$P_{med} = P_{ma} * N = 226306.008 \text{ MW} * 3 = \mathbf{678\ 918.024MW}$$

Para calcular la Potencia media (P_{ma}) de un aerogenerador, se tiene que seguir los siguientes pasos:

- **POTENCIA MEDIA DE CADA AEROGENERADOR.**

La potencia media del aerogenerador, es el resultado de multiplicar la curva de frecuencias de viento por la curva de potencia del aerogenerador.

Tabla N°21.- Potencia media del aerogenerador V112.

VELOCIDAD (m/s)	FRECUENCIA (%)	POTENCIA (kW)	FRECUENCIA*Pot
1	0.26	0	0.000
2	1.57	0	0.000
3	3.37	22	74.087
4	3.50	134	469.612
5	3.76	302	1135.947
6	5.27	552	2911.359
7	5.39	906	4886.815
8	8.92	1370	12214.269
9	7.81	1950	15226.027
10	9.13	2586	23616.438
11	9.65	3071	29623.231
12	10.19	3266	33275.171
13	7.76	3298	25600.913
14	5.33	3300	17573.630
15	4.42	3300	14597.603
16	3.22	3300	10642.123
17	2.20	3300	7251.712
18	1.98	3300	6535.959
19	1.28	3300	4219.178
20	1.11	3300	3672.945
21	0.98	3300	3239.726
22	0.80	3300	2636.986
23	0.69	3300	2270.069
24	0.61	3300	2025.205
25	0.79	3300	2607.000
			226306.008

4.8.4 ENERGÍA ANUAL DEL PARQUE.

Es la energía que los 3 aerogeneradores que se encuentran en el parque nos dará en un año, con las condiciones de viento del lugar y teniendo en cuenta todos los tipos de pérdidas. Se obtiene por el producto de las horas equivalentes eólicas por la potencia nominal del parque:

$$E_{ap} = H_{ee} * P_{np} = 59\,388.182\,h * 9.9\,MW = 587\,943.001\,MWh/año$$

- **HORAS EQUIVALENTES EÓLICAS.**

Es el número de horas a producción nominal de la planta es:

$$H_{ee} = \frac{P_{ma} * h * R_{total}}{P_n} = ?\,h$$

$$H_{ee} = \frac{226306.008 * h * 0,866}{3.3} = 59\,388.182\,h$$

- **ENERGÍA ANUAL DEL AEROGENERADOR.**

Es la energía que nos dará el aerogenerador en un año, con las condiciones de viento del lugar:

$$E_{ag} = P_n * H_{ee} = 3.3\,MW * 59\,388.182h = 195\,981.0006\,MWh/año$$

4.8.5 RATIO DE PRODUCCIÓN.

También llamado Factor de utilización, es la relación existente entre la energía producida y la máxima energía posible de generar en el parque. Nos indica la eficiencia total del parque teniendo en cuenta tanto los diferentes rendimientos como la adecuación de los aerogeneradores a las condiciones de viento de la zona.

$$RP = \frac{E_{ap}}{P_{np} * h/año} = \frac{587\,943.001\,MWh/año}{9.9\,MW * 8760\,h/año} = 6,779$$

4.8.6 CALCULOS DE TRANSFORMADOR

El aerogenerador tiene una tensión de salida 650V para ingresar al sistema de Arato necesitamos elevar la tensión a 22.9kV es por ello que se realiza los cálculos para el seleccionamiento de un transformador de potencia.

$$P_{nt} = P_e / \cos\phi = 3300 / 0.95 = 3473.68KVA.$$

Es por ello que seleccionaremos un transformador de 3 600 kVA, potencia secundaria (650 V) 3500 kVA, potencia secundario (480 V) 100 kVA, frecuencia 60 Hz, tensión primaria 22.9 kV y tensión secundaria 650/480 V.

Donde:

- Pnt: Potencia nominal del Transformador.
- Pe: Potencia nominal del aerogenerador.
- $\cos\phi$: Factor de potencia.

4.8.7 SELECCIONAMIENTO DE BARRA DE ACOPLAMIENTO.

Para poder acoplar la energía de los transformadores de cada aerogenerador se tiene que diseñar una barra, la cual estará en una caseta. Cumpliendo la separación de 1.5m para cada celda de llegada. Esta barra será circular de 272.6 Amperios.

$$Barra = \frac{Pnt * 3}{\sqrt{3} * 22.9} = \frac{3600 * 3}{\sqrt{3} * 22.9} = 272.6A$$

4.8.8 CUADRO RESUMEN.

Tabla N°22.- Resumen de los cálculos de la potencia instalada.

CALCULO DE LA POTENCIA INSTALADA		
POTENCIA NOMINAL DEL PARQUE	Pnp	9.9MW
POTENCIA MÁXIMA	Pmáx	8,574984 MW
POTENCIA MEDIA DEL PARQUE	Pmed	678 918.024MW
ENERGÍA ANUAL DEL PARQUE	Eap	587 943.001 MWh/año
RATIO DE PRODUCCIÓN	RP	6,779
TENSIÓN PRIMARIA	V	22 900V
TENSIÓN SECUNDARIA	V	650 V/480V
TRANSFORMADOR	Pnt	3600 KVA
BARRA DE ACOPLAMIENTO	Barra	272.6Amp
CELDA DE LLEGADA, CELDA SALIDA Y PROTECCION	KV	25 KV

**CAPÍTULO V: PRESUPUESTO DE OBRA Y ANALISIS
FINANCIERO.**

ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA.

Los costos del parque eólico lo vamos a dividir en 4 grupos, siendo estos grupos parte importante para nuestro análisis financiero.

- **Evaluación económica del aerogenerador.**

Para poder evaluar una central eólica es importante saber que la compra del aerogenerador es importe más importante para la construcción del parque eólico, es por ello que se tiene que analizar tanto en el suministro como en el montaje.

Tabla N°23.- Resumen de evaluación económica del aerogenerador

EVALUACION ECONOMICA DE LOS AEROGENERADOR			
CONCEPTO	%		S/.
AEROGENERADOR	80	S/.	78,242,726.90
OBRA CIVIL	9	S/.	8,802,306.78
INFRAESTRUCTURA ELECTRICA	6.5	S/.	715,187.43
INGENIERIA DE LICENCIAS Y PERMISOS	4	S/.	35,759.37
EVALUACION DE RECURSO EOLICO	0.5	S/.	223.50
TOTAL	100	S/.	87,796,203.97

- **Evaluación económica de las celdas de llegada y salida.**

Los equipos necesarios para la conexión de los aerogeneradores a la red, son parte fundamental es por ello que al ser una inversión considerable tenemos que analizarlo individualmente.

