



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
**PIRHUA**

# METODOLOGÍA PARA ESTUDIAR LA FACTIBILIDAD Y VIABILIDAD DE UNA SOLUCIÓN EÓLICA OFFGRID EN PARACAS

Jorge Felipa-Guardia

Lima, octubre de 2018

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas

Felipa, J. (2018). *Metodología para estudiar la factibilidad y viabilidad de una solución eólica offgrid en Paracas* (Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial y de Sistemas). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Lima, Perú.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](https://repositorio.institucional.pirhua.edu.pe/)

**UNIVERSIDAD DE PIURA**

FACULTAD DE INGENIERÍA



**“Metodología para estudiar la factibilidad y viabilidad de una solución eólica  
offgrid en Paracas”**

**Tesis para optar por el Título de  
Ingeniero Industrial y de Sistemas**

**Jorge Luis Felipa Guardia**

Asesor: Mg. Maria Felipa Cañas Cano

Lima, Octubre 2018



Dedico este trabajo de tesis a mis padres, quienes me brindaron educación y velaron porque nunca me faltara nada y a mi abuela, a quien le hice la promesa de concluir con este trabajo y recibirme como ingeniero.



## **Prólogo**

El desarrollo sostenible es un concepto que tarde o temprano deberá de aplicarse a gran escala en todo el país para reducir la vulnerabilidad al cambio climático inminente debido al calentamiento global que tienen los países a nivel mundial y con incidencia en los países del tercer mundo.

Puesto que el Perú es un país tercermundista, el desarrollo sostenible toma más importancia todavía ya que una vez correctamente aplicado en todos los rubros económicos del país (pesca, agricultura, industria, minería) seremos capaces de sostener nuestro crecimiento sin comprometer los recursos naturales para las futuras generaciones.

Por esta razón, se ha realizado este trabajo con un enfoque en el desarrollo sostenible que puede llegar a desarrollar el Perú con las políticas medioambientales y energéticas adecuadas.

Para tal efecto, se ha seleccionado la zona de Paracas y, mediante la revisión de sus particularidades se establece la posibilidad de la implementación de una solución eólica off-grid a pequeña escala.

La revisión de fuentes bibliográficas, entrevistas con especialistas y con expertos del sector, puntos de vista de climatólogos y visitas a la zona seleccionada han permitido realizar el siguiente trabajo de investigación.

Finalmente, quiero agradecer a mi asesora Mg. María Cañas y al Dr. Alejandro Ancajima por el apoyo en la estructuración y corrección del presente trabajo; al Ing. Adolfo Rojas por el apoyo en las fases finales del trabajo que implicaban más que todo el análisis de viabilidad; y a mis padres por el apoyo que me brindaron durante el tiempo que estuve realizando este trabajo.



## **Resumen**

El presente trabajo tiene como objetivo principal estudiar y evaluar el recurso eólico y comprobar las condiciones climatológicas de la zona de Paracas seleccionada con el propósito de implementar una solución eólica que resulte viable técnica y económicamente utilizando una fuente de energía limpia.

La metodología empleada consistió en la recolección de data meteorológica de la zona (velocidad y dirección de los vientos), para analizar las condiciones de la zona, a modo de comprobar si cumplía o no con las condiciones mínimas necesarias para el correcto funcionamiento de los aerogeneradores. Luego se debió evaluar si la zona era sostenible climatológicamente, lo que significaba que la zona debía seguir teniendo condiciones aptas para el funcionamiento de la solución eólica a largo plazo. Una vez comprobados estos datos, se procedió a desarrollar la propuesta en la zona.

Los resultados fueron en gran medida positivos, pues otorgaron indicios de que las Antillas de Paracas es un lugar factible para la instalación de una solución eólica. Pero, si bien el lugar resultó factible, al momento de evaluar el funcionamiento de los aerogeneradores surgió un problema. Este problema consistió en que no se tenían mediciones automáticas de la zona, las cuales terminaron resultando ser sumamente importantes al momento de la evaluación de la producción energética. Por este motivo, se tuvieron que cambiar algunos objetivos planteados, y en lugar de hacer el análisis de viabilidad se optó por analizar los puntos más importantes a considerar al momento de evaluar la implementación de una solución eólica offgrid en Paracas o cualquier otra zona del país.

Al finalizar el trabajo, se pudieron cumplir todos los objetivos planteados al inicio de la investigación. Además, se pudo desarrollar un nuevo enfoque para con este tipo de tecnologías, que no es tan sencillo como puede parecer en primera instancia.

Adicionalmente, pudo concluir que el nivel de análisis y complejidad que tiene el análisis de viabilidad de una solución eólica es elevado, tanto por aspectos técnicos y teóricos. Esto además refleja lo complicado que es llevar la teoría a la práctica, la ingeniería a la realidad, el plasmar una idea en el mundo real. Lo complicado que es hacer ingeniería.

Como recomendación general, la instalación de una torre anemométrica automática en la zona para la medición vientos. Y por qué no, en base a los atlas eólicos citados en el trabajo, la instalación de torres anemométricas en todo el litoral peruano a fin de tener mapeado más a detalle un mapa de potencial energético del Perú.



## Índice General

Introducción.....	1
Planteamiento de la Investigación .....	3
1.1. Caracterización del problema .....	3
1.1.1. Cambio climático y calentamiento global .....	3
1.1.2. Eficiencia energética .....	4
1.2. Objetivos de la investigación .....	7
1.2.1. Objetivo general .....	7
1.2.2. Objetivos específicos.....	7
1.3. Justificación de la propuesta .....	7
Sustento teórico .....	9
2.1. Antecedentes .....	9
2.1.1. Precursores de energía renovable .....	9
2.1.2. Energía eólica.....	9
2.2. Situación actual.....	10
2.2.1. Energía renovable en América Latina .....	10
2.2.2. Energía renovable en el Perú.....	12
2.3. Fundamento teórico .....	17
2.3.1. Aerogeneradores.....	17
2.3.2. Ley de Betz.....	18
2.3.3. Tipos de aerogeneradores.....	19
Metodología.....	23
3.1. Descripción de la propuesta .....	23
3.1.1. Diseño y técnicas.....	23
3.1.2. Ventajas y desventajas de la propuesta .....	25

3.1.3. Sostenibilidad energética.....	26
3.2. Plan de análisis.....	27
Resultados.....	29
4.1. Data histórica: Velocidad de vientos .....	29
4.2. Proyección de condiciones climatológicas .....	36
Análisis y discusión de resultados .....	45
5.1. Viabilidad del proyecto.....	45
5.1.1. Ubicación de la solución eólica.....	45
5.1.2. Tipos de planta en función a su tamaño y sus finalidades .....	49
5.1.3. Solución eólica elegida.....	50
5.2. Consideraciones a tener en cuenta en el aspecto legal.....	50
5.3. Consideraciones a tener en cuenta en el aspecto social-medioambiental .....	50
5.4. Consideraciones a tener en cuenta en el aspecto técnico .....	56
5.4.1. Mediciones de viento .....	56
5.4.2. Rosa de vientos.....	57
5.4.3. Aerogeneradores.....	57
5.4.4. Coeficiente de potencia y Ley de Betz.....	59
5.4.5. Energía producida por un aerogenerador .....	59
5.4.6. Otros componentes que acompañan al aerogenerador .....	61
5.4.7. Distribución de los aerogeneradores .....	62
5.5. Consideraciones a tener en cuenta en el aspecto económico-financiero .....	64
5.5.1. Potencia del proyecto .....	64
5.5.2. Demanda a atender .....	64
5.5.3. Inversión y tiempo de retorno .....	65
5.6. Guía para la implementación de una solución eólica off grid .....	78
5.6.1. Zona propuesta .....	78
5.6.2. Potencia instalada.....	78
5.6.3. Aerogeneradores.....	78
5.6.4. Componentes de la solución eólica .....	79
5.6.5. Distribución de aerogeneradores .....	79
5.6.6. Logística e instalación.....	80
5.6.7. Puesta en operación.....	80
5.6.8. Operación y mantenimiento .....	80

Conclusiones y recomendaciones .....	83
6.1. Conclusiones .....	83
6.2. Recomendaciones .....	84
Bibliografía.....	87
Anexos.....	91
Anexo 1: Ley de Concesiones Eléctricas, Disposiciones Generales .....	91
Anexo 2: Ficha técnica Parque Eólico Marcona.....	94
Anexo 3: Ficha técnica Central Eólica Cupisnique .....	95
Anexo 4: Ficha técnica Central Eólica Talara .....	96
Anexo 5: Ficha técnica Parque Eólico Tres Hermanas.....	97
Anexo 6: Ficha técnica Central Eólica Wayra I.....	98
Anexo 7: Ficha técnica Central Eólica Huambos .....	99
Anexo 8: Ficha técnica Central Eólica Duna.....	100
Anexo 9: Atlas Eólico de Ica (2008) .....	101
Anexo 10: Velocidad media anual a 25m (atlas eólico 2016).....	103
Anexo 11: Factores de planta de las plantas de generación del Perú.....	104
Anexo 12: Hoja técnica del aerogenerador Aeolos-50KW .....	105



## Índice de Figuras

Figura 1: Cambios en la energía global al año 2040 según Escenario de Desarrollo Sostenible .....	11
Figura 2: Partes de un aerogenerador .....	18
Figura 3: Aerogenerador con rotor Darrierus .....	19
Figura 4: Aerogenerador con rotor Giromill .....	20
Figura 5: Aerogenerador con rotor Windside.....	21
Figura 6: Aerogenerador Tripala .....	21
Figura 7: Aerogenerador Bipala .....	22
Figura 8: Aerogenerador Monopala .....	22
Figura 9: Aerogenerador Tripala .....	24
Figura 10: Corrientes de aire en la costa de Paracas .....	25
Figura 11: Atlas Eólico de Paracas.....	30
Figura 12: Estación Villacuri en el mapa de Pisco.....	30
Figura 13: Puntos referenciales A, B y C ubicados en Google Earth.....	32
Figura 14: Atlas eólico superpuesto con Google Earth .....	32
Figura 15: Modelo de extrapolación vertical entre niveles intermedios .....	34
Figura 16: Velocidad media anual a 75m.....	35
Figura 17: Atlas Eólico (2016) superpuesto con Google Earth.....	35
Figura 18: Curva de Potencia del modelo SWT 108-2.3.....	39
Figura 19: Curva de Potencia del modelo SWT 108-3.15.....	39
Figura 20: Parque Eólico Tres Hermanas ubicado en el atlas .....	41
Figura 21: Área cruzada con bases de datos para análisis de superposición.....	46
Figura 22: Ubicación desde donde se tomaron las imágenes .....	47
Figura 23: Fotografías de la zona escogida .....	48
Figura 24: Fotografía de la zona escogida.....	48
Figura 25: Producción de 1 MW con uso de combustibles fósiles.....	51
Figura 26: Complejo Eólico Wirfus, Alemania.....	52
Figura 27: Impacto paisajístico de un parque eólico .....	55
Figura 28: Distribución de probabilidades de Weibull.....	56
Figura 29: Rosa de vientos de Brest, en la Costa Atlántica de Francia.....	57
Figura 30: Curva de potencia del aerogenerador Aeolos-H 20 KW.....	58

Figura 31: Atlas eólico a 25m superpuesto con la zona propuesta.....	59
Figura 32: Energía producida por un aerogenerador en un tiempo T.....	60
Figura 33: Potencia entregada por un aerogenerador en un tiempo T.....	60
Figura 34: Diagrama simple de una solución eólica.....	62
Figura 35: Niveles de ruido por cercanía a un aerogenerador.....	63
Figura 36: Ejemplo de disposición de aerogeneradores .....	63
Figura 37: Cálculo de diámetro del aerogenerador .....	70

## Índice de Cuadros

Cuadro 1: Ventajas y desventajas del uso de energía renovable .....	6
Cuadro 2: Resumen de la primera subasta RER.....	13
Cuadro 3: Resumen de la segunda subasta RER .....	13
Cuadro 4: Resumen de la cuarta subasta RER .....	14
Cuadro 5: Reforma de Marco Regulatorio de las RER .....	15
Cuadro 6: Ventajas y desventajas de la propuesta.....	25
Cuadro 7: Velocidad de Vientos en la Pampa de Villacuri .....	31
Cuadro 8: Cuadro resumen de Requerimientos .....	42
Cuadro 9: Comparativo entre diferentes opciones para una planta eólica .....	49
Cuadro 10: Consumo promedio de hogar básico .....	64
Cuadro 11: Presupuesto inicial de una solución eólica .....	65
Cuadro 12: Presupuesto de servicios del proyecto .....	66



## Índice de Tablas

Tabla 1: Promedio Anual de Mediciones .....	33
Tabla 2: Formato de datos tomado del 01 de Junio.....	38
Tabla 3: Formato de datos para obtener la velocidad de los aerogeneradores .....	40
Tabla 4: Potencia Promedio diaria de los últimos 3 meses .....	40
Tabla 5: Tabla de referencias de niveles sonoros .....	54
Tabla 6: Descripción del Grupo Electrónico .....	67
Tabla 7: Calculo del requerimiento y costo anual del diésel.....	67
Tabla 8: Flujo económico para un grupo electrógeno .....	68
Tabla 9: Costo total del Proyecto y Periodo de retorno.....	69
Tabla 10: Datos generales del Proyecto .....	69
Tabla 11: Calculo de la Potencia del Aerogenerador .....	70
Tabla 12: Calculo de energía generada por aerogenerador seleccionado.....	71
Tabla 13: Calculo del sistema de baterías .....	73
Tabla 14: Valorización inicial del proyecto .....	74
Tabla 15: Comparando ratios de ambas tecnologías .....	75
Tabla 16: Flujo económico para un Sistema Eólico con Baterías .....	76
Tabla 17: Costo total Solución Eólica con baterías y tiempo de retorno .....	76
Tabla 18: Comparando el LCOE de ambas tecnologías.....	77

## Índice de Gráficos

Gráfico 1: Calculando línea de tendencia para Velocidad Media Mensual .....	43
Gráfico 2: Curva de demanda de la comunidad autoabastecida.....	65



## **Introducción**

El trabajo de investigación consiste en un estudio de factibilidad de la zona de Paracas, donde se comprobará si las condiciones del lugar son, en primer lugar, favorables para la implementación de una solución eólica off grid. Una vez obtenidos los resultados del estudio de factibilidad, se hará un análisis de viabilidad legal, técnica, económica, social y medioambiental donde se verá más a detalle cómo se va a realizar la implementación de la solución eólica off grid.

El desarrollo de la investigación consta de 8 capítulos, los cuales están dispuestos de tal forma que se preserve el orden y sea de fácil entendimiento para el lector.

El capítulo 1, explica el principal problema que da pie al inicio de la investigación, los motivos que llevaron al autor a realizar este trabajo y los objetivos que se pretenden alcanzar una vez finalizado el trabajo.

El capítulo 2, contiene el marco teórico sobre el cual está apoyado todo el trabajo de investigación. Esto incluye una breve descripción de lo que es la energía renovable con énfasis en la energía eólica, la situación actual de la energía renovable en el Perú y el principio del funcionamiento de los dispositivos que son usados en las plantas y/o soluciones de energía que usan este tipo de recursos energéticos renovables.

El capítulo 3, describe la metodología que será usada en la investigación del trabajo. Dentro de la metodología se hará una breve descripción del diseño de la propuesta y el plan de análisis a seguir una vez se disponga de la información meteorológica recolectada.

El capítulo 4, contiene los resultados obtenidos siguiendo el plan de análisis propuesto en el capítulo 3. También se verán las herramientas matemáticas y estadísticas utilizadas para llegar a los resultados mencionados anteriormente.

En el capítulo 5, se verá el análisis de los resultados obtenidos en el capítulo 4 y, dependiendo de estos resultados, se procederá a realizar el análisis de viabilidad tomando en cuenta consideraciones legales, técnicas, económicas, sociales y medioambientales para una posible instalación de la solución eólica off grid a futuro. También estará sintetizada una guía redactada en base a los lineamientos anteriormente ya explicados.

Finalmente, en el capítulo 6, estarán sintetizadas las conclusiones y recomendaciones del autor, exponiendo en base a los estudios de factibilidad y viabilidad de por qué

resulta atractiva la ejecución de un proyecto real en base a la investigación realizada en este trabajo.

Los capítulos 7 y 8, vienen a ser las fuentes gráficas y bibliográficas sobre las cuales se ha apoyado el autor con motivo de la investigación.

# **Capítulo 1**

## **Planteamiento de la Investigación**

En este capítulo se explica cómo los problemas energéticos actuales y el calentamiento global han dado origen al planteamiento de la investigación que se desarrolla a lo largo de todo el trabajo. Asimismo, se plantean los objetivos a lograr, tanto los objetivos generales como específicos.

### **1.1. Caracterización del problema**

El uso excesivo, irresponsable y desmedido de fuentes de energía no renovable trae como consecuencia altas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen al calentamiento global (CG) y al cambio climático (CC), y a su vez alteran el proceso natural que se da en la tierra llamado efecto invernadero (EI). Hay que considerar que el incremento en el uso de las renovables alrededor del mundo se ha dado principalmente para combatir el cambio climático (CC), por lo que se podría decir que ya estamos en una carrera contra el tiempo.

#### **1.1.1. Cambio climático y calentamiento global**

La variación global del clima en la tierra es denominada como cambio climático (CC). Este cambio viene dado por causas naturales y aquellas derivadas de la acción del hombre (industria, agricultura, urbanización), y se producen sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc. El término efecto invernadero (EI) es referido como la retención del calor del Sol en la atmósfera de la tierra por parte de una capa de gases en la atmósfera (GEI). Sin estos gases la vida como la conocemos no sería posible, ya que el planeta tendría temperaturas muy bajas. Entre estos gases se encuentran el dióxido de carbono, el óxido nitroso y el metano, que son liberados por la industria, la agricultura y la combustión de combustibles fósiles. El mundo industrializado ha conseguido que la concentración de estos gases haya aumentado casi en un tercio desde el siglo pasado, cuando, sin la actuación humana, la naturaleza se encargaba de equilibrar las emisiones.