Tabla N°24.- Resumen de evaluación económica de celda de llegada y salida.

EVALUACION ECONOMICA DE LAS CELDAS DE LLEGADA Y SALIDA			
CONCEPTO	%		S/.
CELDAS	95	S/.	276,973.18
MONTAJE ELECTROMECHANICO	2.5	S/.	7,288.77
INFRAESTRUCTURA ELECTRICA	2	S/.	153.45
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	0.5	S/.	0.81
TOTAL	100	S/.	284,416.20

- **Evaluación económica de la red de media tensión.**

Se analiza el costo de inversión de la red de media tensión por ser parte del proyecto y de carácter fundamental para poder brindar de energía a nuestro suministro.

Tabla N°25.- Resumen de evaluación económica del recorrido de media tensión.

EVALUACION ECONOMICA DE RED DE MEDIA TENSION		
CONCEPTO	%	S/.
SUMINISTRO	57.09	S/. 89,837.56
MONTAJE ELECTROMECHANICO	42.91	S/. 67,523.73
TOTAL	100	S/. 157,361.28

- **Evaluación económica de la obra civil.**

La caseta de transformación es lugar donde se realizara la conexión en paralelo de nuestros equipos y al ser una obra de inversión considerable se ha tomado en consideración por analizarlo individualmente.

Tabla N°26.- Resumen de evaluación económica de la construcción de caseta de acoplamiento.

EVALUACION ECONOMICA DE OBRA CIVIL (CASETA)		
CONCEPTO	%	S/.
CONTRUCCION A TODO COSTO	100	S/. 22,688.85
TOTAL	100	S/. 22,688.85

- **Resumen del total para la construcción de una central eólica de 9.9MW.**

Esto nos lleva a realizar cuadros resúmenes en los cuales se analiza todos los parámetros necesarios para definir si nuestro proyecto es viable técnicamente y económicamente.

Tabla N°27.- Resumen de la parte eléctrica del sistema de generación eólica.

EVALUACION ECONOMICA DE LA OBRA ELECTRICA		
SUMINISTRO	S/.	78,609,537.63
MONTAJE	S/.	9,628,443.82
TRANSPORTE	S/.	4,716,572.26
DIRECCION TECNICA Y GASTOS GENERALES	S/.	9,295,455.37
UTILIDAD	S/.	7,436,364.30
SUB TOTAL	S/.	109,686,373.37
I.G.V (18%)	S/.	19,743,547.21
TOTAL	S/.	129,429,920.58

Tabla N°28.- Resumen de la parte civil.

EVALUACION ECONOMICA DE LA OBRA CIVIL CASETA		
SUMINISTRO	S/.	22,688.85
TRANSPORTE	S/.	1,474.78
DIRECCION TECNICA Y GASTOS GENERALES	S/.	2,174.73
UTILIDAD	S/.	1,933.09
SUB TOTAL	S/.	28,271.44
I.G.V (18%)	S/.	5,088.86
TOTAL	S/.	33,360.30

Tabla N°29.- Total, central eólica fundo san Carlos. Arato Perú S.A.

CUADRO RESUMEN		
ELECTROMECHANICAS	S/.	129,429,920.58
CIVILES	S/.	33,360.30
EN SOLES	S/.	129,463,280.88
EN DOLARES	S/.	38,645,755.49

ANÁLISIS ECONÓMICO DE VIABILIDAD DEL PARQUE

VALOR ACTUAL NETO (VAN): Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Siendo:

- ✓ I = valor de desembolso inicial de inversión.
- ✓ Q_n = flujos de caja, es decir, ingresos menos costes de explotación.
- ✓ N = número de periodos considerado (40 años).
- ✓ r = tipo de interés.

Cuando el VAN toma el valor igual a cero, “ r ” pasa a llamarse TIR (Tasa interna de retorno). La TIR es la rentabilidad que nos está proporcionando el proyecto.

Tabla N°30.- Explicación del VAN.

VALOR	SIGNIFICADO	DECISIÓN A TOMAR
$VAN > 0$	La inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto puede aceptarse
$VAN < 0$	La inversión produciría pérdidas por encima de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto debe rechazarse
$VAN = 0$	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas	Dado que el proyecto no agrega valor monetario por encima de la rentabilidad exigida (r), la decisión debería basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores.

El valor actual neto es muy importante para la valoración de inversiones en activos fijos, a pesar de sus limitaciones en considerar circunstancias imprevistas o excepcionales de mercado. De acuerdo a las tasas de interés vigentes a nivel internacional, se consideran que el interés que nos brinda la entidad financiera es el 12% asociado a préstamos de mediano plazo (40 años), teniendo en cuenta que dicho % es considerado para los parques eólicos en Perú.

$$\text{VAN} = 17,303,067.21$$

Se concluye que el proyecto es rentable económicamente puesto que se recupera el capital invertido y se obteniendo mayores utilidades respecto a lo esperado

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR): Es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto.

El criterio de selección será el siguiente donde “k” es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN:

- **Si $TIR > k$, el proyecto de inversión será aceptado.** En este caso, la tasa de rendimiento interno que obtenemos es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.
- **Si $TIR = k$, estaríamos en una situación similar a la que se producía cuando el VAN era igual a cero.** En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables.
- **Si $TIR < k$, el proyecto debe rechazarse.** No se alcanza la rentabilidad mínima que le pedimos a la inversión.

Tabla N°31.- Conclusión del análisis financiero..

TDE	1.00%
VAN	17,303,067.21
TIR	1.50%

$$TIR > TD = 1.005\% > 1\%$$

El proyecto es económicamente rentable. Puesto que se está recuperando el capital invertido y teniendo una utilidad adicional en el periodo vida útil de la planta. Para mayor entendimiento se mostraran los cuadros de cálculo de estas variables.

CAPÍTULO VI: PLANOS

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. Se realizó el análisis y diseño para la ejecución de un sistema de generación eólica para electrificar el fundo San Carlos de Propiedad de la Empresa Arato Perú S.A.

En la cual se instalaría 3 aerogeneradores de potencia 3.3MW c/u, teniendo como factor de planta 40% produciendo un total de 3.96 MW abasteciendo de forma total la máxima demanda requerida. El cuadro resumen del (Anexo A) nos muestran la información relevante de la central eólica del fundo San Carlos. Y en el (Anexo B) encontramos las especificaciones del aerogenerador V112 3.3.MW Fabricante Vestas procedencia Dinamarca.