El cambio climático nos afecta a todos. El impacto potencial es muy grande, con proyecciones que indican una falta de agua potable, grandes cambios en las condiciones para la producción de alimentos y un

aumento en los índices de mortalidad debido a inundaciones, tormentas, sequías y olas de calor. En un panorama general, el cambio climático no es sólo un fenómeno ambiental, sino que acarrea consecuencias económicas y sociales más profundas de lo que se piensa. Los países más pobres, que están peor preparados para enfrentar cambios rápidos, serán los que sufrirán las peores consecuencias (Ministerio para la transición ecológica).

El Perú muestra una gran vulnerabilidad ante variaciones climáticas drásticas, siendo evidencia de ello las pérdidas económicas que implicaron fenómenos como el Niño y, sin retroceder tanto en el tiempo, el Niño Costero que afectó a todo el centro-norte del país en el período de Marzo-Mayo del año 2017. Así, bajo un escenario pasivo los efectos del cambio climático podrían ser incluso superiores ya que los efectos se potenciarían al involucrarse otros mecanismos que afectan negativamente el crecimiento; como la pérdida de disponibilidad de recursos hídricos (para consumo humano y generación energética) debido al retroceso glaciar, la pérdida de productividad primaria agrícola y pesquera producto del aumento de la temperatura del mar, la pérdida de biodiversidad, y efectos sobre la salud humana (Vargas, 2009).

### 1.1.2. Eficiencia energética

Definimos eficiencia energética como el uso eficiente de la energía. Un aparato, un proceso o instalación es energéticamente eficiente cuando consume una cantidad inferior a la media de energía para realizar una actividad. Una persona, servicio o producto eficiente comprometido con el medio ambiente, además de necesitar menos energía para realizar el mismo trabajo, también busca abastecerse, si no por completo, con la mayor cantidad posible de energías renovables (también llamadas energías alternativas).

La eficiencia energética busca **proteger el medio ambiente** mediante la reducción de la intensidad energética y habituando al usuario a consumir lo necesario y no más. Las emisiones de CO<sub>2</sub> que enviamos a la atmósfera son cada vez mayores y, por ese motivo, la eficiencia energética se ha convertido en una forma de cuidar al planeta ya que, no solo está en usar electrodomésticos que consuman menos, sino en que **seamos nosotros quienes consumamos menos y de forma más “verde”**.

Sin embargo, uno de los principales problemas de la eficiencia energética es que todavía es una elección. Actualmente no todos los productos que usamos son eficientes; podemos verlo en las etiquetas de eficiencia energética de muchos electrodomésticos que compramos, y eso es porque la alternativa eficiente siempre es algo más cara que la que no lo es, como pasa también con las bombillas tradicionales y las luces LED.

Una de sus principales aplicaciones en el Perú es la instalación de cocinas limpias más eficientes en los poblados rurales de la sierra peruana en reemplazo de la cocina tradicional con leña, la cual es altamente perjudicial para la salud de los pobladores debido al humo y a

las emisiones contaminantes que se producen. Estas cocinas “limpias” o cocinas mejoradas reducen las emisiones de GEI en un 90%.

#### **1.1.2.1. Recursos naturales no renovables**

Los recursos naturales no renovables por excelencia son los combustibles fósiles. Un combustible fósil es aquel que procede de la biomasa producida hace millones de años y que sufrió varios procesos de transformación (presión, temperatura, tiempo) hasta la formación de sustancias de gran poder calorífico como el carbón, el petróleo o el gas natural. Varios de estos combustibles podrían ser considerados a priori como biomasa, pero debido al tiempo que toma su formación y asentamiento se incluye entre las energías fósiles (Mann, 2007).

La mayor parte de la energía empleada actualmente a nivel mundial proviene de los combustibles fósiles. Se utilizan en el transporte, para generar electricidad, para calentar ambientes, para cocinar, etc. Las ventajas que ofrecen estos combustibles es que son de fácil extracción (en la mayoría de los casos), su gran disponibilidad (dependiendo del lugar), su bajo coste, alto poder calorífico y que son altamente acumulables y transportables.

Estas fuentes de energía a primera vista pueden resultar ser muy provechosas, sin embargo, las desventajas de su uso a corto, mediano y largo plazo son las razones por las cuales se están comenzando a utilizar energías limpias en diversas partes del mundo. Dentro de estas desventajas tenemos que su uso produce la emisión de gases que resultan tóxicos para la vida (flora y fauna), además de gases no naturales que son los principales agentes del efecto invernadero. También se produce un agotamiento de las reservas a corto o mediano plazo y al ser utilizados contaminan más que otros productos que podrían haberse utilizado en su lugar.

Y es que, al ser limitados, su acceso y principalmente, su control suele ser la causa de varios problemas sociales que afectan principalmente a los países del tercer mundo, tales como conflictos armados, explotación infantil, corrupción de gobiernos, trata de personas, operaciones sin ningún tipo de control, etc. Evidentemente, esto no quiere decir que debemos reducir su uso a cero, sino que se deberían implementar políticas para regular el uso que se haga de estos combustibles. Adicionalmente, al disminuir el uso de estos combustibles también disminuye el riesgo de un potencial desastre ecológico tales como son el derramamiento de crudo o petróleo en mares, ríos y bosques; y la reducción en el uso de estos combustibles contribuye a la lucha contra el cambio climático.

#### **1.1.2.2. Ventajas y desventajas de la energía renovable**

Se denomina comúnmente a la energía renovable como aquella que proviene de fuentes inagotables o cuyo tiempo de

reposición natural sea lo suficientemente rápido para que entre en la categoría de renovable.

Para que se tenga una mejor vista de lo ventajoso que resulta el uso de este tipo de energías se muestra en el cuadro 1, un comparativo entre las ventajas y desventajas de su empleo.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se trata de energías de fuentes que son inagotables, como el sol, el viento o el agua, y además sus distintos orígenes permiten su aplicación en todo tipo de escenarios.</li> <li>• Son más respetuosas con el medio ambiente, no contaminan y representan la alternativa de energía más limpia hasta el momento.</li> <li>• Son fáciles de dismantelar y no requieren custodiar sus residuos durante millones de años, como ocurre por ejemplo con las energías nucleares.</li> <li>• Hace que la región sea más autónoma, ya que desarrolla en la misma una política de autoabastecimiento y crecimiento sostenible. Además, ayuda a desarrollar la industria y la economía de la región.</li> <li>• Generación de puestos de trabajo en zonas rurales, donde la energía renovable ha surgido como la mejor solución para que llegue luz a los lugares más remotos del país.</li> <li>• Este tipo de energía contribuye poco al cambio climático y al efecto invernadero debido a su baja o nula emisión de gases.</li> <li>• Bajo costo de operación y mantenimiento respecto a las tecnologías convencionales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La inversión inicial de los proyectos supone una alta cantidad de dinero, lo cual a primera vista, puede desanimar a los inversionistas al hacerlas parecer no rentables. Aunque en la actualidad esta condición se ha visto enormemente disminuida con la reducción de los precios de estas tecnologías.</li> <li>• La variabilidad y disponibilidad de estas energías suele ser un problema a considerar, ya que no siempre son regulares, tanto la luz solar (energía fotovoltaica) como las corrientes de aire (energía eólica). Sin embargo, los avances tecnológicos y las mejoras en las eficiencias de los equipos y en los sistemas de almacenamiento harán que no pesen tanto estos problemas.</li> <li>• Dependiendo del tipo de energía, algunas necesitan un gran espacio para desarrollarse óptimamente.</li> <li>• Esto supone un impacto paisajístico en el lugar donde se implementan, razón por la cual muchas veces se descartan estos proyectos.</li> <li>• En caso de sobreproducción, estas energías no cuentan con un sistema de almacenamiento tan desarrollado como los de las energías convencionales.</li> </ul>

*Cuadro 1: Ventajas y desventajas del uso de energía renovable*

*Fuente: (Erenovable)*

Estas ventajas y desventajas pueden variar significativamente dependiendo de si se trata de la implementación de una solución renovable grande o pequeña.

La principal meta que se debe establecer a nivel nacional es lograr que la electrificación de la energía en el Perú abarque la mayoría de la matriz energética, es decir, obtener energía a partir de la electricidad y no de fuentes convencionales como el diésel, gas, termoeléctricas, carbón, etc. Esto se puede lograr implementando, por ejemplo, el uso de autos eléctricos o aplicaciones termosolares para el calentamiento del agua (esto se hace desde hace más de 30 años en Arequipa).

Con el nuevo reglamento de generación distribuida en fase de comentarios, se hará más común el uso de energías bajas en carbono (solar y eólica) para autoconsumo tanto a nivel industria como en el hogar.

## **1.2. Objetivos de la investigación**

A continuación se definirán los objetivos que el autor pretende alcanzar al terminar la investigación, tanto el objetivo general como los objetivos específicos.

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar las condiciones de la zona de Las Antillas de Paracas para evaluar la implementación de una solución eólica que resulte de la previa evaluación del recurso eólico (los ya conocidos vientos Paracas), a modo de aprovechar los recursos naturales de la región para posible beneficio de la población regional.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Estudio de factibilidad, en base a una búsqueda y confirmación de data histórica, del óptimo funcionamiento de una solución eólica en Las Antillas de Paracas.
- Definir consideraciones para un posible estudio de viabilidad, tomando en cuenta limitaciones técnicas, económicas y de tiempo para la implementación de la solución eólica en Las Antillas de Paracas.
- Elaboración de una guía de implementación de una solución eólica en la zona de Las Antillas de Paracas o cualquier otra zona de interés cercana.

## **1.3. Justificación de la propuesta**

La propuesta que se hace resulta relevante porque nos demuestra lo versátil y pone en valor la riqueza de nuestros recursos energéticos renovables dentro del territorio peruano para generar distintos tipos de energía, tales como la energía geotérmica, hidroeléctrica, eólica y fotovoltaica. El país ofrece condiciones que pueden ser aprovechadas en relación a estas fuentes de energía. Asimismo, la propuesta nace con la idea de promover e impulsar soluciones a las actuales fuentes de energía renovable del país, aprovechando el potencial energético que puede ofrecer un país multiclímático como lo es el Perú.

Se ha elegido Las Antillas de Paracas debido a su proximidad al mar y el terreno sin obstáculos en la cual se encuentra (pampas costeras). Estas dos características favorecen (se demostrará más adelante) a corrientes de viento que podrían considerarse para el uso de la energía eólica. Y también, cabe mencionar el potencial que tiene el departamento de Ica teniendo como antecedentes los parques eólicos Tres Hermanas y Marcona.

Además, resulta relevante para la zona puesto que, al quedar relativamente cerca de un área protegida tal como lo es la Reserva Nacional de Paracas demostramos que en el Perú es posible combinar conceptos de preservación del medioambiente con un desarrollo sostenible a futuro.

Este desarrollo sostenible ofrecerá, un potencial abastecimiento autosostenido para el pueblo de Paracas, favoreciendo a los miembros de comunidades campesinas y nativas para complementar o suministrar energía limpia a sus procesos productivos en un futuro, implementando conceptos como la eficiencia energética con el uso de las energías renovables a nivel de comunidades.

## **Capítulo 2**

### **Sustento teórico**

En este capítulo se desarrolla la base sobre la cual se inicia la investigación, es decir, los precursores de la energía renovable y sus primeras aplicaciones.

También se hará una breve explicación acerca de la energía renovable en América Latina, la situación energética en el Perú y el papel que desempeña la energía renovable a nivel nacional. Adicionalmente, mencionaremos la información más relevante acerca de las diferentes plantas de energía eólica que se encuentran en funcionamiento y las que pronto estarán en operación.

Por último, se explicará el principio de funcionamiento que los aerogeneradores, así como los tipos que existen.

#### **2.1. Antecedentes**

##### **2.1.1. Precursores de energía renovable**

Las aplicaciones más antiguas radican principalmente en el empleo de fuentes energéticas renovables en el transporte, teniendo como ejemplo principal a la navegación tradicional que en esa época empleaba la energía eólica de una manera práctica para impulsar los navíos.

La posterior aparición de los molinos de viento reforzaba el concepto de “aprovechar fuentes constantes e inagotables de energía”, y con los molinos de agua se asentaban las primeras bases de la energía hidráulica, sumado además a un nuevo modelamiento de los edificios para aprovechar mejor la energía solar durante el día.

El progreso de las mismas se vio principalmente truncado por el fenómeno de la Revolución Industrial, la mayor utilización de combustibles fósiles y las mejoras aplicadas a los motores térmicos, que en sus primeros años contaban con una fuente inagotable de recursos. Así, luego se veía que estos recursos demoran millones de años en formarse naturalmente (Erenovable).

##### **2.1.2. Energía eólica**

Las primeras evidencias del aprovechamiento del viento como recurso energético son de hace casi 3.000 años, cuando el pueblo de los

babilonios lograron desarrollar los primeros sistemas de navegación a vela apoyados en el uso del viento como fuente de energía.

En la Edad Media (476 d.C. hasta 1492 d.C.), alrededor del siglo X aparecieron los primeros molinos de viento, los cuales serían mayormente aprovechados pocos siglos más tarde en zonas como Holanda. Sin embargo, habrá que esperar hasta el siglo XX para ver los primeros molinos capaces de transformar la energía del viento en electricidad, en la década de los años 30 en Estados Unidos.

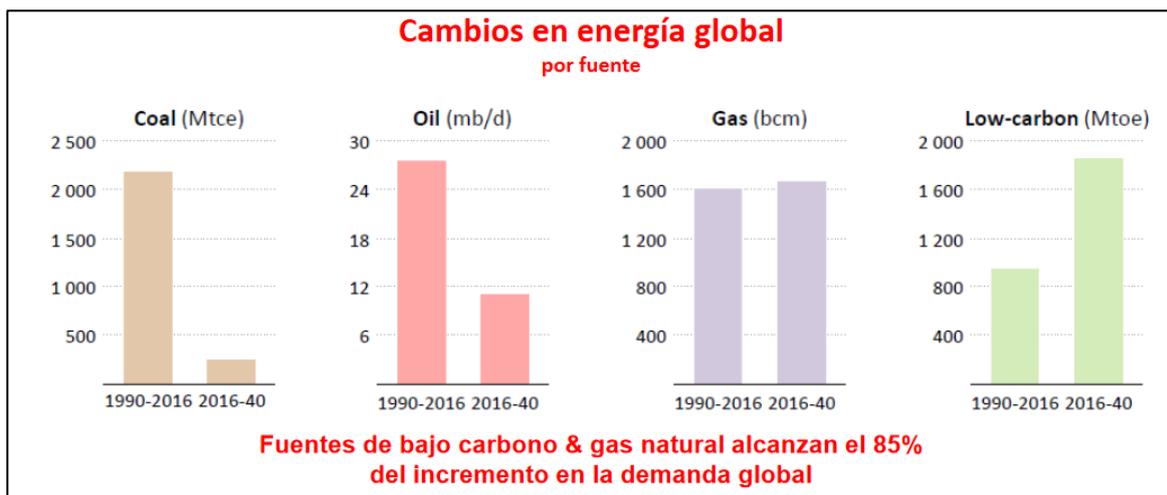
Nuevamente, durante la Segunda Guerra Mundial se produce un estancamiento en el desarrollo de esta energía debido a que el foco de atención estaba en el desarrollo de tecnologías bélicas. Sin embargo, no es sino hasta la década de los 70, en plena crisis del petróleo, que se recupera el interés de investigación en este tipo de energía. Ya en estos últimos años el desarrollo ha sido evidente, con aerogeneradores cada vez más efectivos, diseños más complejos y desarrollando nuevas formas de aprovechar la energía del viento, como la energía eólica marina (Erenovable).

## **2.2. Situación actual**

### **2.2.1. Energía renovable en América Latina**

En los últimos años en América Latina se han iniciado varias reformas energéticas para dar lugar a un desarrollo exponencial de las energías renovables.

La más beneficiada fue la solar fotovoltaica, que en la actualidad es una de las tecnologías renovables más barata y accesible a nivel mundial. Esto se ha podido constatar con el estudio de la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés), en el cual se puede apreciar en la Figura 1 que desde 1990 al 2016 hubo un gran incremento en las energías de bajo carbono y se prevé que al año 2040 según el Escenario de Desarrollo Sostenible (EDS) serán las de mayor crecimiento.



*Figura 1: Cambios en la energía global al año 2040 según Escenario de Desarrollo Sostenible*

*Fuente: IEA (2017) World Energy Outlook 2017*

Por ejemplo, en Colombia la energía fotovoltaica forma parte de un programa denominado PaZa la Corriente, que lleva luz a zonas que por años fueron oscuras por conflictos armados y narcotráfico (Minminas).

Por otra parte, países como Chile que en 2012 el país sólo tenía 5 MW de energía solar y hoy en día ya cuentan con 82 centrales que superan los 2000 MW, las cuales tienen como fuente principal el desierto de Atacama, el cual registra los más altos niveles de radiación solar.

Lo más relevante, es que Chile comenzó el 2013 con sólo 11 MW de capacidad solar instalada. La rapidez con la que ha avanzado el país lo ha posicionado como líder de la región, por sobre México y Brasil, en cuanto a crecimiento. De hecho, Chile ha invertido más de 7.000 millones de dólares en el desarrollo energías renovables durante los últimos siete años, parte también de la política energética a largo plazo que viene siguiendo llamado Energía 2050. Un ejemplo de ello, son los más de una centena de proyectos solares y eólicos aprobados en los últimos años (Minenergía).

Argentina que también se había mantenido indiferente y apática a la revolución renovable, ha comenzado a romper el hielo y a promover la energía solar. En Jujuy, por ejemplo, existe un poblado 100% energía solar que ha demostrado el cambio que se viene gestando en Argentina. El país espera generar a finales del 2018 un 8% de su matriz energética de consumo nacional en base a fuentes renovables (Risatti, 2018).

Uruguay es un caso muy peculiar, ya que en 10 años ha pasado a ser el líder de la energía eólica en América Latina con la mayor proporción de electricidad generada a partir de energías renovables. Esto ha reducido notablemente su vulnerabilidad al cambio climático y a las crecientes sequías que afectan las centrales hidroeléctricas. En el año 2013,

solamente el 1% de la electricidad provenían del viento, mientras que en el año 2017 esta participación ascendió hasta 33%. En el año 2018, se registró que el 44% de la electricidad del país sudamericano era producida a partir de la energía eólica y solar. Se espera un aumento drástico para los próximos años, colocando a Uruguay junto a Dinamarca como el líder mundial en este rubro (Diario El País, 2018).

Este “momentum” de la incursión de los países de América Latina en el rubro de las energías renovables se pudo ver reflejado en el año 2015, que fue el primer año donde los países en desarrollo dedicaron más dinero a energías limpias que los países desarrollados (Diario BBC, 2016).

### **2.2.2. Energía renovable en el Perú**

#### – Situación energética

Tradicionalmente el Perú ha sido un país cuya generación de energía eléctrica se ha sustentado en fuentes renovables. Hasta el año 2002 la energía generada con centrales hidroeléctricas representaba el 85% del total de energía eléctrica en el país. Al desarrollarse el uso del gas de Camisea, la participación de las hidroeléctricas se ha ido reduciendo paulatinamente, teniendo las hidroeléctricas una participación del 61% en el año 2008 (Osinergmin).

La Primera Subasta de la electricidad generada con Recursos Energéticos Renovables (RER), se desarrolló de acuerdo con el marco normativo para promoción de las energías renovables establecido a fines del año 2008 (ver Anexo 1).

Duró aproximadamente un año (agosto 2009 a julio 2010). Su objetivo fue seleccionar mediante un proceso de subasta los proyectos de generación RER con biomasa, eólica, solar y pequeñas hidroeléctricas para el suministro de electricidad al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, teniendo como límites, entre otros, la fecha máxima para la puesta en operación comercial el mes de diciembre de 2012; las cuotas de energía asignadas a tecnología y los precios base máximos. Para la primera subasta de electricidad generada con Recursos Energéticos Renovables (RER) la tecnología solar fotovoltaica entró con un precio promedio de 220 US\$/MWh mientras que la eólica entró con un precio promedio de 120 US\$/MWh (Osinergmin).

Proyecto	Tecnología	MW	Inversión estimada (MM US\$)	POC
C.E. Marcona	Eólica	32	61.1	2014
C.E. Cupisnique	Eólica	80	242	2014
C.E. Talara	Eólica	30	101	2014
C.S. Majes	Solar	20	73.6	2012
C.S. Repartición	Solar	20	73.5	2012
C.S. Tacna	Solar	20	94.6	2012
C.S. Panamericana	Solar	20	94.6	2012
C.T.B. Huaycoloro	Biomasa	4.4	10.5	2011
C.T.B. Paramonga	Biomasa	23	31	2010
17 centrales	Hidroeléctrica	31	318.2	2009-2017
<b>Total</b>		<b>280.4</b>	<b>1100.1</b>	

*Cuadro 2: Resumen de la primera subasta RER*

*Fuente: Osinergmin (2018)*

La Segunda Subasta RER se inició el 28 de abril de 2011 y culminó el 30 de Septiembre de 2011. Aquí hubo muy pocas renovables no convencionales, como se puede ver en el Cuadro 3, la mayoría fueron hidroeléctricas. Es importante mencionar que los precios de la energía eólica y solar pese a que hubieron pocos proyectos continuó disminuyendo alcanzando 69 US\$/MWh y 120 US\$/MWh respectivamente (Osinergmin).

Proyecto	Tecnología	MW	Inversión estimada (MM US\$)	POC
C.E. Huambos	Eólica	18	26.1	2018
C.E. Duna	Eólica	18	26.1	2018
C.E. Nazca	Eólica	126	196	2018
C.S. Rubí	Solar	144.48	264.1	2018
C.S. Intipampa	Solar	40	52.36	2017
C.T.B. Callao	Biomasa	2	4.81	2020
C.T.B. Huaycoloro II	Biomasa	2	4.81	2020
C.H. Ayanunga	Hidroeléctrica	20	56.51	2018
C.H. Kusa	Hidroeléctrica	15.55	29.29	2020
C.H. Alli	Hidroeléctrica	14.51	28.5	2020
C.H. Hydrika	Hidroeléctrica	8.9	20.96	2019
C.H. Her 1	Hidroeléctrica	0.7	3.6	2018
C.H. Rucuy	Hidroeléctrica	20	42	2016
<b>Total</b>		<b>430.14</b>	<b>755.14</b>	

*Cuadro 3: Resumen de la segunda subasta RER*

*Fuente: Osinergmin (2018)*

La Cuarta Subasta RER se inició el 03 de setiembre del 2015 y culminó el 17 de mayo del 2016. En esta subasta hubo un incremento en el uso de las renovables no convencionales, como se puede ver en el Cuadro 4. Los precios de la eólica y el solar continuaron disminuyendo alcanzando los 38 US\$/MWh y 48 US\$/MWh respectivamente.

Proyecto	Tecnología	MW	Inversión estimada (MM US\$)	POC
C.E. Tres Hermanas	Eólica	90	185.7	2016
C.S. Moquegua FV	Solar	16	43	2014
C.T.B. La Gringa V	Biomasa	2	5.1	2015
C.H. Runatullo III	Hidroeléctrica	20	31.1	2014
C.H. Canchayllo	Hidroeléctrica	3.73	10	2014
C.H. Huatziroki I	Hidroeléctrica	19.2	23.2	2018
C.H. Manta	Hidroeléctrica	19.78	27.2	2018
C.H. Renovandes H1	Hidroeléctrica	19.99	58.8	2017
C.H. El Carmen	Hidroeléctrica	8.4	27	2017
C.H. 8 de Agosto	Hidroeléctrica	19	51	2017
Total		218.1	462.1	

*Cuadro 4: Resumen de la cuarta subasta RER*

*Fuente: Osinergmin (2018)*

La Tercera Subasta RER no se verá a detalle puesto que se trató únicamente de energía hidroeléctrica. Solo mencionar que en total se instalaron 196.95 MW con una inversión estimada de 459.73 millones de dólares (Osinergmin).

El problema que enfrentan hoy este tipo de energías en el país se debe a la sobrecapacidad y a la guerra de precios entre generadores que han deprimido el costo marginal en gran medida por una clara distorsión del mercado eléctrico peruano y la declaración del precio del gas natural para la generación de electricidad. Esto fue explicado por César Butrón, presidente del Comité de Operación Económica del Sistema (COES), quien afirma que hay un obstáculo sistemático que impide la entrada de estas energías renovables al mercado. “Hay un problema de sobrecapacidad y se ha generado una guerra de precios (entre los generadores). Si a eso le añadimos más oferta, lo único que haríamos es agravar el problema”, señala. Esto se podría solucionar incrementando la demanda, y una forma de hacerlo sería con nuevos proyectos mineros. Lo importante es convencer a las empresas mineras de usar este tipo de energías en lugar las fuentes energéticas que por excelencia son usadas en los yacimientos en zonas aisladas, la energía hidroeléctrica (Zurita, 2017).

Es necesario aclarar que el problema de sobreoferta que se menciona anteriormente no es una sobreoferta en todo el país, sino que se

debe a la existencia de esta sobreoferta en las ciudades ya que no se puede hablar de sobreoferta cuando el 6% de la población nacional no cuenta con acceso a la electricidad (Macera, 2018).

Además, este tipo de energías al no contar con potencia firme, no puede firmar contratos con las empresas generadoras ya que no pueden garantizar cubrir con la demanda en la hora punta del día, que es cuando existe un mayor consumo, a las 7 de la noche. Este reglamento imposibilita a las renovables no convencionales de competir con las otras fuentes de energía utilizadas por las empresas generadoras. Sin embargo, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) ha desarrollado medidas a implementar para que este tipo de energías puedan competir en el mercado (ver Cuadro 5).

Alternativa	REFORMA DE MARCO REGULATORIO DE LAS RER			
	Descripción	Ventajas	Desventajas / Trabajos Asociados	Normas a modificar
<b>Reconocimiento de potencia firme</b>	Consiste en utilizar el indicador de pérdida de carga esperada (LOLE en inglés) para determinar el nivel de potencia firme. Se aplicaría dentro de 3 años.	Es una metodología cuantitativamente analizada para el caso peruano	Con esta propuesta, la bolsa de potencia a ser distribuida incluiría a la tecnología solar y eólica	RLCE en artículo 110°, en sus literales g) y h).  PR-26 del COES
<b>Suscripción de contratos de Energía sin contar con Potencia Firme</b>	El COES les asigna Energía Firme a las centrales solares y eólicas pero no potencia firme (30% para la solar y 60% para la eólica)	Las Centrales solares y eólicas podrán suscribir contratos directamente con los clientes eléctricos libres y regulados	Necesidad de adecuar mecanismos de contratación. Generadores existentes podrían solicitar acogerse al mismo sistema.	RLCE en su artículo 102°  PR-10 del COES
<b>Implementación de bloques horarios</b>	Consiste en hacer que las distribuidoras realicen licitaciones por bloques horarios.	Experiencia con Chile implementando satisfactoriamente esta alternativa	Reduce la duración de la carga de fuentes no intermitentes. Los precios promedio PPA de estas fuentes aumentarían (mayor exposición a precio SPOT/ mayor probabilidad de no despachar). Mayor carga económica a usuarios regulados a favor de tecnologías intermitentes.	Reglamento de Licitaciones. (D.S. N° 052-2007 EM)

*Cuadro 5: Reforma de Marco Regulatorio de las RER  
Fuente: MEM (2018)*

En un país como el Perú que es muy propenso a ser gravemente golpeado por los desastres naturales como se vio el último año con el Niño Costero, el hecho de que casi el 50% de nuestra matriz energética

provenga de la hidroeléctrica y de que varias centrales hidroeléctricas hayan cerrado producto de este desastre provocando cortes en el suministro muestra que es importante que el Perú diversifique su matriz de generación energética.

– Megaproyectos y centrales de energía renovable

El Perú cuenta con 5 centrales eólicas repartidas en algunas zonas del país. A la fecha siguen en etapa de construcción 2 parques eólicos (PE Huambos y PE Dunas) cada uno de 18 MW y van a ser construidos en Cajamarca.

Aunque la gran mayoría de estos proyectos son directamente para inyectar energía al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), las comunidades aún tienen difícil el acceso a la energía eléctrica convencional. Sin embargo, aún con la participación de todas las plantas con energías renovables (sin considerar las pequeñas hidroeléctricas con potencia  $\leq 20$  MW o MINI HIDROS) no se logra superar el 5% del consumo total nacional en más de 10 años que lleva de promulgado el Decreto Legislativo N° 1002 de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.

Se citan a continuación los parques o centrales eólicas existentes en Perú:

La CENTRAL EÓLICA PARQUE EÓLICO MARCONA, ubicada en el distrito de Marcona, en la provincia de Marcona, departamento de Ica. Cuenta con una potencia instalada de 32 MW y está constituida por 11 aerogeneradores. Fue puesta en operación comercial el día 25.04.2014.

La CENTRAL EÓLICA CUPISNIQUE, ubicada en el distrito de Cupisnique, en la provincia de Pacasmayo, departamento de La Libertad. Cuenta con una potencia instalada de 80 MW y está constituida por 45 aerogeneradores. Fue puesta en operación comercial el día 30.08.2014.

La CENTRAL EÓLICA TALARA, ubicada en el distrito de Talara, en la provincia de Pariñas, departamento de Piura. Cuenta con una potencia instalada de 30 MW y está constituida por 17 aerogeneradores. Fue puesta en operación comercial el día 30.08.2014.

La CENTRAL EÓLICA TRES HERMANAS, ubicada en el distrito de Marcona, en la provincia de Nazca, departamento de Ica. Cuenta con una potencia instalada de 97.15 MW y está constituida por 33 aerogeneradores. Fue puesta en operación comercial el día 31.12.2015 (solicitó ampliación hasta el 25.03.2016).

La CENTRAL EÓLICA WAYRA I (PARQUE NAZCA), ubicada en el distrito de Marcona, en la provincia de Nazca, departamento de Ica. Cuenta con una potencia instalada de 126MW y está constituida por 42 aerogeneradores. Su puesta en operación comercial fue el día 31.03.2018.

Como se puede ver, estas plantas de energía renovable están distribuidas en la zona norte, centro y sur del país, lo cual es prueba de

que el Perú posee varios puntos potencialmente factibles para la implementación de este tipo de energías. Las fichas técnicas de estos parques eólicos con información más detallada se encuentran en los anexos.

– Proyectos próximos a ingresar y en ejecución

Actualmente, en lo que respecta a energía eólica en el Perú, se encuentran en construcción 2 centrales de energía eólica. La CENTRAL EÓLICA DUNAS y la CENTRAL EÓLICA HUAMBOS (ver Anexo 7 y 8).

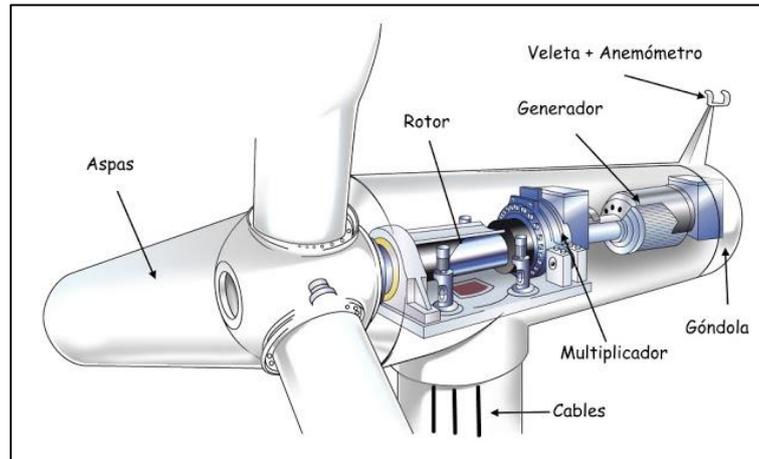
## **2.3. Fundamento teórico**

### **2.3.1. Aerogeneradores**

Los aerogeneradores vienen a ser la tecnología desarrollada usando el principio de funcionamiento básico de los molinos de viento y hoy en día son aparatos de alta tecnología. La mayoría de turbinas genera electricidad desde que el viento logra una velocidad de entre 3 y 4 m/s, hasta una potencia máxima con velocidades hasta de 15 m/s (dependiendo de la curva de potencia y el diseño) y cuentan con un mecanismo el cual los desconecta cuando hay tormentas con vientos que soplan a velocidades medias superiores a 25 metros por segundo durante un intervalo temporal de 10 minutos, esto para prevenir daños (Eolicat).

Para obtener electricidad, el movimiento de las aspas o paletas acciona un generador eléctrico (un alternador) que convierte la energía mecánica de la rotación en energía eléctrica. Cuando un generador eléctrico está en funcionamiento, una de las dos partes genera un flujo magnético (actúa como inductor) para que el otro lo transforme en electricidad (actúa como inducido). Los alternadores generan electricidad en corriente alterna. El elemento inductor es el rotor y el inducido el estator. Un ejemplo son los generadores de las centrales eléctricas, las cuales transforman la energía mecánica en eléctrica alterna.

Un aerogenerador principalmente viene a estar compuesto por el rotor el cual sostiene las palas de la turbina, moviéndolas de forma rotacional para transformar el empuje mecánico viento en energía eléctrica; la góndola que viene a ser la cabeza visible del aerogenerador, debajo del casco esta toda la maquinaria que permite el funcionamiento de la turbina y; una caja multiplicadora la cual tiene la tarea de acoplar las bajas velocidades del rotor con altas velocidades del generador, es decir, consigue multiplicar los 18-50 rpm que genera el movimiento del natural del rotor en 1750 rpm cuando sale del generador (Erenovable).



*Figura 2: Partes de un aerogenerador*  
*Fuente: eolicaybiomasamaribelytere1.blogspot.pe*

La electricidad puede almacenarse en baterías o ser vertida directamente a la red. Como se puede ver, el funcionamiento es bastante simple, la dificultad radica en encontrar nuevos materiales y/o diseños que sean cada vez más eficientes.

### **2.3.2. Ley de Betz**

La potencia eólica disponible en el viento para una velocidad ( $v$ ) de viento viene dada por la siguiente expresión:

$$P = 1/2 \rho v^3 A$$

Siendo  $\rho$  la densidad del viento y  $A$  el área de barrido. La potencia del viento es directamente proporcional al cubo de la velocidad del viento.

Sin embargo, Si intentamos extraer toda la energía del viento, el aire saldría con una velocidad nula, es decir, el aire no podría abandonar la turbina. En ese caso no se extraería ninguna energía en absoluto, ya que obviamente también se impediría la entrada de aire al rotor del aerogenerador. Así pues, podemos asumir que debe haber alguna forma de frenar el viento que esté entremedio de estos dos extremos, y que sea más eficiente en la conversión de la energía del viento en energía mecánica útil.

Resulta que hay una respuesta a esto: la ley de Betz. Esta ley nos dice que solo es posible convertir menos del 16/27 (59%) de energía cinética en energía mecánica usando un aerogenerador. Si hablamos de un aerogenerador “ideal”, el valor máximo de esta conversión llegaría hasta 59% (Danish Wind Industry Association).