2. Se calculó la demanda máxima del Fundo San Carlos para ello se procedió a realizar visitas técnicas programadas, para la toma datos de sus Máquinas y Equipos instalados a lo largo de los diferentes departamentos que constituyen el fundo San Carlos.

La demanda máxima del FUNDO SAN CARLOS es 2,992.82 KW. (Anexo C)

3. Se realizó el estudio del lugar, tomando los datos del terreno (área proporcionada por Arato), los valores de las mediciones de velocidad del viento, por medio de un anemómetro THIES FIRST CLASS ADVANCED II, que se encuentra en el mismo fundo dando un promedio de velocidad de viento en los últimos 6 meses noviembre – abril de 11.829 m/s en una altura de 13m.

(Anexo D)

4. Para poder atender la demanda máxima del fundo San Carlos, se necesita 3 aerogeneradores de 3.3MW, teniendo una potencia instalada de 9.9MW de los cuales solo el 40% que es el factor de planta podremos aprovechar, obteniendo de esta central eólica 3.96 MW. Aprovechables. Para esta central se seleccionó el aerogenerador V112 fabricación VESTAS – Dinamarca.
5. La tensión de salida del generador eólico VESTAS 112 es de 650 V, por lo cual se tendría que elevar la tensión 22.9 kV para poder ingresar al sistema y evitar la caída de tensión,

esta elevación de tensión la tendremos que realizar con un transformador de potencia. Dicho transformador será instalado en la parte posterior a la góndola, siendo este un transformador de tipo seco en resina encapsulados al vacío, con refrigeración forzada por aire de 3600KVA con potencia secundaria de 650V/480V, frecuencia 60 Hz y tensión primaria 22.9kV.

POTENCIA INSTALADA (PI) = 3 300 KW

Factor de Potencia (Cos ϕ) = 0.95

Tensión Nominal (Vn) = 22.9 KV

Factor de diseño μ = 1.25

Por estandarización se elige transformadores de 3600 KVA.

Ya teniendo la tensión requerida instalaremos una celda de llegada y celda de salida con un sistema de protección y medición para 25kV. Dicha celda esta descrita en el capítulo 2, apartado 2.3 y 2.4.

6. Se seleccionó la mejor configuración para el parque eólico y a su vez el mejor aerogenerador del mercado para un mayor aprovechamiento, se realizó el trazo del recorrido de Media Tensión, desde los aerogeneradores hacia la celda de salida y posteriormente a la conexión del sistema de utilización del fundo San Carlos.
7. Se realizó el presupuesto de obra de la parte electromecánica y civil, el cual origina un costo total de US\$ **38 645 755.49**
8. Se realizó los cálculos, el análisis debido a la proyección eólica de inversión 40 años, por lo que implementar un parque eólico en el Fundo San Carlos resulta viable técnicamente y económicamente.

RECOMENDACIONES.

- Si bien el estudio se realizó con una proyección a 80 metros de altura, se es recomendable que para un análisis más riguroso se implementen veletas y anemómetros a diferentes alturas.
- Sera recomendable difundir y apoyar la investigación sobre la evaluación de viabilidad técnico económico del proyecto, basándose en tecnologías apropiadas (como la utilización de software para una mayor precisión).
- Es recomendable que este tema de investigación se difunda mediante talleres participativos con fines educativos para la evaluación y ver las posibles debilidades del proyecto.

CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

BIBLIOGRAFÍA.

- ✓ PETTERSEN S. Introduction Meteorology. 2ª Edic. New York: McGraw-Hill; 1958.
- ✓ VILLARUBIA Miguel. Energía Eólica. Madrid - España: Editorial Ceac; 2004.
- ✓ ERICO SPINADEL. Energía eólica 1º Edición. Argentina: Editorial Nueva Librería; 2009.
- ✓ NIELSEN W. Compendio de Meteorología. Vol. I. Meteorología Dinámica. Ginebra: OMM; 1984.
- ✓ JANSA J.M. Manual del Observador de Meteorología. Instituto Nacional de Meteorología. España: INM; 1968.
- ✓ ESCOBAR Rafael, y MARCELO BRET Oliver. Desarrollo de capacidades en energías renovables. España: Ed. Cedecad; 2010.
- ✓ Centro de Conversación de Energía y del Ambiente. Diagnóstico de la situación actual del uso de la energía solar y eólica en el Perú. Lima. 2006.
- ✓ INEI, sistema de información regional para la toma de decisiones. [en línea] disponible en: <http://webinei.inei.gob.pe:8080/SIRTOD/inicio.html#>
- ✓ SENAMHI, Datos históricos. [en línea] disponible en : <http://www.senamhi.gob.pe/?p=data-historica>
- ✓ “DISEÑO DE UN PARQUE EÓLICO DE 6MW EN MALPICA DE BERGANTIÑOS, LA CORUÑA” consultado 13 de enero 2018 [en línea] disponible en: <http://www.eoi.es/es/file/18952/download?token=DCeGd24a>
- ✓ “APROVECHAMIENTO DEL RECURSO EÓLICO Y SOLAR EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO2 EN EL POBLADO RURAL LA GRAMITA DE CASMA” ” consultado 15 de enero 2018 [en línea] disponible en: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1694/1/chercca_rj.pdf

- ✓ “MODELADO DE LA GENERACIÓN EÓLICA PARA ESTUDIOS EN REDES ELÉCTRICAS” consultado 25 de enero 2018 [en línea] disponible en:
<http://eprints.uanl.mx/2634/1/1080223869.pdf>
- ✓ “ENERGÍA EÓLICA” consultado 2 de febrero 2018 [en línea] disponible en:
http://data.torre-solar.es/thesis/2000_Pedro_Fernandez_Diez-energia_eolica-135p.pdf
- ✓ “MODELADO DE LA GENERACIÓN EÓLICA PARA ESTUDIOS EN REDES ELÉCTRICAS” ” consultado 8 de febrero 2018 [en línea] disponible en:
<http://eprints.uanl.mx/2634/>
- ✓ “PROYECTO DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO” consultado 15 de febrero del 2018 [en línea] disponible en:
https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/8247/PFC_Nieves_Alvarez_Marivela.pdf;jsessionid=6330DBA69E6A9C7FE2FE11646A93869A?sequence=1
- ✓ “ATLAS EÓLICO DEL PERÚ” consultado 20 de febrero 2018 [en línea] disponible en:
[http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios Economicos/Otros-Estudios/Atlas-Eolico/AtlasEolicoLibro.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Otros-Estudios/Atlas-Eolico/AtlasEolicoLibro.pdf)
- ✓ ELECTRIFICACIÓN RURAL MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS, consultado el 22 de febrero del 2018 [en línea] disponible en:
https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/instrumentos_metod/energia/Diseño_ELECTRIFICACION_RURAL_corregido.pdf
- ✓ ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN PARQUE EÓLICO DE 30MW EN EL DISTRITO DE CHONGOYAPE, PROVINCIA DE

CHICLAYO DEL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE consultado el 01 de marzo del 2018 disponible en: biblioteca FIME-UNPRG

- ✓ “PARQUES EOLICOS COMO PROYECTOS DE INVERSION / EXPERIENCIA EN EL PERU” consultado el 2 de marzo del 2018 [en línea] disponible en:
http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/bioenergia/Congreso_Peru/09_Velasquez_Jorge.pdf
- ✓ “ATLAS EOLICO SEGÚN OSINERMING” consultado el 29 de marzo del 2018 [en línea] disponible en: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00367.pdf>
- ✓ “CENTRAL EOLICA CUPISNIQUE” consultado el 05 de abril del 2018 [en línea] disponible en:
https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acorde%C3%B3n/Generaci%C3%B3n/1.7.2.pdf
- ✓ “AEROGENERADOR DE VIENTO” ” consultado el 19 de abril del 2018 [en línea] disponible en:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/80895/Memoria%20Proyecto%20Aerogenerador%20de%20viento%20Nicolai.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ✓ “DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE 1.8MW” consultado el 05 de abril del 2018 [en línea] disponible en:
<http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3526/pfc5523.pdf?sequence=1>
- ✓ “DISEÑO PRELIMINAR DE UN AEROGENERADOR DE 3MW consultado el 15 de abril del 2018 [en línea] disponible en:
http://oa.upm.es/43485/1/PFC_Jose_Alberto_Navarro_Martinez.pdf
- ✓ “PARTES DE UN AEROGENERADOR” consultado el 21 de abril del 2018 [en línea] disponible en: <https://www.partesdel.com/aerogenerador.html>

- ✓ “THE WINDPOWER” consultado el 30 de septiembre del 2018 [en línea] disponible en: https://www.thewindpower.net/manufacturer_es_14_vestas.php
- ✓ “V90-2.0MW” consultado el 2 de octubre del 2018 [en línea] disponible en: https://www.vestas.com/en/products/turbines/v90-2_0_mw#!at-a-glance
- ✓ “CELDAS PARA TRANSFORMADORES SECOS” consultado el 12 de octubre del 2018 [en línea] disponible en: <http://www.demco.com.co/media-tension/celdas-de-transformacion-en-mt-celdas-para-transformador-seco-o-en-resina/30/37>
- ✓ “SOLUCIONES DE SUBESTACIONES CON CELDAS SECUNDARIAS” consultado el 18 de octubre del 2018 [en línea] disponible en: <http://www.promelsa.com.pe/pdf/cat-tableros-celdas-promelsa.pdf>
- ✓ “AEROGENERADOR V100 / 1.8MW – VESTAS” consultado el 12 de noviembre del 2018 [en línea] disponible en: https://www.thewindpower.net/turbine_es_34_vestas_v100-2750.php
- ✓ “TRANSFORMADAROEES SECOS EN RESINA ENCAPSULADOS AL VACIO” consultado el 13 de noviembre del 2018 [en línea] disponible en: <https://www.epli.com.pe/userfiles/files/Catalogos/TRANSFORMADOR-SECO-RESINA.pdf>
- ✓ “ESTUDIO DE LA ACOPLABILIDAD DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA” consultado el 18 de noviembre del 2018 [en línea] disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/29400285.pdf>
- ✓ “LA EOLICA ACCIONA PRESENTA SU AEROGENERADORES DE 3MW” consultado el 18 de noviembre del 2018 [en línea] disponible en: <https://www.evwind.com/2011/05/11/la-eolica-acciona-presenta-sus-aerogeneradores-de-3-mw/>

- ✓ “CATALOGO EPLI S.A.C” consultado el 22 de noviembre del 2018 [en línea] disponible en: <https://www.epli.com.pe/userfiles/files/Catalogos/Catalogo-General-Epli.pdf>
- ✓ “FICHA TECNICA DEL TRANSFORMADOR SECO” consultado el 22 de noviembre del 2018 [en línea] disponible en: http://www.promelsa.com.pe/pdf/fitec_trans_seco.pdf
- ✓ SILICON TECHNOLOGY Aislador tipo PIN Serie STPC - A 36, ” consultado el 22 de noviembre del 2018 [en línea] disponible en: <http://www.promelsa.com.pe/pdf/3001536.pdf>
- ✓ GRANTEL EQUIPAMENTOS LTDA. Aisladores compuestos, consultado el 22 de noviembre del 2018 [en línea] disponible en: <http://grantelequipamentos.com.br/es/isoladores-compostos/>

ANEXOS

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

Presup.No:
FIME -01

ELECTRIFICACION CON GENERACION EOLICA EN M.T. 22.9KV FUNDO SAN CARLOS - ARATO PERU S.A.