### 2.3.3. Tipos de aerogeneradores

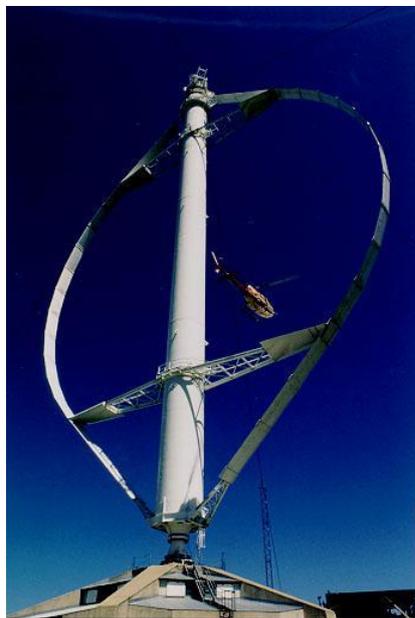
En el mercado hay distintos tipos de aerogeneradores, los cuales suelen variar en diseño, funcionalidad, instalación, costos, etc. A continuación veremos los más comunes.

Los aerogeneradores se clasifican en dos grupos, que son según el eje de giro del rotor (vertical y horizontal).

Las principales ventajas de los aerogeneradores con eje de giro vertical son que no necesita un sistema de orientación al ser omnidireccional y que el generador es instalado al ras del suelo. Esto disminuye costos de montaje y facilita su mantenimiento. Sin embargo, frente a los aerogeneradores de eje horizontal, tienen una menor eficiencia.

#### – Aerogenerador con rotor Darrieus

Patentado por G.J.M. Darrieus en 1931, es el modelo de los aerogeneradores de eje vertical que ha logrado más éxito comercial. Consiste en un eje vertical asentado sobre el rotor, con dos o más finas palas en curva unidas al eje por los dos extremos. Evita la necesidad de diseños complejos en las palas como los necesarios en los de eje horizontal, permite mayores velocidades aunque no llega a alcanzar las generadas por los modelos de eje horizontal. Necesita de un sistema externo de arranque (Opex Energy).



*Figura 3: Aerogenerador con rotor Darrieus*

*Fuente: [opex-energy.com/eolica/tipos\\_aerogeneradores.html](http://opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html)*

– Aerogenerador con rotor Giromill

Este tipo de generadores también fueron patentados por G.J.M. Darrieus. Consisten en palas verticales unidas al eje por unos brazos horizontales, que pueden salir por los extremos del aspa e incluso desde su parte central. Las palas verticales cambian su orientación a medida que se produce el giro del rotor para un mayor aprovechamiento de la fuerza del viento (Opex Energy).



*Figura 4: Aerogenerador con rotor Giromill*

*Fuente: [opex-energy.com/eolica/tipos\\_aerogeneradores.html](http://opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html)*

– Aerogenerador con rotor Windside

Es un sistema que consiste en un perfil de espiral con torsión que asciende por el eje vertical. La principal diferencia frente a otros sistemas de eje vertical es el aprovechamiento del concepto aerodinámico que le permite eficiencias cercanas a los aerogeneradores de eje horizontal, teniendo como ventaja que no necesita de un sistema de direccionamiento, ya que es omnidireccional (Opex Energy).



*Figura 5: Aerogenerador con rotor Windside*

*Fuente: [opex-energy.com/eolica/tipos\\_aerogeneradores.html](http://opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html)*

Actualmente la gran mayoría de aerogeneradores conectados a una red son tripalas de eje horizontal. Estos tienen una mayor eficiencia energética y alcanzan mayores velocidades de rotación. Además, debido a la construcción elevada aprovechan altas velocidades de vientos que aumentan en proporción con la altura.

– Aerogenerador Tripala

Es el más empleado en la actualidad, el cual consta de 3 palas colocadas formando un ángulo de  $120^\circ$  entre sí. Un mayor número de palas aumenta el peso y coste del aerogenerador, por lo que no se emplean diseños de mayor número de palas para fines de generación de energía de forma comercial (Opex Energy).



*Figura 6: Aerogenerador Tripala*

*Fuente: [opex-energy.com/eolica/tipos\\_aerogeneradores.html](http://opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html)*

– Aerogenerador Bipala

Ahorra el coste de una de las palas y por lo tanto, la torre se ve sometida a menos peso respecto a los aerogeneradores tripala, pero necesitan una mayor magnitud de las velocidades de giro para producir la misma energía que los tripala (Opex Energy).



*Figura 7: Aerogenerador Bipala*

*Fuente: [opex-energy.com/eolica/tipos\\_aerogeneradores.html](http://opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html)*

– Aerogenerador Monopala

Tienen, en mayor medida, los mismos inconvenientes que los bipala, necesitan un contrapeso en el lado opuesto de la pala, por lo que el ahorro en peso no es tan significativo (Opex Energy).



*Figura 8: Aerogenerador Monopala*

*Fuente: [opex-energy.com/eolica/tipos\\_aerogeneradores.html](http://opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html)*

## **Capítulo 3 Metodología**

Este capítulo define brevemente, en qué consiste la propuesta, sus ventajas y desventajas.

Luego, se hablará sobre la sostenibilidad energética y como la propuesta se relaciona con este concepto.

Finalmente, se pasará a explicar el plan de análisis para con la información meteorológica recolectada y como se procederá según los resultados obtenidos.

### **3.1. Descripción de la propuesta**

La propuesta consiste en una solución eólica que aproveche las fuertes corrientes de vientos típicas de las Antillas de Paracas como energía eólica. El posicionamiento de los aerogeneradores vendrá dado en función de las corrientes de viento. Para esto será tomado en cuenta la presencia del Anticiclón del Pacífico Sur. El Anticiclón del Pacífico Sur (ubicado frente a las costas de Chile) es uno de los factores que modifica nuestro clima, debido a las condiciones de estabilidad atmosférica y a las masas de aire seco que genera. Es el responsable de llevar las corrientes de aire desde Chile a lo largo de toda la costa peruana.

#### **3.1.1. Diseño y técnicas**

La elección del aerogenerador que se va a implementar es un tripala. Se ha hecho esta elección debido a que tres hélices en un aerogenerador ofrecen un mejor balance, además de tener una eficiencia superior a los bipalas.



*Figura 9: Aerogenerador Tripala*

*Fuente: <https://www.bornay.com/es/productos/aerogeneradores/wind-plus>*

Como se puede ver en la Figura 9, los aerogeneradores en la parte posterior cuentan con un mecanismo de direccionamiento el cual les permite aprovechar de mejor manera una dirección predominante de los vientos para ofrecer un funcionamiento más estable. Al tener un funcionamiento continuo y óptimo a lo largo del día se garantiza la sostenibilidad de la propuesta. De esta forma se podrá cubrir la demanda energética de forma segura, de manera que los usuarios finales puedan acceder a esta energía con facilidad y sin comprometer el medio ambiente.

A continuación, se muestra una foto de las corrientes de aire a lo largo de toda la costa peruana, y donde se ha seleccionado, marcado con el círculo verde la ubicación de la zona de interés que son las Antillas de Paracas, con coordenadas  $13^{\circ} 49.282'S$  y  $76^{\circ} 14.310'O$ . Como se puede ver en la figura 10, se ha tratado de ubicar en la aplicación Earthwind Map las Antillas de Paracas, y con un círculo verde se ha seleccionado el punto con coordenadas  $13.94^{\circ}S$  y  $76.07^{\circ}W$ , similares a las coordenadas mencionadas anteriormente, por lo cual si bien no se ha podido ubicar exactamente el punto se tuvo una referencia de las velocidades que corren por esa zona. Como se puede apreciar, las corrientes de viento entran perpendicularmente a la costa a una velocidad de 18 km/h o 5 m/s.



*Figura 10: Corrientes de aire en la costa de Paracas*  
*Fuente: Earthwind Map (2018)*

### 3.1.2. Ventajas y desventajas de la propuesta

A continuación, se muestra en el Cuadro 2, un comparativo entre las ventajas y desventajas que ofrece la propuesta.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amigable con el medioambiente.</li> <li>• Nula generación de gases del efecto invernadero (GEI).</li> <li>• Al quedar la zona de interés cerca de la reserva nacional de Paracas, al minimizar cualquier impacto medioambiental, es posible demostrar que coexisten los conceptos de seguridad energética y sostenibilidad ambiental.</li> <li>• Se crearán puestos de trabajo en las comunidades aledañas, así como la implementación de una política amigable con el medioambiente en la zona de Paracas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta inversión inicial.</li> <li>• La posible existencia de trabas por parte de las comunidades aledañas, poblaciones invasoras de los terrenos aledaños a la panamericana sur.</li> <li>• El colocar aerogeneradores cerca de la Reserva Nacional de Paracas podría interferir con la fauna marítima (pelicanos, gaviotas, entre otras aves marítimas de la zona).</li> <li>• Impacto paisajístico podría afectar el turismo de la zona.</li> <li>• Bajas velocidades en la zona por debajo del <i>cut-in speed</i> podría afectar el rendimiento de las turbinas.</li> <li>• Sonido de aerogeneradores y el efecto parpadeo de estos puede causar molestias en las personas.</li> </ul>

*Cuadro 6: Ventajas y desventajas de la propuesta*  
*Fuente: Elaboración propia*

### 3.1.3. Sostenibilidad energética

La sostenibilidad energética, o también llamada sustentabilidad energética viene a ser definida como el equilibrio entre tres dimensiones principales: la generación permanente, la equidad social, y la mitigación del impacto ambiental. Estos tres objetivos son un "trilema" que requiere de complejas interconexiones entre sectores público y privado, entre gobiernos y entes reguladores, entre la economía, los recursos nacionales disponibles, las normativas legales vigentes, las preocupaciones ambientales y el comportamiento individual y colectivo de las sociedades de cada país (World Energy Council, 2012).

Entonces para evaluar el aporte a la sostenibilidad de la propuesta, debemos aclarar de qué tratan estas tres dimensiones: Seguridad energética, Equidad y sostenibilidad social y Sostenibilidad ambiental.

#### – Seguridad energética o Generación permanente

La seguridad energética o generación permanente, tal como su nombre lo indica, es un aspecto de la propuesta donde se debe garantizar que la propuesta podrá cubrir con la demanda energética de la comunidad a la cual se quiere abastecer. Esto depende principalmente de cómo se diseñe la propuesta, el tamaño de la comunidad que se verá beneficiada por esta propuesta y las condiciones atmosféricas y meteorológicas del lugar. A todos estos puntos se le tiene que sumar el cumplimiento de las normativas legales, técnicas, ambientales y culturales.

#### – Equidad y sostenibilidad social

La equidad social se refiere a la accesibilidad que se debe tener a la energía eléctrica en un país y que la energía que se va a producir llegue a un costo razonable a las comunidades de las Antillas de Paracas. La carencia de equidad social en esta materia ha sido definida como "pobreza energética" por el Reino Unido. El problema de acceso a la energía, más común en países del Tercer Mundo, se ha extendido también a los del Primer Mundo debido a dificultades económicas de las familias (se ha ido acrecentando en gran medida debido al desempleo) para hacer frente a los gastos energéticos del hogar. Esta "pobreza energética" se define como una familia que tiene que gastar el 10% de sus ingresos en mantener el hogar caliente en épocas de invierno (esto pasa sobretodo en Europa). Las medidas que se han tomado van desde evitar cortes de suministro en invierno hasta garantizar un mínimo de luz, agua y gas a las familias que se encuentren en esta "pobreza energética" (Planelles, 2013). Para prever esta situación en las Antillas de Paracas, la **eficiencia energética** deberá formar parte de la política energética de la zona.

#### – Sostenibilidad ambiental

Mitigar el impacto ambiental incluye la obtención de eficiencia energética en el lado de la oferta y la demanda y el suministro de energía a partir de fuentes renovables y otras fuentes con bajas emisiones de

gases como el dióxido de carbono y otros, que acentúan el efecto invernadero y la contaminación del aire.

Aplicando estos conceptos al Perú, en principio podría parecer complicado de lograr ya que en el contexto político-económico-social el balance entre estas tres “caras” de la realidad nacional aún no se encuentra desarrollado por completo debido a la poca planificación que hay para el crecimiento y las trabas que presentan el sector público y privado a la hora de evaluar futuros proyectos.

Sin embargo, por más complicado que parezca integrar estas tres dimensiones, primero convendría implementarlas a baja escala. Un ejemplo de esto serían comunidades rurales que planifiquen su crecimiento económico y social usando la energía renovable como punto de partida. Luego de obtener resultados positivos en comunidades pequeñas del territorio peruano y se haya pulido la implementación de estas políticas energéticas, se puede comenzar a pensar en implementarlo a nivel regional y por último nacional.

### **3.2. Plan de análisis**

El plan de análisis de la información para evaluar la viabilidad de la propuesta vendrá dado por dos pasos:

- La recolección de la información. En la medida de lo posible, se trató de contar con data de 10 años de antigüedad y hasta el año más reciente en que hayan estado activos los medidores de velocidades de vientos.
- La proyección de las condiciones climatológicas a 10 o 15 años. Esto es para asegurarnos de que la zona va a seguir teniendo las condiciones mínimas para el funcionamiento adecuado de los dispositivos a instalar. Hay que tener en cuenta también como el cambio climático puede (o no) volver la zona más (o menos) apta en el futuro. Esta condición es lo que se define como “climatológicamente sostenible”.

En base a la información recolectada y las condiciones climatológicas previstas se hizo la propuesta a fin de estudiar su viabilidad.

Ya que las condiciones proyectadas fueron favorables para la solución eólica se procedió con los factores requeridos para su estudio.



## **Capítulo 4**

### **Resultados**

En este capítulo se desarrollan los resultados obtenidos a partir de la data meteorológica solicitada al SENAMHI (Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú). Una vez obtenidos estos resultados fue necesario hacer la proyección de condiciones para comprobar si la zona de Las Antillas de Paracas era apta para la instalación de una solución eólica a largo plazo.

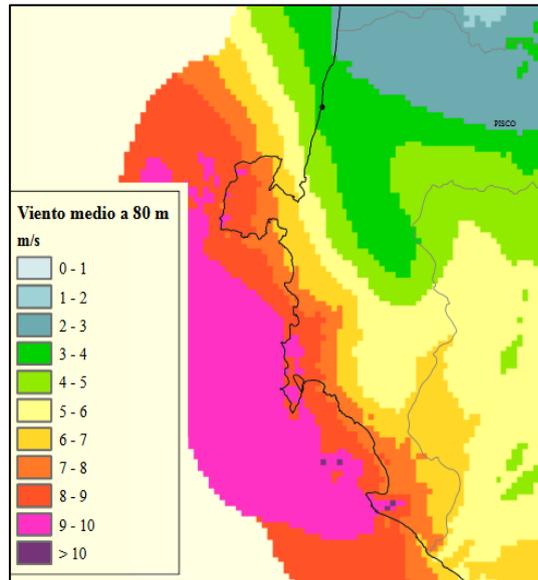
#### **4.1. Data histórica: Velocidad de vientos**

La data histórica obtenida debía ser de la zona de interés, es decir, medida en la zona de Paracas. El problema que surgió al momento de solicitar esta información fue que no había un medidor de vientos activo cerca de Paracas. Solo se encontró uno no operativo cuya última medición fue del año 1960. Entonces se tuvo que solicitar la información del medidor más cercano y que tuviese mediciones relativamente nuevas. Este se encontraba en la estación Pampa de Villacuri situada a 38.72km de Paracas.

El Cuadro 3 muestra información respecto a la velocidad y dirección del viento en la estación de Pampa de Villacuri.

Ahora, esta información por sí sola no nos basta para poder hacer un cálculo estimado acerca de las condiciones de la zona de las Antillas de Paracas, razón por la cual se requirió del apoyo de otra fuente de información meteorológica. Esta fuente fue el atlas eólico desarrollado por la Dirección General de Electrificación Rural (DGER) en colaboración con el MEM (Ministerio de Energía y Minas) desarrollado en el año 2008.

Este atlas eólico ofrece un rango aproximado de las velocidades de los vientos en la zona de interés y, también se obtuvo un promedio de las velocidades actuales de las velocidades medidas en la estación Pampa de Villacuri, si estas se encontraban en el rango indicado por el atlas, se podría extrapolar esta conclusión a que en Las Antillas de Paracas también se ha mantenido el rango de velocidades desde el año 2008.



*Figura 11: Atlas Eólico de Paracas*

*Fuente: Dirección General de Electrificación Rural (2008)*

Con el fin de que el cálculo para la aproximación de las condiciones actuales en Paracas fuese lo más preciso posible, se debió ubicar en el atlas eólico la estación Pampa de Villacuri, analizar entre que rangos se encontraban sus velocidades de vientos según el atlas, y comparar la velocidad media anual proporcionada por el SENAMHI con la del atlas eólico (ver Figura 11).



*Figura 12: Estación Villacuri en el mapa de Pisco*

*Fuente: SENAMHI (2018)*

Cuadro 7: Velocidad de Vientos en la Pampa de Villacuri

Fuente: SENAMHI

<b>DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO MENSUAL (m/s)</b>												
<b>Año</b>	<b>01_ENE</b>	<b>02_FEB</b>	<b>03_MAR</b>	<b>04_ABR</b>	<b>05_MAY</b>	<b>06_JUN</b>	<b>07_JUL</b>	<b>08_AGO</b>	<b>09_SET</b>	<b>10_OCT</b>	<b>11_NOV</b>	<b>12_DIC</b>
2007	NW-2.9	NW-3.6	NW-3.0	NW-3.3	NW-4.0	NW-4.0	NW-4.0	NW-4.2	NW-4.3	NW-4.5	NW-4.0	NW-3.9
2008	NW-3.7	NW-3.6	NW-3.9	NW-3.4	NW-3.2	NW-3.2	NW-3.8	W-3.8	S/D	NW-4.1	NW-3.9	W-3.6
2009	W-3.9	W-4.3	W-4.2	W-5.2	W-4.7	W-3.4	NE-3.6	E-3.9	NE-4.2	NE-4.7	W-4.9	W-4.1
2010	NE-3.9	W-4.1	W-4.3	W-4.6	W-4.0	W-3.6	NW-4.3	NW-4.3	S/D	W-4.7	W-4.1	NW-3.2
2011	W-4.0	W-4.0	NW-4.4	NW-4.8	NW-4.1	NW-4.3	NW-4.1	NW-4.0	NW-4.2	S/D	NW-3.9	W-4.0
2012	W-4.1	NW-3.7	NW-3.7	NW-4.2	NW-4.0	W-3.2	W-3.2	W-3.0	W-3.7	W-3.9	W-3.7	W-3.5
2013	W-3.6	W-3.7	W-3.5	S/D								

N: Norte

W: Oeste

S/D: Sin Datos

E: Este

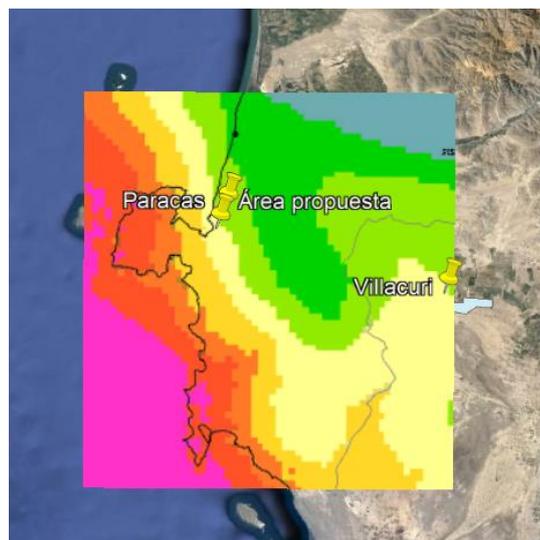
S: Sur

Empleando la herramienta de Google Earth como se puede ver en la Figura 13, se han tomado tres puntos referenciales que son: las Antillas de Paracas (punto A y zona objeto de estudio), la ciudad de Pisco (punto B) y el peaje Pampa de Villacuri (punto C) siendo la distancia entre el punto A y B de 14.11km, la distancia entre A y C de 38.72km y la distancia entre B y C de 37.94km.



*Figura 13: Puntos referenciales A, B y C ubicados en Google Earth  
Fuente: Elaboración propia*

Los lugares que por referencia fueron más sencillos de ubicar en el atlas eólico son los de Paracas y Pisco y con la intersección de los ángulos ABC ( $82.5^\circ$ ) y BAC ( $75^\circ$ ) formados los 3 vértices, y aplicando geometría simple, se pudo ubicar la estación Pampa de Villacuri en el atlas eólico, tal como lo muestra la Figura 14.



*Figura 14: Atlas eólico superpuesto con Google Earth  
Fuente: Elaboración propia*

Como podemos ver en la Figura 14, al superponer el atlas eólico con Google Earth y ubicando la estación de Villacuri, tenemos que en promedio a 80 metros de altura las velocidades están comprendidas entre 5 y 6 m/s.

Usando los datos solicitados al SENAMHI y obteniendo el promedio anual utilizando los datos mensuales del Cuadro 3 se pudo obtener la Tabla 1, que resume las velocidades medias anuales de los vientos en la estación Pampa de Villacuri tomadas a 10m de altura.

<b>Año</b>	<b>PROMEDIO ANUAL DE MEDICIONES (m/s)</b>
2007	3.8
2008	3.7
2009	4.3
2010	4.1
2011	4.2
2012	3.7
2013	3.6
Promedio	3.9

*Tabla 1: Promedio Anual de Mediciones*  
*Fuente: Elaboración propia*

Es claro que el valor promedio de los años 2007 a 2013 obtenido en la Tabla 1 no está dentro del rango explayado por el atlas eólico (Figura 11), pero, hay que considerar que en los últimos meses del año hay una tendencia al incremento de las velocidades y varios meses (sobre todo el año 2013) no registran datos de velocidades. Hay que sumar a esto que la velocidad de viento varía con la altura.

Actualmente, existen fórmulas que nos permiten determinar conociendo la velocidad a una altura “x”, determinar la velocidad deseada a una altura “y” (mas altura, más velocidad) razón por la cual los aerogeneradores se colocan a una altura considerable. Según el atlas, esas mediciones fueron tomadas a 80 metros mientras que los medidores de donde se extrajo la información solo están a 10 metros por encima del suelo.

$$V_x = v_{inf} + \left( \frac{\Delta V}{\Delta h} \right) \cdot (h_x - h_{inf})$$

donde

$h_{inf}$  es la altura del nivel inferior más cercano a la altura deseada

$v_{inf}$  es la velocidad media del viento en el nivel inferior.

$\Delta h$  ( $h_{sup} - h_{inf}$ ) es la diferencia entre dos alturas consecutivas cualesquiera de las alturas disponibles (10/25/50/75/100/125/150 metros).

$\Delta v$  ( $V_{sup} - V_{inf}$ ) es la diferencia entre 2 velocidades medias correspondientes a las alturas anteriores

$h_x$  es la altura sobre el suelo de la velocidad que queremos conocer.

$V_x$  es la velocidad que queremos conocer

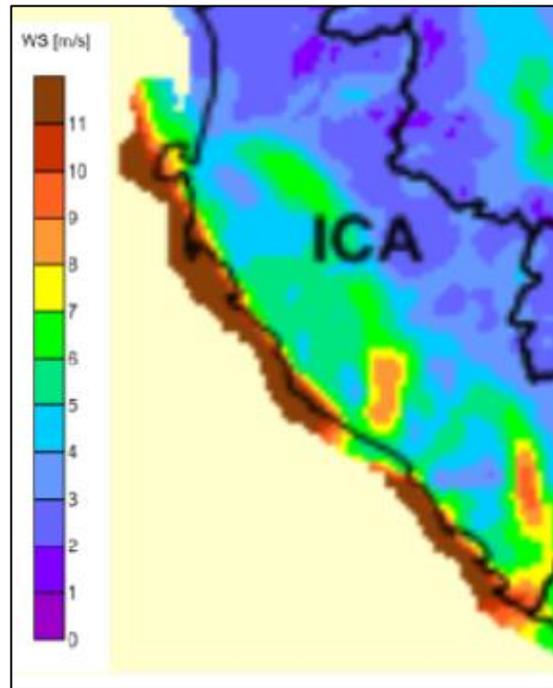
*Figura 15: Modelo de extrapolación vertical entre niveles intermedios*  
*Fuente: Atlas Eólico del Perú OLADE (2016)*

Adicionalmente, existe una aplicación llamada Web-GIS, la cual nos facilita el cálculo de la velocidad a una altura deseada, solo necesita un parámetro de entrada que es la altura “x” a la cual se desea saber que velocidades corren.

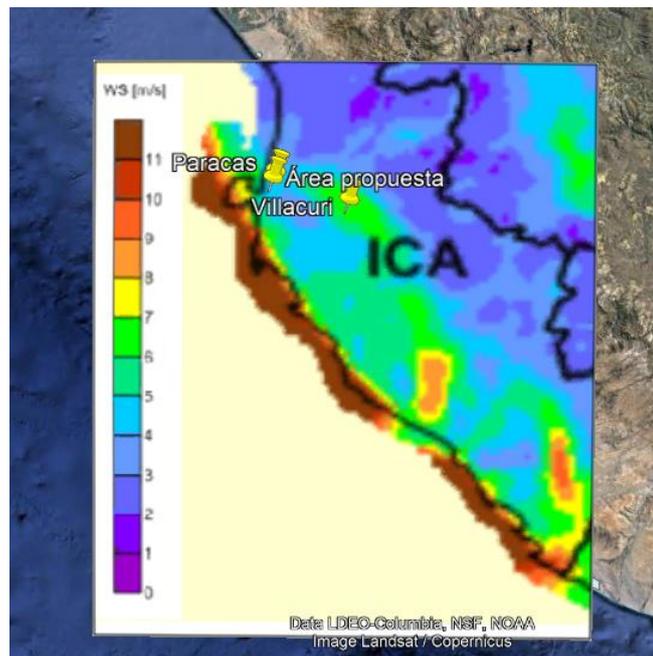
Ahora, es importante tener en cuenta que el estudio de este tipo de variables es mucho más complejo, ya que se ven afectadas por la temperatura, rugosidad del aire, precipitaciones e incluso hay factores de incertidumbre en las propias escalas de medición de estos factores (Ministerio de Energía y Minas, 2016). Pero, el análisis a profundidad de ésta no es objeto de estudio de este trabajo, pero sí un aspecto importante por lo cual se tomó en cuenta su análisis sólo a nivel teórico.

Si bien, en la figura 14 tenemos que en Villacuri los rangos de las velocidades van desde 5 hasta 6 m/s, este es un dato del año 2008. Para obtener información actual de esa zona a 80 metros de altura, es necesario utilizar información más reciente. Esta información reciente será tomada de la información proporcionada por el SENAMHI (Tabla 1) y el atlas eólico actualizado del año 2016 (Figura 16). Como estas dos mediciones se encuentran a diferentes alturas (10m y 75m respectivamente) es posible extrapolar la velocidad actual a 80 metros de altura en Villacuri empleando la fórmula de la Figura 15.

Utilizando esta fórmula se obtuvo que la velocidad a 80 metros en Villacuri es de 5.62 m/s. Esta velocidad está comprendida en el rango de velocidades del atlas del 2008 (ver Figura 14), por lo cual es correcto afirmar que desde el 2008 hasta el 2017 no ha habido variaciones ni cambios notables en el atlas. Correlacionando esta conclusión con Paracas y la zona propuesta, también se puede asumir que las velocidades de vientos en la zona propuesta se han conservado dentro del mismo rango, 4 a 5 m/s. Este argumento, a su vez, se ve reforzado por el atlas del 2016 (ver Figura 17) el cual nos indica que el área propuesta se encuentra dentro del rango de 4 a 5 m/s a 75m de altura, por lo que a 80m se debe seguir manteniendo dentro del rango.



*Figura 16: Velocidad media anual a 75m  
Fuente: Atlas Eólico del Perú OLADE (2016)*



*Figura 17: Atlas Eólico (2016) superpuesto con Google Earth  
Fuente: Elaboración propia*

## 4.2. Proyección de condiciones climatológicas

Como se ha visto, intentar proyectar condiciones climatológicas con herramientas estadísticas y matemáticas no es tan exacto como se piensa que podría llegar a ser. Sin embargo, una proyección de las condiciones que harán que los aerogeneradores funcionen adecuadamente se hace necesaria para sustentar la viabilidad del proyecto.

Ahora, si bien los valores de las mediciones se han mantenido en el rango señalado y según el estudio donde se actualizó el atlas eólico en el 2016 gran parte de la costa peruana abarca el mayor potencial eólico del país no es posible asegurar con total confiabilidad que en un futuro estas condiciones no presenten cambios que puedan afectar directamente el funcionamiento de las plantas eólicas.

Lo ideal hubiese sido poder proyectar las condiciones de velocidades de los vientos en un escenario de cambio climático, o bien considerar escenarios para la variable velocidad de vientos. Sin embargo, en la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático realizada por el SENAMHI no se evalúa esta variable, solo se toma en cuenta el comportamiento de variables como la temperatura y precipitaciones hasta el año 2030.

Debido a esto, y a la falta de mediciones mensuales en la zona de Las Antillas de Paracas, no es posible ingresar datos en los modelos de cambio climático. Al no contar con esos datos no es posible emplear la metodología *downscaling*. Esta metodología es por excelencia la más usada en lo que respecta a la generación de escenarios de cambio climático, ya que a partir del ingreso de variables del clima local y siguiendo una serie de modelos estadísticos se obtiene una predicción a futuro pero nuevamente se necesitan mediciones reales de las Antillas de Paracas. Por esta razón se tendría que hacer necesariamente una proyección estadística y obtener una línea de tendencia y una regresión lineal simple para ver el comportamiento de la variable de velocidad de vientos en el tiempo.

Además, cabe mencionar que los vientos han presentado siempre una alta variabilidad, tanto en dirección, magnitud, etc. Y a esto hay que sumarle que algunas de las variables de superficie suministradas por los modelos – singularmente asociados al ciclo del agua– carecen de una fiabilidad suficiente para que sus estimaciones puedan ser útiles (Ministerio de medio ambiente, y medio rural y marino, 2009).

Ya que no se cuenta con mediciones mensuales de velocidad media de vientos en el área de Antillas de Paracas, se procedió a hacer el cálculo de la línea de tendencia para las mediciones de la estación Pampa de Villacuri. Para poder correlacionar esta línea de tendencia con Paracas, se partió de la suposición de que al estar ambos puntos referenciales A y C en la región Chala o Costa que comprende ubicaciones de 0 a 500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), estas variables se comportarían de manera semejante. Sin embargo, esto solo se hace para tener un estimado de la los vientos zona de las Antillas de Paracas ya que para evaluar un proyecto real que se fuera a implementar, es necesario tener datos tomados en la misma zona y estos solo se pueden obtener a partir de estaciones de medición del SENAMHI o costeando de manera privada la instalación de una torre anemométrica.

Es decir, como ambos puntos pertenecen a la misma región se supuso que sus variables climatológicas se comportarían relativamente de la misma manera. Esto quiere decir que, si la recta de tendencia de las mediciones de Villacuri tuvo una pendiente positiva significa que los vientos en los últimos 5 años han ido aumentando en magnitud, y por lo tanto, también Antillas de Paracas ha debido mostrar este cambio y viceversa.

A continuación, en el Grafico 1, tenemos la línea de tendencia de las velocidades mensuales de vientos desde Enero del 2007 hasta Marzo del 2013, y como se puede ver, la línea de tendencia muestra una pendiente positiva, casi tendiendo a 0, por lo que se podría concluir que la velocidad media mensual tiende a un valor de 4 m/s.

Luego de observar el Grafico 1, se puede decir que sí se ha mantenido esta tendencia, y, por proximidad de zonas como se comentó anteriormente, se concluye que en Paracas en los últimos 10 años se ha mantenido dentro del rango exployado por el atlas, y con una línea de tendencia similar, lo cual nos dice que la proyección de condiciones en Paracas se mantendría entre valores de 4 m/s a 5 m/s a mediano plazo (ver Figura15). Esto nos daría un valor promedio estimado de 4.5 m/s a 80 metros de altura en Paracas para el funcionamiento de los aerogeneradores.

Es importante mencionar que los métodos usados, tanto la extrapolación comparando comportamientos de los vientos en zonas relativamente parecidas, como, el acceso a estudios realizados con información real como lo son los atlas eólicos de los años 2008 y 2016, no garantizan que se mantengan unas condiciones favorables en la zona, pero si da sustento para tener cierto grado de confiabilidad respecto a si se mantendrán estas condiciones o no.

Para tener más seguridad de que las Antillas de Paracas presentarán vientos comprendidos dentro de los rangos indicados por los atlas, se procedió a hacer un comparativo con la central eólica más cercana a la zona, la central eólica Tres Hermanas, ubicada a 219 km. Hay que mencionar la Central Eólica Wayra I se encuentra a 192 km, pero se optó por evaluar la central Tres Hermanas porque lleva más tiempo en operación (Wayra acaba de iniciar en Marzo de este año).

Esta central eólica está ubicada en el distrito de Marcona, en el departamento de Ica. Se procedió a comparar la información del despacho ejecutado diario durante los últimos tres meses desde Junio hasta Agosto. Esta información brindaba la potencia en MW que otorgaba en ese instante la planta (ver Tabla 2), y dicha planta estaba compuesta por dos modelos de aerogenerador: el SWT 108-2.3 de 2.3 MW (8 aerogeneradores) y el SWT 108-3.15 de 3.15 MW (25 aerogeneradores).

Hora	Potencia (MW)
12:30:00 a.m.	95.3477
01:00:00 a.m.	95.3065
01:30:00 a.m.	94.976
02:00:00 a.m.	95.3517
02:30:00 a.m.	93.1915
03:00:00 a.m.	94.1838
03:30:00 a.m.	95.5266
04:00:00 a.m.	95.3956
04:30:00 a.m.	95.2496
05:00:00 a.m.	95.1549
05:30:00 a.m.	93.8713
06:00:00 a.m.	94.9035

*Tabla 2: Formato de datos tomado del 01 de Junio  
Fuente: COES Generación Despacho Ejecutado Diario*

Entonces para poder obtener las potencias otorgadas por cada uno de los aerogeneradores, se definieron dos ecuaciones:

$$25P_1 + 8P_2 = \text{Potencia (MW)}$$

$$P_1/P_2 = 3.15/2.3$$

Donde  $P_1$  corresponde a la potencia del aerogenerador modelo SWT 108-3.15 en ese instante y  $P_2$  corresponde a la potencia del aerogenerador modelo SWT 108-2.3 en ese instante. Con dos ecuaciones se despeja la potencia para ambos aerogeneradores. Una vez obtenida la potencia, se procede a obtener las velocidades de vientos respectivas utilizando la curva de potencia de ambos aerogeneradores ver Figura 18 y 19).

Este cálculo se debe hacer para las 24 horas del día durante los últimos tres meses (ver Tabla 3).