Proyecto: SISTEMA GENERACIÓN EÓLICA EN M.T. 22.9 kV PARA LA ELECTRIFICACIÓN DEL FUNDO SAN CARLOS, DE PROPIEDAD DE LA EMPRESA ARATO PERU S.A		Dist.	CHAO	Prov.	Virú	Dpto.	La Libertad
Ubicación: FUNDO SAN CARLOS		Cliente:	ARATO Perú SA	Elaborado:	K.P.LL	Revisado:	H..T.S.
		METRADO		COSTOS (Soles)			Fecha:
ITEM	DESCRIPCION	Unid.	Cant.	Unitario	Parcial	Total	
8 OTROS							
8.01	Hormigon	M3	10.30	65.00	669.50		
8.02	Piedra mediana	M3	9.10	65.00	591.50		
8.03	Cemento	Bolsas	40.00	21.00	840.00		
8.04	Cinta 3M No. 23	Rollo	4.50	42.84	192.77		
8.05	Cinta 3M No. 33	Rollo	4.50	14.41	64.85		
8.06	Cinta Band IT 3/4" x 1 mt	ML	20.00	120.60	2,412.00		
8.07	Hebilla para cinta Band IT 3/4"	U	20.00	1.49	29.75		
							4,800.37
B.- MONTAJE ELECTROMECHANICO							
1 OBRAS CIVILES							
1.01	Trazo y Replanteo	Km	0.45	600.00	271.54		
1.02	Excavación hoyo para poste inc. Remojo de arena	U	4.00	60.00	240.00		
1.03	Excavación hoyo para Aerogenerador inc. Remojo de arena	U	5.00	500.00	2,500.00		
							3,011.54
2 POSTES, CRUCETAS Y EXCAVACIONES							
2.01	Traslado de Aerogeneradores	U	5.00	4,500.00	22,500.00		
2.02	Traslado de Poste al Punto de Izaje	U	4.00	1,000.00	4,000.00		
2.03	Cruceta C.A.V. 1.50 m.	U	4.00	40.00	160.00		
2.04	Mensula C.A.V. 0.80m	U	3.00	40.00	120.00		
2.05	Traslado de celda	U	1.00	120.00	120.00		
2.06	Traslado de Tablero de acoplamiento	U	1.00	120.00	120.00		
							27,020.00
3 CABLES Y CONDUCTORES							
3.01	Cable AAAC 50 mm2	ML	1,425.60	1.60	2,280.96		
3.02	Cable N2XSY 18/30kV 70mm2.	ML	1,766.25	18.00	31,792.56		
3.03	Cable Tox Free 16mm2 amarillo verde	ML	18.00	1.50	27.00		
3.04	Cable Cu Desn 35 mm2 TD	ML	12.00	1.50	18.00		
3.05	Cable Cu Desn 35 mm2 TB	ML	80.50	2.50	201.25		
							34,319.77
4 AISLADORES Y ACCESORIOS							
4.01	Aislador Polimérico tipo PIN 36 kV 920mm	U	2.00	40.00	80.00		
4.02	Aislador Polimérico Tipo anclaje 36 KV 900mm	U	18.00	40.00	720.00		
							800.00
5 RETENIDAS							
5.01	Excavación de hoyo para retenida	Cjto	2.00	60.00	120.00		
5.02	Montaje de retenida inclinada inclinada	U	2.00	145.00	290.00		
							410.00
6 PUESTA A TIERRA							
6.01	Excavación de hoyo para puesta a tierra	U	4.00	60.00	240.00		
6.02	Montaje de Puesta a tierra con varilla Cu. y Caja Registro	Cjto	1.00	150.00	150.00		
6.03	Montaje de Puesta a tierra con varilla Cooperweld	Cjto	3.00	140.00	420.00		
							810.00
7 TRANSFORMADORES Y EQUIPOS							
7.01	Aerogenerador V112 Vestas	U	3.00	3,184,492.36	9,553,477.07		
7.02	Barra de Acoplamiento	U	1.00	1,000.00	1,000.00		
7.03	Celda de Llegada	U	3.00	1,860.76	5,582.27		
7.04	Celda de salida y protección	U	1.00	1,860.76	1,860.76		
7.05	Secc.polimerico CUT OUT 27/38KV 170 KVBIL 100A 900mm	U	3.00	50.80	152.41		
							9,562,072.50
RESUMEN							
A	Suministro de materiales						78,609,537.63
B	Montaje electromecánico						9,628,443.82
C	Transporte						4,716,572.26
D	Dirección Técnica Y Gastos Generales						9,295,455.37
E	Utilidad						7,436,364.30
	Sub Total						109,686,373.37
F	I.G.V. (18%)						19,743,547.21
	Total						129,429,920.58

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

Presup.No:
FIME -01

ELECTRIFICACION CON GENERACION EOLICA EN M.T. 22.9KV FUNDO SAN CARLOS - ARATO PERU S.A

Proyecto: SISTEMA GENERACIÓN EÓLICA EN M.T. 22.9 KV PARA LA ELECTRIFICACIÓN DEL FUNDO SAN CARLOS, DE PROPIEDAD DE LA EMPRESA ARATO PERU S.A		Dist. CHAO	Prov. Virú	Dpto. La Libertad		
Ubicación: FUNDO SAN CARLOS		Cliente: ARATO PERU SA	Elaborado: K.P.LL	Revisado: H.T.S. Fecha: 26-dic.-18		
ITEM	DESCRIPCION	METRADO		COSTOS (Soles)		
		Unid.	Cant.	Unitario	Parcial	Total
1	<p>CASETA SUBESTACION MEDIA TENSION 4.10x4.85 m</p> <p>- Construccion en concreto armado con cimentación 0.70x0.50 y sobrecimiento armado de 0.50x0.25, muro asentado de cabeza (0.25 cm espesor inc. Tarrajeo) columnas de 0.25x0.25 con fierro 1/2"Ø, adicionalmente tiene una loza aligerada de 20 cm, piso con malla en dos direcciones de fierro 1/2"Ø, canaleta reforzada de 0.50x0.60, (01) Buzon para ventilación y (01) buzón para deposito de aceite del transformador.'</p> <p>- Incluye portones metalicos de 3.95x2.40mt, fabricado en 02 hojas para el ingreso del transformador y 01 hija para el ingreso del seccionador de potencia, con soporte para instalacion del mando exterior, contara con bastidor de tubo redondo galvanizado de 1 1/2"Øx2.5mm con marco de angulo de 1"x1/8" para fijar la malla olimpica, cocada de 2" en alambre N° 8 con pintura anticorrosiva epoxica y acabado con pintura epoxica; adicionalmente llevara un portico y dos columnas de tubo galvanizado de 2"Ø.</p> <p>-(01) Un porton metalico de 2.00x3.00m fabricado en 02 hojas con bastidor de tubo redondo de 1 1/2" Øx2.5mm, con plancha acanalada de 3/32", incluye cerradura y picaportes, arenada y pintado con anticorrosivo y acabado con pintura epoxica.</p> <p>-(02) Dos ventanas metalicas de 2.00x0.50 m, fabricado en angulo de 1 1/2" x3/16" como bastidor para fijar malla olimpica, cocada de 2" en alambre N° 8, arenado</p> <p>-(Tapas metalicas para canaleta con marco de angulo de 1 1/2"x3/16" y plancha estriada de 1/8" con asas, arenados y pintados con anticorrosivo y pintura epoxica</p> <p>-(02) Viga H de 6" con angulo en los filos, arenados y pintados con anticorrosivo y pintura epoxica</p>	Cjto	1	22,688.85	22,688.85	22,688.85
RESUMEN						
A	Suministro de materiales y Montaje					22,688.85
B	Transporte					1,474.78
C	Dirección Técnica Y Gastos Generales					2,174.73
D	Utilidad					1,933.09
	Sub Total					28,271.44
E	I.G.V. (18%)					5,088.86
	Total					33,360.30
TOTAL						
- ELECTROMECHANICAS						
- CIVILES						
- SOLES						
- DOLARES						
						129,429,920.58
						33,360.30
					S/.	129,463,280.88
					US\$	38,645,755.49