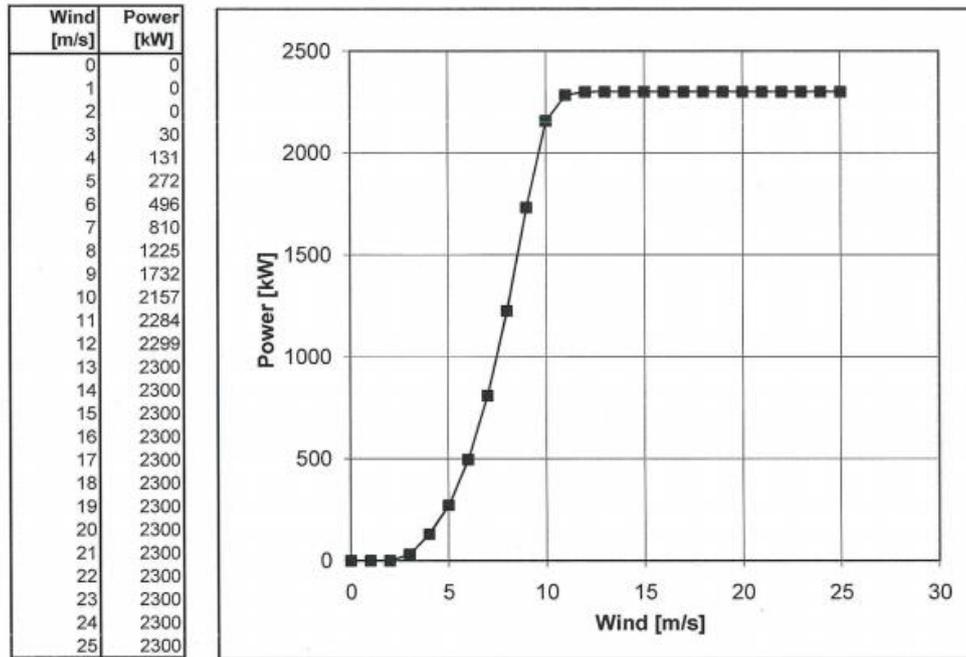


Figura 18: Curva de Potencia del modelo SWT 108-2.3  
Fuente: Empresa Tres Hermanas S.A.C.

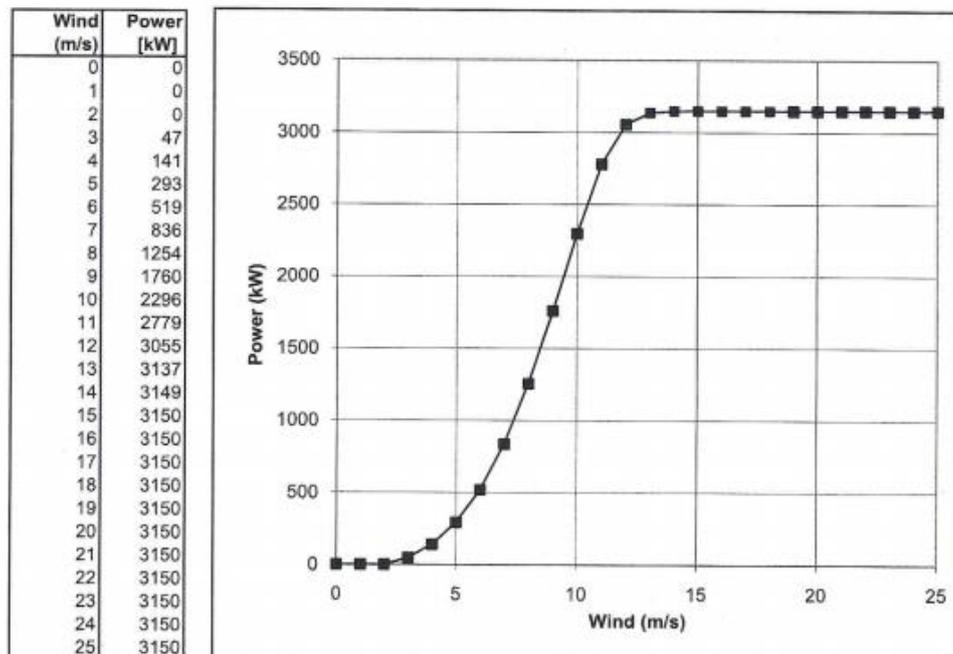


Figura 19: Curva de Potencia del modelo SWT 108-3.15  
Fuente: Empresa Tres Hermanas S.A.C.

<b>Día tomado: 01/06/2018</b>				
<b>Hora</b>	<b>Potencia SWT 108-3.15 (kW)</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Potencia SWT 108-2.3 (kW)</b>	<b>Velocidad</b>
12:30 am	3091.562069	12.4458789	2257.331034	10.7900081
01:00 am	3090.226197	12.4295878	2256.355636	10.7823278
01:30 am	3079.510036	12.2989029	2248.531137	10.7207176
02:00 am	3091.691765	12.4474606	2257.425733	10.7907538

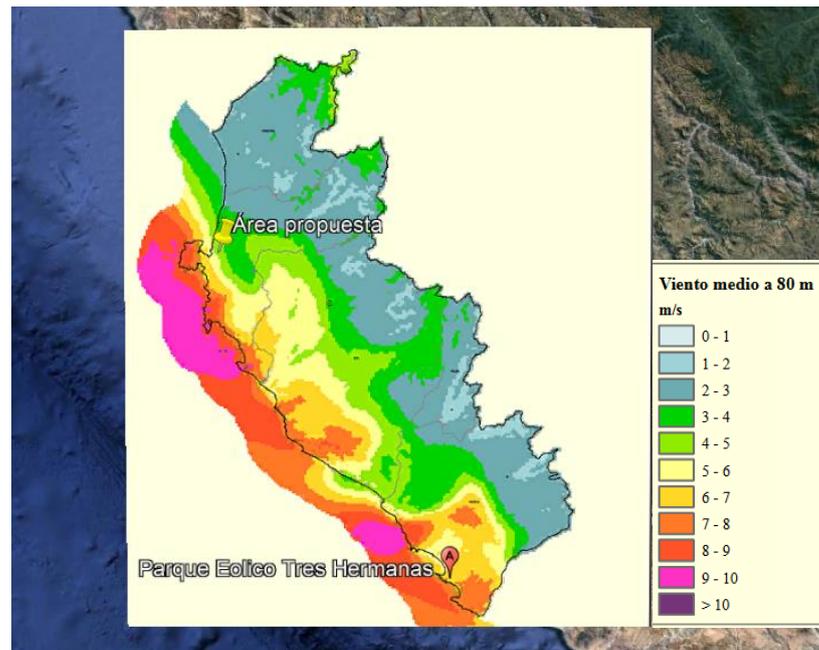
*Tabla 3: Formato de datos para obtener la velocidad de los aerogeneradores  
Fuente: Elaboración propia*

Una vez realizado el cálculo de velocidades, se procedió a obtener la velocidad promedio de cada mes (o la velocidad promedio diaria) como se puede observar en la Tabla 4.

<b>Mes</b>	<b>Velocidad diaria promedio (m/s)</b>
Junio	8.09
Julio	8.14
Agosto	8.28
<b>Promedio</b>	<b>8.17</b>

*Tabla 4: Potencia Promedio diaria de los últimos 3 meses  
Fuente: Elaboración propia  
Fuente datos: COES Generación Despacho Ejecutado Diario*

Una vez obtenida la velocidad de vientos real promedio diaria del último mes, se procedió a ubicar la central eólica Tres Hermanas en un atlas eólico medido a 80m de altura. Se eligió el atlas eólico del 2008 (ver Anexo 9).



*Figura 20: Parque Eólico Tres Hermanas ubicado en el atlas  
Fuente: Elaboración propia*

Utilizando Google Earth, se superpuso el atlas sobre la ubicación del parque eólico Tres Hermanas y se obtuvo que los aerogeneradores, por ubicación, debieran operar a una velocidad promedio de 7 a 8 m/s. Pero comparando el promedio obtenido de las mediciones reales, vemos que se encuentra afuera del rango, por encima del límite superior, sin embargo, el cálculo previamente realizado contiene un pequeño margen de error por lo cual se podría concluir que los datos del atlas se acercan a las operaciones reales.

Esto no quiere decir que el atlas eólico baste para evaluar el potencial de una zona por sí solo, lo que hace es dar indicios con un nivel alto de confiabilidad. Como mencionamos anteriormente, la información que se debe seguir cuando se evalúa el realizar o no este tipo de proyectos, son las mediciones tomadas in situ, en el mismo lugar.

Regresando a la propuesta planteada, una vez que se obtuvo el promedio anual estimado, observando una tendencia constante (ver Gráfico 1) se concluyó que dicho rango se mantendría en el tiempo. De modo que, para iniciar el estudio de viabilidad del proyecto, hace falta conocer cuáles son los requisitos mínimos de funcionamiento de un aerogenerador. Se ha preparado un cuadro de resumen (Cuadro 8) donde se explicará brevemente cuales son los requisitos y si la zona de estudio cumple o no con dichos requerimientos.

Requisito	Cumple	Justificación
Necesidad de espacio abierto	Si	Las Antillas de Paracas es una zona desértica que se caracteriza por ser casi completamente plana, por lo cual no habrán disruptores de aire que puedan afectar el funcionamiento de los aerogeneradores.
Espacio libre de obstáculos	Si	Se ha elegido precisamente la zona de las Antillas porque está libre de obstáculos que puedan crear turbulencias en los aerogeneradores tales como edificios, arboles, etc.
Recurso eólico suficiente	Si	Como se ha visto en cálculos anteriores, se prevé para la zona de las Antillas de Paracas una velocidad media anual de 4.5 m/s, la cual está por encima de la velocidad de arranque de un aerogenerador que es 3 m/s.

*Cuadro 8: Cuadro resumen de Requerimientos  
Fuente: Elaboración Propia*





## **Capítulo 5**

### **Análisis y discusión de resultados**

#### **5.1. Viabilidad del proyecto**

En el capítulo anterior, se ha podido comprobar que efectivamente, es factible la colocación de una solución eólica en Antillas de Paracas. Pero la pregunta que hay que responder es: ¿Qué tan viable es implementar esta solución eólica?

En este capítulo se tomarán en cuenta los aspectos para analizar la viabilidad de la implementación de la solución eólica, no solo en el área de interés sino en cualquier lugar cercano.

##### **5.1.1. Ubicación de la solución eólica**

Este es quizá uno de los aspectos más importantes a la hora de evaluar zonas con alto potencial energético debido a que existen leyes que restringen estos proyectos en determinados lugares. Es por esto que es necesario hacer un análisis de superposición de terrenos, en busca de evitar que puedan surgir problemas de viabilidad más adelante.



*Figura 21: Área cruzada con bases de datos para análisis de superposición*  
*Fuente Bases de Datos: Ing. Adolfo Rojas*  
*Fuente: Elaboración propia*

Los puntos que se evaluaron para el análisis de superposición de terrenos proporcionaron los siguientes resultados:

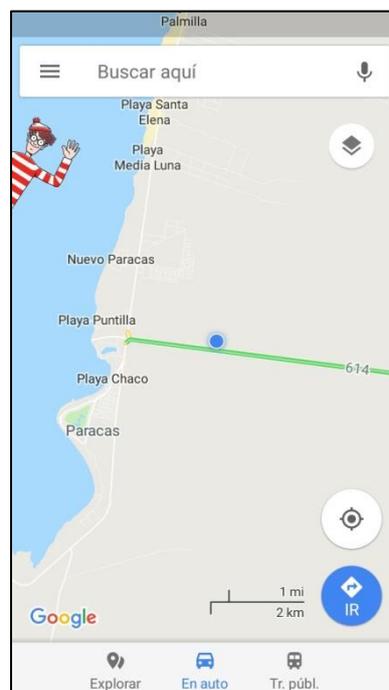
- Al cruzar información con las bases de datos del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP), Áreas Naturales Protegidas (ANP) Nacionales y Regionales y se puede observar una cercanía a la RESERVA NACIONAL DE PARACAS. Se concluye que no existe superposición que afecte.
- Se cruzó con el catastro digital de INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico) y se puede observar una cercanía a la CONCESION SIN ACTIVIDAD MINERA denominada 010318193. Se concluye que existe una superposición parcial que afecta la parte inferior de la zona de interés.
- Se cruzó con la base de datos de SUBESTACIONES ELECTRICAS del MEM (Ministerio de Energía y Minas) y se puede observar una cercanía a 1.70 km de la SUBESTACION PARACAS de 60 KV propiedad de ELECTRODUNAS. Se concluye que no existe superposición que afecte.
- Se cruzó con la base de datos de LINEAS DE TRANSMISION del MEM (Ministerio de Energía y Minas) y se puede observar una cercanía a 1.70 km de la LINEA DE TRANSMISION PARACAS P122 L-6605-2. Se concluye que no existe superposición que afecte.
- Se cruzó con 5 bases de datos de CONCESIONES ELECTRICAS DE GENERACION TEMPORALES Y DEFINITIVAS del MEM (Ministerio de Energía y Minas)

y se puede observar una cercanía a 5.38 km de la CENTRAL TERMICA PISCO de 20 MW propiedad de PLUSPETROL. Se concluye que no existe superposición que afecte.

El único aspecto a tomar en cuenta fue una superposición parcial con una concesión sin actividad minera, que también se encontraba superpuesta con un área natural protegida (en este caso, la Reserva Nacional de Paracas) por lo tanto se concluyó que no habrían problemas.

Una vez tomados en cuenta todos estos aspectos, el **área de interés** pasó a ser el **área propuesta** con coordenadas  $13^{\circ} 49.282'S$  y  $76^{\circ} 14.310'O$ .

Se realizaron 2 visitas a la zona escogida, y se pudo comprobar la existencia de espacios abiertos para el óptimo funcionamiento de los aerogeneradores como se puede observar en la Figura 22, Figura 23 y Figura 24.



*Figura 22: Ubicación desde donde se tomaron las imágenes  
Fuente: Elaboración propia*



*Figura 23: Fotografías de la zona escogida*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 24: Fotografía de la zona escogida*  
*Fuente: Elaboración propia*

Con la obtención de estos resultados, se procedió a la siguiente etapa de la evaluación de la viabilidad del proyecto.

### 5.1.2. Tipos de planta en función a su tamaño y sus finalidades

En este apartado se procedió a hacer una breve evaluación de las opciones o soluciones eólicas que se presentan cuando ya se ha elegido un terreno para la implementación de una planta de energía. Para dichos fines, se elaboró un comparativo mencionando los aspectos a tomar en cuenta al momento de decidirse por una opción o solución eólica.

	Potencia instalada mayor a 500kW	Potencia instalada menor a 500kW
On Grid	Requiere evaluar cercanía a líneas de transmisión y subestaciones eléctricas para conexión con el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). Asimismo, por tener una potencia instalada que supere los 500 KW, requerirá permiso de generación mediante una concesión definitiva (Art.3, Ley de Concesiones Eléctricas).	Requiere evaluar cercanía a subestaciones eléctricas para conexión con el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). No requiere permiso de generación o concesión definitiva, pero si debe cumplir con las normas técnicas y disposiciones de conservación del medio ambiente y del Patrimonio Cultural de la Nación (Art. 7, Ley de Concesiones Eléctricas).
Off Grid	No requiere evaluación de cercanías con líneas de transmisión y subestaciones eléctricas pertenecientes al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). Asimismo, por tener una potencia instalada que supere los 500KW, requerirá de un permiso de generación mediante una concesión definitiva (Art.3, Ley de Concesiones Eléctricas).	No requiere evaluación de cercanías con líneas de transmisión y subestaciones eléctricas pertenecientes al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). No requiere permiso de generación o concesión definitiva, pero si debe cumplir con las normas técnicas y disposiciones de conservación del medio ambiente y del Patrimonio Cultural de la Nación (Art. 7, Ley de Concesiones Eléctricas).

*Cuadro 9: Comparativo entre diferentes opciones para una planta eólica*

*Fuente: Elaboración propia*

Algunos conceptos a tener en cuenta para una mejor interpretación del comparativo:

- On Grid: Significa que la planta se encuentra conectada a la red nacional, Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) y es administrada y operada por el Comité de Operación Económica del Sistema (COES), por lo cual requiere cercanía a las líneas de transmisión y las subestaciones eléctricas.
- Off Grid: Significa que la planta no está conectada a la red. Esto por lo general aplica para proyectos pequeños cuyo fin sea el autoabastecimiento. La conexión será directa con el usuario final, en este caso, los pobladores de Paracas.
- Se ha revisado el Decreto Ley N°25844, Título I, Disposiciones Generales desde el artículo 1 hasta el

artículo 7, los cuales se podrán ver más a detalle en el Anexo 1.

Como podemos ver, hay varias consideraciones a tomar en cuenta al momento de decantarse por un plan de acción a seguir una vez elegida la zona en la cual se va a implementar la planta eólica.

### **5.1.3. Solución eólica elegida**

Una vez realizado el análisis de superposiciones de la zona elegida (Las Antillas de Paracas) y teniendo en cuenta todas las opciones que ofrece un proyecto eólico para su implementación, se debe elegir una para poder seguir con el análisis de viabilidad.

Con el fin de simplificar este estudio, el cual servirá como base para evaluar proyectos a futuro mucho más complejos, se ha optado por la opción más sencilla de analizar tanto a nivel legal, técnico, económico y socio ambiental. Esta opción viene a ser una **Planta Eólica off grid con una potencia instalada menor a 500 KW** cuya finalidad sea el autoabastecimiento de una comunidad en las Antillas de Paracas.

## **5.2. Consideraciones a tener en cuenta en el aspecto legal**

Las consideraciones que hay que tener en cuenta si se quiere evaluar la viabilidad legal del proyecto están precisadas en el artículo 3, Disposiciones Generales de la Ley de Concesiones Eléctricas (ver Anexo 1).

Este nos dice que solo requerirán concesión definitiva aquellas actividades de generación eléctrica con recursos energéticos renovables (RER) con potencia instalada mayor a 500 KW. Al ser la propuesta elegida menor a 500 KW, no requerirá concesión definitiva, ni permisos de funcionamiento.

Como terreno, tal como se vio en el análisis de superposiciones realizado, el terreno escogido no presenta problemas. Lo más relevante que se puede resaltar es una cercanía de 5.38 km a la Central Térmica de Pisco, una cercanía de 1.70 km a la subestación Paracas propiedad de ELECTRODUNAS y una cercanía de 250 m al límite de la Reserva Nacional de Paracas. Aunque, al tratarse de una solución aislada, está por lo general no presentará problemas en el análisis de superposiciones ya que este tipo de análisis se hace con más detalle para proyectos de gran envergadura.

También es necesario cumplir con el artículo 9 el cual indica que, si bien estas acciones de generación de energía no son supervisadas, tienen que cumplir con las normas técnicas y disposiciones de conservación del medio ambiente y del Patrimonio Cultural de la Nación.

## **5.3. Consideraciones a tener en cuenta en el aspecto social-medioambiental**

La generación de electricidad a partir del viento no produce gases tóxicos ni contribuye al efecto invernadero (EI), tampoco genera productos secundarios peligrosos, pero algunos efectos a corto, mediano y largo plazo requieren atención, y un plan de monitoreo posterior a la instalación de la planta.

Para la evaluación de los impactos sociales y medioambientales es necesario primero, explicar en qué consisten estos impactos y cómo afectan, si

positiva o negativamente, al entorno en el cual se evalúa el desarrollo de una solución eólica. Dicho esto, se evaluarán primero los impactos positivos:

- Ahorro de combustibles fósiles

Es importante cuantificar el ahorro en combustibles que supone el uso de la energía eólica, por lo cual se comparará con una central termoeléctrica (rendimiento 33%). Como se puede ver en la Figura 25, para producir 1 MW se necesitan 0.261 tep.

El ahorro anual en energía primaria que se obtiene por el uso de energía eólica puede estimarse en 550 tep por cada MW de potencia eólica nominal instalado, o lo que es lo mismo, 0.261 tep por cada MW de energía eléctrica proveniente del uso de aerogeneradores (Lopez, 2012).

Producción de 1 MW en una central térmica con un rendimiento del 33%	$\frac{1 \text{ MWh}}{0.33} \times \frac{1 \text{ tep}}{11,63 \text{ MWh}} = 0.261 \text{ tep}$
--	---

*Figura 25: Producción de 1 MW con uso de combustibles fósiles*  
Fuente: Ingeniería de la energía eólica (2012)

Para que se contextualice lo que representa este ahorro, 1 tep se define como una tonelada equivalente de petróleo, o lo que es lo mismo, 11.63 MW. También equivale a 7.5 barriles de petróleo (1 barril contiene 158.9 litros).

Es cierto que no en todos los casos la energía eólica reemplaza fuentes obtenidas por la vía térmica. Si lo aplicamos al Perú, donde el uso del gas natural se ha ido extendiendo en los últimos años, si parte de ello se reemplazara por energía eólica o alguna otra renovable, impactaría positivamente en las reservas de aquí a 30 años.

Adicionalmente, hay que mencionar que la energía eólica tiene una buena tasa de retorno energética. Esta tasa de retorno energética EPR (Energy Payback Ratio) viene definida como la relación entre la energía eléctrica neta total producida durante toda la vida de la planta y la energía empleada en los materiales, construcción, operación y desmantelamiento de la misma (Lopez, 2012).

- Actividades compatibles con la solución eólica

Al contrario que varios tipos de energía convencional, la energía eólica ofrece la ventaja de permitir la incursión de ciertas actividades por parte del medio natural y socioeconómico propio de la zona. Esta interacción del proyecto con las actividades desarrolladas en la zona donde se ejecuta no supone ningún tipo de alteración, por lo cual no hay necesidad de tomar medidas protectoras o correctivas.

Estas actividades se clasifican en:

**Ganadería:** La presencia de aerogeneradores no impide llevar a cabo esta actividad propia de la zona, aunque la mayoría de actividades ganaderas se concentran en el interior del país y no en la costa.

**Agricultura:** El mismo caso de la ganadería. La presencia de aerogeneradores no impide o altera el desarrollo de esta actividad. Un ejemplo de esto lo podemos ver en la mayoría de parques eólicos en Alemania, donde coexisten campos de cultivo con aerogeneradores como se puede ver en la Figura 26.



*Figura 26: Complejo Eólico Wirfus, Alemania  
Fuente: Diario ABC (2012)*

- El uso del suelo

Las necesidades del suelo es otro aspecto medioambiental al que se debe prestar atención. Dependiendo del tipo y tamaño del aerogenerador, estos se instalan manteniendo una distancia igual a 5 o 10 diámetros del rotor (la circunferencia producida por las palas) en dirección del viento (Lopez, 2012). Debido a que se trata de un proyecto pequeño, los aerogeneradores no requerirán tanto espacio de separación.

De toda la superficie, solo de un 5 a 10% está ocupado por los aerogeneradores e instalaciones auxiliares (Lopez, 2012). El espacio queda libre para actividades que no alteren el funcionamiento de los aerogeneradores (agricultura, ganadería, recreo, etc.) como se puede ver en la Figura 23. Así por ejemplo, de 1000 metros cuadrados que tenga una solución eólica, solo 50 a 100 metros cuadrados estarán ocupados físicamente, quedando 900 metros cuadrados libres.

- Reversibilidad del proyecto

La reversibilidad es un concepto que se debe tener en cuenta a la hora de evaluar la viabilidad de una solución energética. Este concepto nos indica

el grado de impacto de un proyecto en una determinada zona a corto, mediano y largo plazo.

Debido a que se plantea el desarrollo de la solución eólica en un área cerca de la Reserva Nacional de Paracas, es importante evaluar que tan persistentes serán los efectos producidos por los equipos una vez concluida la vida útil del proyecto.

Sin embargo, una de las principales ventajas de los parques eólicos es que son reversibles al 100%. Es fácil de desmantelar y la zona se puede recuperar rápidamente. Además, los componentes y materiales (acero, fibra de vidrio) se pueden reciclar o incluso pueden ser usados como materia prima para la producción de nuevos aerogeneradores que se vayan a instalar en otras zonas.

En relación a los aspectos negativos tenemos:

- Impactos medioambientales en la fauna marina

Algo común al momento de evaluar el impacto medioambiental de un parque eólico es la fauna (aves y otras especies voladoras). Este suele ser uno de los inconvenientes que presenta la instalación de los aerogeneradores, debido a la regularidad con la que las aves suelen estrellarse contra las palas de los aerogeneradores.

Este también es un aspecto importante a considerar ya que, debido a la cercanía de la solución eólica con la Reserva Nacional de Paracas, la implementación de dicha solución podría tener un efecto negativo sobre especies marítimas en estado de conservación cuya ruta migratoria pase a través de la zona escogida en las Antillas de Paracas.

Sin embargo, la solución eólica que se piensa implementar en este proyecto usa aerogeneradores pequeños (20 metros de altura) en comparación con los aerogeneradores usados en parques eólicos de mayor envergadura (80 a 100 metros de altura). Este hecho conlleva a que la solución eólica propuesta supone un impacto sumamente bajo en la fauna marítima ya que suelen volar a mayores alturas.

- Impactos sonoros

El ruido producido por un parque eólico tiene dos orígenes:

El primero es un ruido de origen mecánico, el cual es producido por el rozamiento de las distintas partes móviles del aerogenerador. Este ruido, a cierta distancia del mismo, no presenta ningún inconveniente (Lopez, 2012).

El segundo es un ruido de origen aerodinámico, que es el que puede causar problemas en comunidades próximas al aerogenerador. Se origina principalmente en las puntas y partes posteriores de las palas y aumenta con la velocidad de rotación de las mismas. Esta es una de las razones por las que se limita la velocidad de punta de las palas a 65 m/s en

aplicaciones terrestres. En marítimas (offshore) se permiten mayores velocidades (Lopez, 2012).

Fuente	dB (A)	Fuente	dB (A)
Daños en el oído	140	Local bullicioso	70
Avión turboreactor a 70 m	130	Despacho/domicilio	50
Umbral de dolor	120	Zona residencial	40
Martillo neumático	100	Gran aerogenerador a 350 m	35-45
Ferrocarril a 10 m	90	Estudio de grabación	20

*Tabla 5: Tabla de referencias de niveles sonoros  
Fuente: Ingeniería de la Energía Eólica (2012)*

Como se puede ver en la Tabla 5, un gran aerogenerador a 350 metros produce un sonido de 35 a 45 decibelios. En el caso de esta propuesta, la cual evalúa la implementación de una solución eólica pequeña, no se usarán grandes aerogeneradores sino unos más pequeños, los cuales producen un menor ruido que el señalado.

Adicionalmente, como se puede apreciar en la Figura 17, la zona escogida se encuentra alejada de la urbanización.

#### - Efecto parpadeo

Los aerogeneradores, al igual que el resto de estructuras altas, proyectarán una sombra en las áreas vecinas cuando el sol esté visible. Las personas que viven cerca de un aerogenerador, es posible que se vean molestadas cuando las palas del rotor corten la luz solar, causando un efecto parpadeo o efecto “shadow flicker” cuando el rotor está en movimiento (Sánchez, 2013).

Sin embargo, este problema es bastante sencillo de solucionar. Se puede prevenir este efecto plantando árboles (de mediana altura) que impidan ver este efecto o la colocación de persianas o cortinas en las ventanas.

#### - Impacto paisajístico

El impacto paisajístico de una solución eólica es muy importante, y suele ser una de las razones principales por la cual se procede o no con la ejecución de un proyecto eólico (ver Figura 27).

Para el escenario que se viene evaluando, la solución eólica propuesta no tendría un alto impacto paisajístico, pues los aerogeneradores que se utilizarán son pequeños, están ubicados en una zona con baja densidad poblacional y no quedan cerca de lugares turísticos.



*Figura 27: Impacto paisajístico de un parque eólico*

*Fuente: El Comercio (2017)*

Como se ha podido ver a lo largo de todos los impactos medioambientales, la implementación de la solución eólica trae consigo un balance positivo a nivel medioambiental. Este balance positivo, sin embargo, no es el único aspecto a tener en cuenta. Otro aspecto importante que hay que evaluar es qué impacto social y cultural supondría la implementación de esta solución eólica.

- Impactos sociales

Uno de los puntos más importantes que tienen a favor este tipo de energías, es que crean puestos de trabajo en las comunidades donde se instalan.

Al igual que los proyectos mineros, lo ideal sería que para la operación de maquinaria pesada necesaria para la instalación de los aerogeneradores, así como mano de obra básica, todo este requerimiento de personal sea cubierto por la propia comunidad que en principio, se vería beneficiada por este proyecto.

- Impactos culturales

El principal cambio que trae consigo la implementación de una solución eólica en una comunidad es una política amigable con el medio ambiente.

Esto además ayuda a generar conciencia sobre la importancia que tienen en el desarrollo de una comunidad (tanto social, económica, política) un

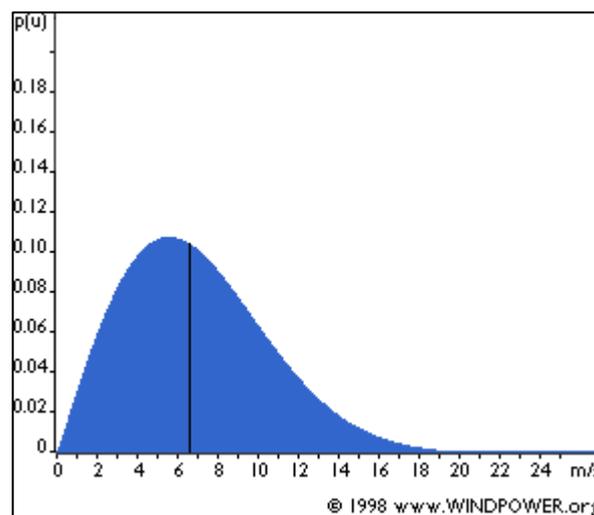
desarrollo sostenible, crecimiento planificado y políticas medioambientales que ayuden a preservar los ecosistemas del país.

#### 5.4. Consideraciones a tener en cuenta en el aspecto técnico

En el aspecto técnico, una vez realizado el estudio de las condiciones del lugar donde se desea implementar la solución eólica, y tomando en cuenta las consideraciones legales, sociales y medioambientales, se deben considerar los siguientes puntos:

##### 5.4.1. Mediciones de viento

En el capítulo 4 se ha evaluado el recurso eólico a nivel muy general, analizando solamente rangos de viento anuales. Sin embargo, es importante contar con la distribución de probabilidades de vientos, que suele describirse utilizando la distribución de probabilidades de Weibull.



*Figura 28: Distribución de probabilidades de Weibull*

*Fuente: www.WINDPOWER.org*

Esta distribución indica que probabilidad hay de encontrar un cierto valor de viento, y en resumen, indica cual es la probabilidad de que los vientos superen cierto “valor”.

Este “valor” puede abordarse de distintas formas, pero generalmente para este tipo de estudios suele ser la velocidad de arranque del aerogenerador. Así, si la distribución de probabilidades de vientos nos arroja que un 80% del tiempo, las velocidades de vientos estarán por debajo de ese valor, no tendría sentido colocar aerogeneradores en esa zona.

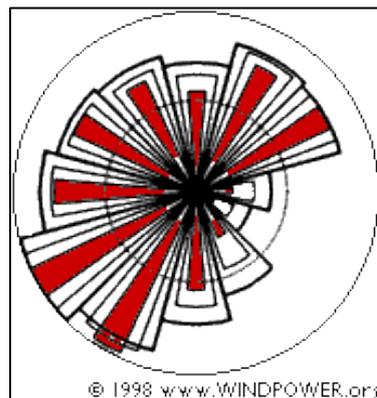
Los atlas eólicos nos pueden proveer ciertos indicios de que un lugar posee buen viento (como ya se ha visto en el Capítulo 4), pero son necesarias mediciones continuas en el lugar por medio de anemómetros automáticos (es decir, tener mediciones cada hora del día) y el poder armar esta distribución, pues como veremos más adelante, es necesaria para el cálculo de la energía que produce un aerogenerador. Y también es

necesaria para optimizar el diseño de los aerogeneradores, así como minimizar los costes de generación.

#### 5.4.2. Rosa de vientos

Las orientaciones de la rosa de los vientos son cuatro: Norte, Sur, Este y Oeste, a partir de éstos el horizonte queda dividido en cuatro partes de 90° cada una. La línea que une norte y sur se llama meridiana o línea norte-sur, mientras que la que une los otros puntos se llama línea este-oeste. De las bisectrices de cada uno de los ángulos rectos formados por las líneas meridiana y este-oeste resultan ocho nuevas orientaciones o rumbos llamados laterales que son: noreste, sureste, suroeste y noroeste. Si volvemos a dividir los rumbos laterales y los principales tendremos ocho nuevos rumbos llamados colaterales que son: nor-noreste, este-noreste, este-sureste, sur-sureste, sur-suroeste, oeste-suroeste, oeste-noroeste y norte-noroeste.

En resumen, la rosa de vientos permite conocer con qué probabilidad circulará los vientos en determinada dirección y con qué intensidad (Diccionario Náutico).



*Figura 29: Rosa de vientos de Brest, en la Costa Atlántica de Francia  
Fuente: [www.WINDPOWER.org](http://www.WINDPOWER.org)*

Un vistazo a la rosa de los vientos es extremadamente útil para situar aerogeneradores. Si una gran parte de la energía del viento viene de una dirección particular, lo que se querrá, cuando se coloque una turbina eólica en el paisaje, será tener la menor cantidad de obstáculos posibles en esa dirección. Es por esta razón que las mediciones de vientos aparte de magnitud tienen orientación.

#### 5.4.3. Aerogeneradores

El aspecto más importante que se debe evaluar una vez comprobado que efectivamente, un lugar es factible para la implementación de una solución eólica son los aerogeneradores. Pero, ¿Cómo saber cuál elegir? ¿A qué altura ponerlos? ¿Qué modelo es el más eficiente?

Todas estas preguntas están sujetas a distintas variables que hacen que el diseño de una solución eólica sea lo más difícil y complicado dentro de un proyecto de esta naturaleza.

- Comenzar por el tipo de proyecto

El tipo de proyecto influye mucho en el tipo de aerogenerador que se va a elegir. Si la solución es un megaproyecto de 100 MW de potencia instalada se necesitarán los grandes aerogeneradores, de más de 100 metros de altura. Y si lo que se busca es una solución que aporte a una pequeña comunidad, sería más recomendable optar por unos más pequeños. Por ejemplo, el Parque Eólico Wayra I utiliza aerogeneradores de 3.15 MW de potencia (ver Anexo 6) mientras que para proyectos eólicos pequeños existen aerogeneradores de 1.5 KW.

- Aerogeneradores: potencia y a qué altura colocarlos

Una vez se ha elegido el tipo de aerogenerador con el que se va a trabajar, lo siguiente es ver la curva de potencia de este.

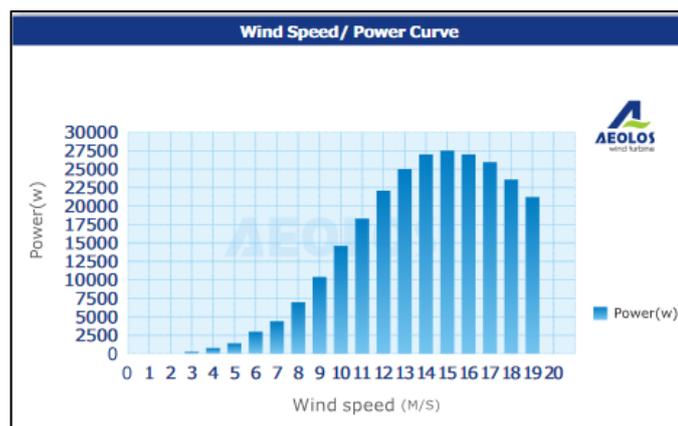


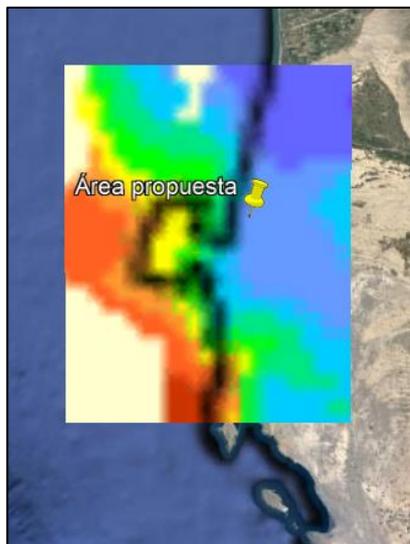
Figura 30: Curva de potencia del aerogenerador Aeolos-H 20 KW

Fuente: [www.windturbinestar.com](http://www.windturbinestar.com)

Esta curva es proporcionada por el fabricante y nos da dos valores principales: la velocidad de arranque y la velocidad de corte (para evitar daños en el equipo). La velocidad de arranque es donde empieza a funcionar el aerogenerador y la velocidad de corte es aquella en la cual los vientos son tan fuertes que el aerogenerador para el funcionamiento, por ello se aprecia un “pico” en la curva de potencia.