PROYECTO SISTEMA GENERACIÓN EÓLICA PARA ELECTRIFICACIÓN DEL FUNDO SAN CARLOS, DE PROPIEDAD DE LA EMPRESA ARATO PERU S.A
ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD Y FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO

CUADRO RESUMEN		
ELECTROMECHANICAS	S/.	129,429,920.58
CIVILES	S/.	33,360.30
EN SOLES	S/.	129,463,280.88
EN DOLARES	\$	38,645,755.49

EQUIPOS	VIDA UTIL (años)	CANTIDAD	C. UNIT.	C. TOTAL	DEPRECIACIÓN
Aerogenerador	40	3	S/ 26,080,908.97	S/ 78,242,726.90	S/ 1,956,068.17
Equipos Celdas	40	1	S/ 284,416.02	S/ 284,416.02	S/ 7,110.40
Red M.T.	40	1	S/ 157,361.28	S/ 157,361.28	S/ 3,934.03
Caseta Celdas	40	1	S/ 33,360.30	S/ 33,360.30	S/ 834.01
				S/ 78,717,864.50	S/ 1,967,946.61

Personal de Operación	Cantidad	Sueldo	Mensual	Anual
Ingenieros	2	S/ 4,000.00	S/ 8,000.00	S/ 96,000.00
Tecnicos	4	S/ 1,500.00	S/ 6,000.00	S/ 72,000.00
				S/ 168,000.00

Mantenimiento anual	S/ 60,000.00
---------------------	--------------

TASA DE INTERES ANUAL	12.0%
MESES DE PAGOS	48
IMPORTE DE PRESTAMO	S/ 44,463,280.88
CUOTA MENSUAL	S/ 1,170,888.72
INTERES	S/ 5,277,943.02
CUOTA ANUAL	S/ 14,050,665
IMPUESTO A LA RENTA	29.50%
FONDOS GENERADOS	S/ 4,336,687.70
VENTA DE ELECTRICIDAD	S/ 2,168,343.85

PERIODO	PRESTAMO	AMORTIZACION	INTERES	CUOTA
0	S/ 44,463,280.88			
1	S/ 33,347,460.66	S/ 11,115,820.22	S/ 5,335,593.71	S/ 16,451,413.93
2	S/ 22,231,640.44	S/ 11,115,820.22	S/ 4,001,695.28	S/ 15,117,515.50
3	S/ 11,115,820.22	S/ 11,115,820.22	S/ 2,667,796.85	S/ 13,783,617.07
4	S/ -	S/ 11,115,820.22	S/ 1,333,898.43	S/ 12,449,718.65

		Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29
INVERSIÓN EN EL PERÍODO T							
INGRESOS	FONDOS GENERADOS	4,336,687.70	4,336,687.70	4,336,687.70	4,336,687.70	4,336,687.70	4,336,687.70
	VENTA DE ELECTRICIDAD	2,168,343.85	2,168,343.85	2,168,343.85	2,168,343.85	2,168,343.85	2,168,343.85
	TOTAL	6,505,031.56	6,505,031.56	6,505,031.56	6,505,031.56	6,505,031.56	6,505,031.56
COSTOS DE PRODUCCION	OPERACIÓN / Mtto.	228,000.00	228,000.00	228,000.00	228,000.00	228,000.00	228,000.00
	UTILIDAD BRUTA	6,277,031.56	6,277,031.56	6,277,031.56	6,277,031.56	6,277,031.56	6,277,031.56
EGRESOS	DEPRECIACIÓN DE EQUIPOS	1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61
	AEROGENERADOR	1,956,068.17	1,956,068.17	1,956,068.17	1,956,068.17	1,956,068.17	1,956,068.17
	EQUIPOS DE CELDA	7,110.40	7,110.40	7,110.40	7,110.40	7,110.40	7,110.40
	RED M.T.	3,934.03	3,934.03	3,934.03	3,934.03	3,934.03	3,934.03
	CASETA DE CELDAS	834.01	834.01	834.01	834.01	834.01	834.01
	GASTO FINANCIERO						
	UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO	4,309,084.94	4,309,084.94	4,309,084.94	4,309,084.94	4,309,084.94	4,309,084.94
IMPUESTO A LA RENTA	90,679.95	90,679.95	90,679.95	90,679.95	90,679.95	90,679.95	
DEPRECIACIÓN DE EQUIPOS	1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	
FLUJO DE CAJA	6,186,351.61	6,186,351.61	6,186,351.61	6,186,351.61	6,186,351.61	6,186,351.61	
PRESTAMO							
AMORTIZACION							
FLUJO DE CAJA FINANCIERO	S/. 6,186,351.61	S/. 6,186,351.61	S/. 6,186,351.61	S/. 6,186,351.61	S/. 6,186,351.61	S/. 6,186,351.61	
		Año 30	Año 31	Año 32	Año 33	Año 34	Año 35
		4,336,687.70	4,336,687.70	4,336,687.70	4,336,687.70	4,336,687.70	4,336,687.70
		2,168,343.85	2,168,343.85	2,168,343.85	2,168,343.85	2,168,343.85	2,168,343.85
		6,505,031.56	6,505,031.56	6,505,031.56	6,505,031.56	6,505,031.56	6,505,031.56
		228,000.00	228,000.00	228,000.00	228,000.00	228,000.00	228,000.00
		6,277,031.56	6,277,031.56	6,277,031.56	6,277,031.56	6,277,031.56	6,277,031.56
		1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61
		1,956,068.17	1,956,068.17	1,956,068.17	1,956,068.17	1,956,068.17	1,956,068.17
		7,110.40	7,110.40	7,110.40	7,110.40	7,110.40	7,110.40
		3,934.03	3,934.03	3,934.03	3,934.03	3,934.03	3,934.03
		834.01	834.01	834.01	834.01	834.01	834.01
		4,309,084.94	4,309,084.94	4,309,084.94	4,309,084.94	4,309,084.94	4,309,084.94
		90,679.95	90,679.95	90,679.95	90,679.95	90,679.95	90,679.95
		1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61
		6,186,351.61	6,186,351.61	6,186,351.61	6,186,351.61	6,186,351.61	6,186,351.61
		S/. 6,186,351.61	S/. 6,186,351.61				
		Año 36	Año 37	Año 38	Año 39	Año 40	
		4,336,687.70	4,336,687.70	4,336,687.70	4,336,687.70	4,336,687.70	
		2,168,343.85	2,168,343.85	2,168,343.85	2,168,343.85	2,168,343.85	
		6,505,031.56	6,505,031.56	6,505,031.56	6,505,031.56	6,505,031.56	
		228,000.00	228,000.00	228,000.00	228,000.00	228,000.00	
		6,277,031.56	6,277,031.56	6,277,031.56	6,277,031.56	6,277,031.56	
		1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	
		1,956,068.17	1,956,068.17	1,956,068.17	1,956,068.17	1,956,068.17	
		7,110.40	7,110.40	7,110.40	7,110.40	7,110.40	
		3,934.03	3,934.03	3,934.03	3,934.03	3,934.03	
		834.01	834.01	834.01	834.01	834.01	
		4,309,084.94	4,309,084.94	4,309,084.94	4,309,084.94	4,309,084.94	
		90,679.95	90,679.95	90,679.95	90,679.95	90,679.95	
		1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	1,967,946.61	
		6,186,351.61	6,186,351.61	6,186,351.61	6,186,351.61	6,186,351.61	
		S/. 6,186,351.61					

TDE	1.00%
VAN	17,303,067.21
TIR	1.50%

ANEXO A	
CENTRAL EOLICA FUNDO SAN CARLOS	
EMPRESA	GRUPO ARATO PERU S.A.
TECNOLOGIA	GENERACIÓN EOLICA
UBICACION	
DEPARTAMENTO	LA LIBERTAD
PROVINCIA	VIRU
DISTRITO	CHAO
ALTITUD	280 m.s.n.m
DATOS TECNICOS	
POTENCIA INSTALADA	9.9MW
PUNTO DE SALIDA	CELDA DE SALIDA Y PROTECCION 22.9KV
CANTIDAD DE AEROGENERADORES	3x3.3MW
TURBINA EOLICA	V112 (VESTAS)
POTENCIA DEL AEROGENERADOR	3.3MW
NIVEL DE TENSION DE TRANSFORMADORES	0.65/0.48 - 22.9KV (3600 KVA)
FACTOR DE POTENCIA DE GENERADORES	0.95
FACTOR DE PLANTA	40%
DIAMETRO DEL ROTOR	100m
AREA DE BARRIDO	9 852 m ²
NUMERO DE PALAS	3
DENSIDAD DE POTENCIA	2.99 m ² /kW
VELOCIDAD MINIMA DEL ROTOR	6.2 vuelta/min
VELOCIDAD MAXIMA DEL ROTOR	17.7 vuelta/min
VELOCIDAD MINIMA DE CONEXIÓN	2.5 m/s
VELOCIDAD NOMINAL DE CONEXIÓN	14 m/s
VELOCIDAD MAXIMA DE CONEXIÓN	25 m/s
ALTURA DE LA GONDOLA	84m
TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE 3600KVA	
TIPO DE POTENCIA	TRIFÁSICO
POTENCIA NOMINAL (KVA)	3600
TENSIÓN NOM. PRIMARIA (KV)	22.9
TENSIÓN NOM. SECUNDARIA (V)	650/480
FRECUENCIA (Hz)	60
REGULACIÓN DE TENSIÓN (%)	± 2 x 2.5
NIVEL DE RUIDO (Db)	< 55
GRUPO DE CONEXIÓN	DYN5
ALTURA DE TRABAJO(msnm)	1000

V112/3300 (Vestas)

Main data

Rated power: 3300 kW
Rotor diameter: 112 m
Old model
Class: IEC Ib/Ila
Offshore model: yes
Commissioning: 2013

Rotor

Number of blades: 3
Type: Pitch
Swept area: 9852 m²
Power density: 2.99 m²/kW
Maximum speed: 17,7 rd/min

Tower

Minimum hub height: 84 m
Maximum hub height: 140 m

Weights

Gearbox

Gearbox: yes
Stages: 3
Gear ratio: 94,4

Wind speeds

Cut-in wind speed: 2,5 m/s
Rated wind speed: 14 m/s
Cut-off wind speed: 25 m/s

Generator

Maximum speed: 1550 rd/min
Voltage: 650 V



ANEXO C

**DEMANDA MÁXIMA PARA LA ELECTRIFICACION DEL LOTE SAN CARLOS DE PROPIEDAD DE LA EMPRESA ARATO PERU
LÍNEA: VALLE DE CHAO, SECTOR I, I ETAPA DEL DISTRITO DE CHAO, PROVINCIA DE VIRU, DEPARTAMENTO DE LA LÍNEA**

DEMANDA MÁXIMA DE POTENCIA						
Para satisfacer la Demanda Máxima Total se requiere						
de una Potencia de : 2,992.82 KW						
CALCULO DE LA DEMANDA MAXIMA						
Item	Descripción	Cant.	PI (HP)	PI (KW)	F.S	Demanda (kW)
Canal de Succion San Carlos						
1	Bomba de 60 HP	3.00	180.00	134.28	0.80	107.42
2	Bomba de 75 HP	2.00	150.00	111.90	0.80	89.52
Rebomero Modulo 6						
3	Bomba de 100 HP	2.00	200.00	149.20	0.80	119.36
Primer Rebomero Modulo 4 y 8A						
4	Bomba de 100 HP	1.00	100.00	74.60	0.80	59.68
5	Bomba de 175 HP	1.00	175.00	130.55	0.80	104.44
Segundo Rebomero Modulo 4						
6	Bomba de 75 HP	2.00	150.00	111.90	0.80	89.52
Filtrado 8						
7	Bomba de 125 HP	2.00	250.00	186.50	0.80	149.20
8	Bomba de 40 HP	2.00	80.00	59.68	0.80	47.74
9	Bomba de 20 HP	2.00	40.00	29.84	0.80	23.87
10	Bomba de 75 HP	3.00	225.00	167.85	0.80	134.28
Valle Azul - Arándano						
11	Bomba de 90 HP	4.00	400.00	298.40	0.80	238.72
12	Alumbrado	1.00		50.00	0.80	40.00
Canal de Succión Montegrande						
13	Bomba de 75 HP	2.00	150.00	111.90	0.83	92.72
Filtrado Modulo 5						
14	Bomba de 100 HP	2.00	200.00	149.20	0.80	119.36
15	Bomba de 125 HP	3.00	375.00	279.75	0.80	223.80
16	Bomba de 150 HP	2.00	300.00	223.80	0.80	179.04
17	Bomba de 175 HP	2.00	350.00	261.10	0.80	208.88
18	Bomba de 250 HP	2.00	500.00	373.00	0.80	298.40
19	Bomba de 7.5 HP	3.00	22.50	16.79	0.80	13.43
20	Bomba de 5 HP	4.00	20.00	14.92	0.80	11.94
21	Bomba de 11.5 HP	3.00	34.50	25.74	0.80	20.59
22	Bomba de 3 HP	2.00	6.00	4.48	0.80	3.58
23	Bomba de 1 HP	2.00	2.00	1.49	0.80	1.19
24	Bomba de 4 HP	3.00	12.00	8.95	0.80	7.16
25	Agitador 1.5 HP	3.00	4.50	3.36	0.80	2.69
26	Bomba de 4.5 HP	2.00	9.00	6.71	0.80	5.37
Filtrado Modulo 5						
27	Bomba de 100 HP	1.00	100.00	74.60	0.80	59.68
28	Bomba de 0.73 HP	3.00	2.19	1.63	0.80	1.31
Blueberries - Filtrado 2						
29	Bomba de 5 HP	2.00	10.00	7.46	0.80	5.97
30	Agitador 2 HP	3.00	6.00	4.48	0.80	3.58
31	Bomba de 7.5 HP	4.00	30.00	22.38	0.80	17.90
32	Bomba de 120 HP	3.00	360.00	268.56	0.80	214.85
33	Bomba de 60 HP	1.00	60.00	44.76	0.80	35.81
34	Bomba de 4 HP	2.00	8.00	5.97	0.80	4.77
35	Bomba de 0.32 HP	9.00	2.88	2.15	0.80	1.72
36	Bomba de 4.46 HP	2.00	8.92	6.65	0.80	5.32
Reserva						
37	Reserva					250.00
TOTAL (KW)						2,992.82

ANEXO E

VELOCIDADES DE VIENTO EN HORAS

ALTURA 11 METROS							
Hora/Día	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	PROMEDIO
01:00	11.533	12.258	11.710	10.964	11.226	11.533	11.537
02:00	11.267	12.065	11.387	11.964	11.645	12.100	11.738
03:00	10.967	11.161	11.516	11.357	11.935	11.567	11.417
04:00	11.967	10.581	11.742	11.893	11.419	11.867	11.578
05:00	11.167	11.613	11.258	11.464	11.516	11.733	11.459
06:00	12.100	12.323	12.258	11.750	11.452	11.500	11.897
07:00	11.367	11.871	11.258	11.393	11.548	11.600	11.506
08:00	11.967	11.323	10.484	12.000	11.194	11.033	11.333
09:00	11.267	11.935	12.258	10.679	11.323	10.900	11.394
10:00	12.133	12.000	11.645	11.786	11.452	11.500	11.753
11:00	11.733	10.935	11.226	11.571	11.903	11.867	11.539
12:00	11.500	12.387	12.355	11.714	11.355	11.400	11.785
13:00	11.467	11.613	11.548	11.107	11.903	11.800	11.573
14:00	11.167	11.290	11.742	11.500	11.452	11.533	11.447
15:00	11.400	11.742	11.290	11.786	10.806	10.400	11.237
16:00	11.867	11.613	11.903	11.571	11.161	11.300	11.569
17:00	12.500	11.194	10.968	10.643	11.806	12.267	11.563
18:00	11.600	11.516	10.903	12.107	11.806	11.200	11.522
19:00	11.833	12.355	11.258	11.143	11.645	11.433	11.611
20:00	11.067	11.710	11.129	11.107	11.258	11.367	11.273
21:00	11.100	12.258	10.806	11.750	10.839	11.900	11.442
22:00	11.767	11.355	11.581	11.679	11.935	11.467	11.630
23:00	11.167	12.258	11.774	11.286	11.387	11.833	11.618
00:00	11.100	11.774	11.613	11.679	11.161	11.733	11.510
ALTURA 13 METROS							
Hora/Día	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	PROMEDIO
01:00	11.200	11.548	12.484	11.857	12.194	11.833	11.853
02:00	11.267	12.516	12.387	11.536	12.161	12.367	12.039
03:00	11.000	11.677	11.742	11.643	12.516	11.700	11.713
04:00	11.767	11.290	12.548	12.286	11.613	11.967	11.912
05:00	11.433	11.484	12.290	12.071	12.258	12.067	11.934
06:00	11.700	11.903	12.774	12.250	11.839	12.033	12.083
07:00	11.133	11.871	11.806	12.214	12.226	11.567	11.803
08:00	11.700	11.871	12.097	11.821	11.484	11.867	11.807
09:00	11.700	11.000	11.774	12.071	12.032	11.933	11.752
10:00	11.467	11.129	12.581	12.179	12.258	11.800	11.902
11:00	11.467	11.806	11.484	11.571	12.000	12.033	11.727
12:00	11.500	11.806	12.516	11.643	11.387	12.333	11.864
13:00	11.100	11.710	12.258	11.857	11.677	12.433	11.839
14:00	11.533	10.613	11.419	12.179	12.613	11.967	11.721
15:00	12.533	10.452	12.161	11.964	11.645	11.033	11.632
16:00	13.067	11.645	12.097	11.393	11.613	12.167	11.997
17:00	13.567	11.097	11.645	11.607	11.806	11.533	11.876
18:00	13.267	10.806	12.484	11.964	12.065	12.500	12.181
19:00	12.800	12.000	12.581	12.143	12.065	12.133	12.287
20:00	12.300	11.419	11.258	11.821	11.452	11.133	11.564
21:00	12.333	10.968	12.452	11.321	11.774	11.567	11.736
22:00	11.833	11.387	12.323	11.893	11.968	12.167	11.928
23:00	11.467	11.161	12.065	11.536	12.419	11.933	11.763
00:00	11.700	12.129	12.065	11.714	12.129	12.667	12.067