Dependiendo de a qué altura se deseen colocar, los aerogeneradores serán capaces de generar más o menos energía. Y para cada aerogenerador, con una curva de potencia diferente, habrá que encontrar aquel que ofrezca una mayor potencia a esa altura, así como una relación potencia-precio que se tendrá que tomar en cuenta.

Por ejemplo, en la Figura 31 se tiene el atlas eólico a 25m de altura superpuesto con la zona propuesta. Se ha elegido 25m porque se está evaluando el autoabastecimiento a una pequeña comunidad en Paracas, lo cual nos indica que deberíamos usar aerogeneradores pequeños (25 a 30 metros de altura). Según el atlas (ver anexo 10) la zona propuesta tiene un rango de velocidades de 3 a 4 metros de altura.



*Figura 31: Atlas eólico a 25m superpuesto con la zona propuesta  
Fuente: Elaboración propia*

Observando la figura 31, dicho aerogenerador ofrece muy poca potencia para esas velocidades, por ende no sería el más indicado para utilizarlo como solución eólica en la zona propuesta.

#### **5.4.4. Coeficiente de potencia y Ley de Betz**

El coeficiente de potencia de un aerogenerador nos indica con qué eficiencia dicho aerogenerador aprovecha la potencia del viento. En el capítulo 2, se vio como se obtiene la potencia en el viento que depende esencialmente de la densidad del aire, velocidad y área de barrido del rotor.

Este coeficiente vendría a ser obtenido simplemente dividiendo la potencia a la salida del rotor (obtenido de la curva de potencia) entre la potencia en el viento. Este valor no es fijo, sino que varía de acuerdo a la velocidad del aire y siempre es menor que el límite de Betz, que es de 0.59. Esto nos dice que no necesariamente es mejor un aerogenerador con un mayor coeficiente de potencia, sin embargo, es otro aspecto importante a tomar en cuenta al momento de decantarse por un aerogenerador.

#### **5.4.5. Energía producida por un aerogenerador**

La energía producida por un aerogenerador depende principalmente de dos factores:

- La curva de potencia del aerogenerador: Es proporcionada por el fabricante del aerogenerador y está elaborada a condiciones atmosféricas estándar ISO (15°C, 1.013 mbar) para las que la densidad del aire es de 1.225 kg/m<sup>3</sup>.
- La distribución anual de la velocidad de viento a la altura del buje del rotor y por lo tanto la potencia eólica disponible. La curva duración anual de la velocidad del viento indica el número de horas al año en las que la velocidad es mayor o igual a cierto “valor”. Puede obtenerse por el tratamiento estadístico de un conjunto histórico de medidas o por la distribución de Weibull correspondiente a las velocidades de vientos a la altura del buje (Lopez, 2012).

La energía producida durante un período viene dada por la siguiente fórmula:

$$E = T \int p(v)P(v)dv$$

*Figura 32: Energía producida por un aerogenerador en un tiempo T*  
*Fuente: Ingeniería de la energía eólica (2012)*

$$\langle P \rangle = \frac{E}{T} = \int p(v)P(v)dv$$

*Figura 33: Potencia entregada por un aerogenerador en un tiempo T*  
*Fuente: Ingeniería de la energía eólica (2012)*

Dónde:

$p(v)$ : Función densidad de probabilidad de velocidad correspondiente al periodo T

$P(v)$ : Potencia del aerogenerador frente a la velocidad del viento (curva de potencia)

T: Periodo de tiempo considerado. Generalmente 1 año (8760 horas).

El cálculo de esta expresión sin embargo, tiene algunas consideraciones a tomar en cuenta:

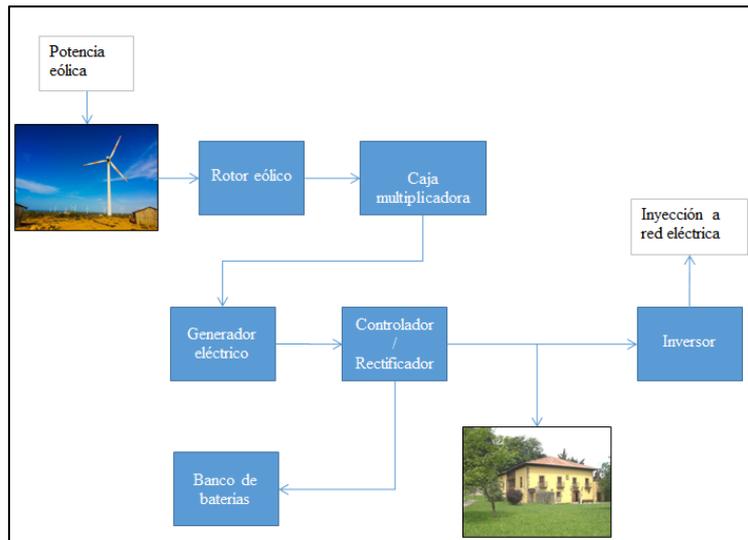
- El valor inferior no es cero, sino es la velocidad de arranque del aerogenerador. Esto debido a que la función curva de potencia por debajo de la velocidad de arranque siempre será cero.
- La expresión se divide en tres factores, el primer factor contiene rangos desde la velocidad de arranque hasta la

velocidad nominal. El segundo factor contiene los rangos desde la velocidad nominal hasta la velocidad de corte. En este segundo factor, la función curva de potencia es constante debido a que el aerogenerador no puede producir por encima de su potencia nominal, por lo que solo habría que integrar la función densidad de probabilidad en el rango ya definido. El tercer factor contiene los rangos desde la velocidad de corte hasta un valor “grande” de velocidad, en este rango la función curva de potencia siempre será de cero debido a que por motivos de seguridad y protección del equipo, este se apagará con velocidades mayores a la de corte.

#### **5.4.6. Otros componentes que acompañan al aerogenerador**

En el capítulo 2 ya se explicó brevemente como funciona un aerogenerador. Sin embargo, el diseño de las soluciones eólicas no consiste solamente en la elección del aerogenerador a utilizar sino que también entran a jugar una serie de componentes y en conjunto con el aerogenerador, garantizan la llegada de energía eléctrica hasta el usuario final, el poblador de la zona de Paracas (ver Figura34).

- Rotor eólico: Básicamente, es la parte que sostiene a las palas. Es la que es impulsada por el viento y se mueve produciendo una energía mecánica.
- Caja multiplicadora: Tiene la tarea de acoplar las bajas velocidades del rotor con altas velocidades del generador, es decir, consigue multiplicar los rpm del rotor y los transforma en altos rpm de entrada al generador. Algunos modelos de aerogeneradores no cuentan con caja multiplicadora.
- Generador eléctrico: Convierte las rpm que salen de la caja multiplicadora en corriente eléctrica alterna mediante un alternador, que en los aerogeneradores suele ser trifásico.
- Rectificador/controlador: Convierte la corriente eléctrica alterna en corriente continua.
- Banco de baterías: Conjunto de baterías conectadas entre sí en paralelo o en serie que sirven para proveer de electricidad en las horas en las que no hay viento. Este suele ser el punto débil de las soluciones offgrid, ya que al no poder regular el viento se suelen agotar rápidamente. Las más usadas son las baterías de ion-litio.
- Inversor: Tiene la función de pasar la corriente continua a corriente alterna para poder inyectar la electricidad a la red nacional. No es utilizado en soluciones eólicas offgrid.



*Figura 34: Diagrama simple de una solución eólica*  
*Fuente: Elaboración propia*

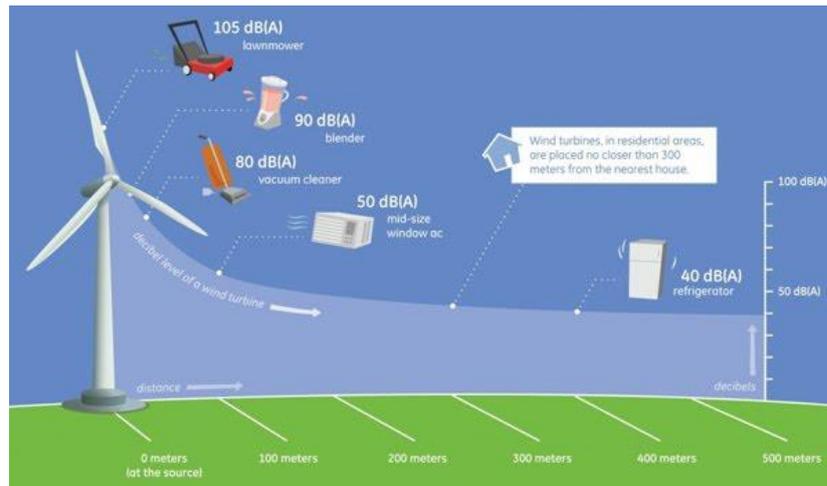
Es importante mencionar que todos estos componentes manejan un valor de eficiencia, ya que siempre habrá pérdidas de energía. Por ejemplo, el rendimiento de transmisión de una caja multiplicadora está entre 0.95 y 0.98 mientras que el del generador eléctrico entre 0.90 y 0.98 (Lopez, 2012).

#### **5.4.7. Distribución de los aerogeneradores**

Una vez se ha definido qué tipo de aerogenerador se quiere usar en la solución eólica, hay que definir cómo es que estos aerogeneradores se van a posicionar a lo largo del terreno que se ha elegido. Para el posicionamiento de los aerogeneradores hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

- Cercanía a la comunidad

Hay que tomar en cuenta los impactos sociales que tienen los aerogeneradores en un lugar. El primero es el ruido producido por las hélices del rotor. Como ya se explicó antes, este ruido es de origen aerodinámico y por ello es recomendable situarlos a no menos de 300 metros de las comunidades vecinas (ver Tabla 5). A esta distancia, el ruido producido por los aerogeneradores se percibe al igual que el sonido de un refrigerador (Parque Eólico Chiloé, 2012).



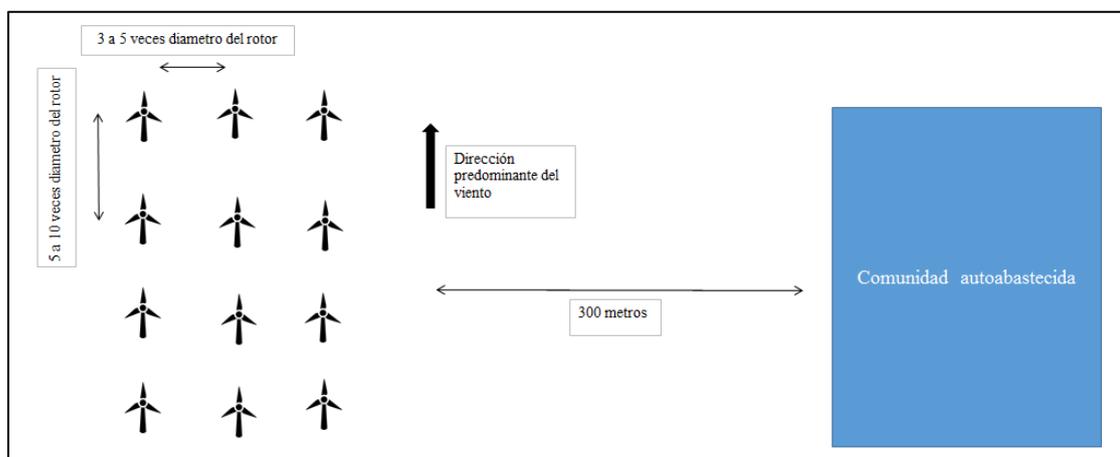
*Figura 35: Niveles de ruido por cercanía a un aerogenerador*  
*Fuente: www.parqueeolicochiloe.com*

- Colocación en serie o en paralelo

Otro punto que se tendrá que evaluar es como se van a situar los aerogeneradores. Generalmente están situados en serie, y por medio de un análisis económico habrá que decidir si se quiere colocar un rectificador para cada aerogenerador o si todos van a converger en un gran rectificador.

- Separación entre aerogeneradores

Para la colocación de los aerogeneradores en serie, se recomienda que tengan una separación de 5 a 10 veces el diámetro del rotor, mientras que para la colocación en paralelo se recomienda que tengan una separación de 3 a 5 veces el diámetro del rotor (Rojas, 2018).



*Figura 36: Ejemplo de disposición de aerogeneradores*  
*Fuente: Elaboración propia*

## 5.5. Consideraciones a tener en cuenta en el aspecto económico-financiero

Una vez se han tomado en cuenta todas las consideraciones mencionadas anteriormente, llega el momento de valorizar el proyecto. Esto se hace para saber desde el punto de vista financiero, que tan atractiva puede resultar la propuesta al momento de buscar el financiamiento de la misma.

Dicho esto, para evaluar el aspecto económico financiero y tomando en cuenta las consideraciones legales, medioambientales, sociales y técnicas se deben considerar los siguientes puntos:

### 5.5.1. Potencia del proyecto

Se definió la potencia del proyecto en 25 KW de potencia instalada. Esto debido a que la hipotética demanda de 20 casas que se va a satisfacer da un total de 25KW (1.25 KW por casa). Además, proyectos más grandes en potencia no serían viables económicamente ya que se tendría que considerar mucho almacenamiento (banco de baterías) para poder cubrir las horas que no hay viento (Rojas, 2018).

### 5.5.2. Demanda a atender

Este es un aspecto importante a considerar dentro de un proyecto de estas características, ya que cuando se habla de autoabastecimiento, hay que tener claro que o a quienes se está abasteciendo con la implementación de la solución eólica.

Se definió el autoabastecimiento a una comunidad de 20 casas en Paracas. Para el consumo total de las 20 casas se elaboró el siguiente cuadro (Cuadro 10). Se consideró que cada casa tenía un televisor, una refrigeradora y 5 focos.

Descripción	Cant.	Potencia (w)	Consumo Diario (h/día)	Total Consumo (W)	Total Consumo Diaria (wxh/día)	Total Consumo Diaria (KWh/día)
Televisión	20	100	6	2,000	12,000	12
Refrigeradora	20	300	8	6,000	48,000	48
Iluminación	100	100	8	10,000	80,000	80
Otros	20	350	6	7,000	42,000	42
<b>TOTAL CONSUMO DIARIO</b>				<b>25,000</b>	<b>182,000</b>	<b>182</b>

*Cuadro 10: Consumo promedio de hogar básico  
Fuente: Elaboración propia*

Con este cuadro de consumo se procedió a realizar la curva de consumo de energía de la comunidad. Esto es importante ya que nos permite saber en qué períodos se dará la mayor demanda energética, y, dependiendo de la disponibilidad del viento, ver si dicha demanda podrá ser cubierta con la solución eólica o si se tendrá que usar el banco de baterías. Para elaborar el diagrama de cargas se consideró consumo mínimo en la madrugada (11:00 pm a 06:00a m) y consumo máximo en la tarde (06:00pm a 10:00 pm).

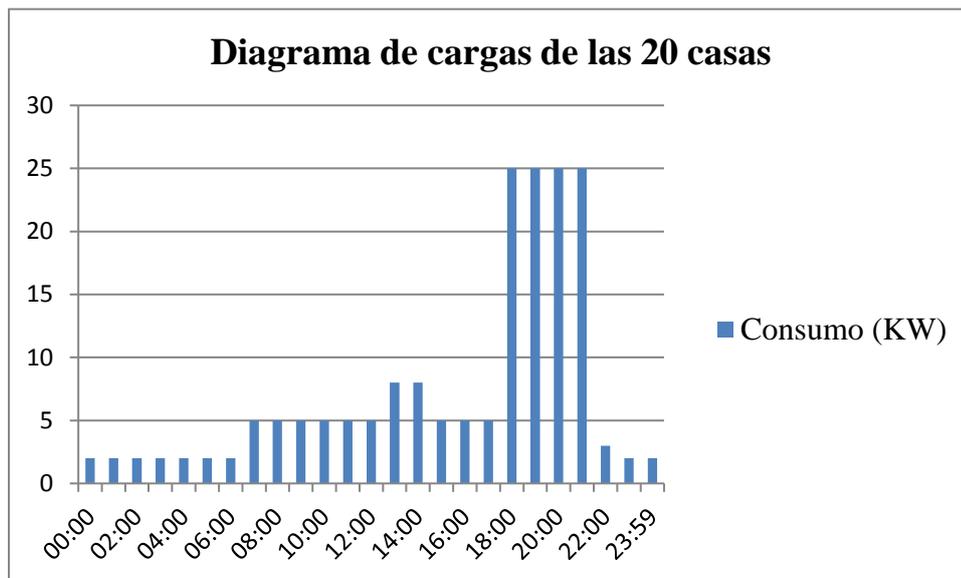


Gráfico 2: Curva de demanda de la comunidad autoabastecida

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.3. Inversión y tiempo de retorno

Para estimar la inversión a realizar y la posterior elaboración del flujo de caja del proyecto es necesario tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Presupuesto estimado del proyecto

Posterior al diseño de la solución eólica es importante tener definido el presupuesto inicial del proyecto. En el Cuadro 11 se ha elaborado un presupuesto simple de una solución eólica.

Ítem	Descripción	Cant.	Costo Unit.	Costo Total	Observaciones
1	Aerogenerador	$X_1$	$Y_1$	$X_1 * Y_1$	Especificaciones técnicas
2	Rectificador/ Controlador	$X_2$	$Y_2$	$X_2 * Y_2$	
3	Inversor	$X_3$	$Y_3$	$X_3 * Y_3$	
4	Banco de baterías	$X_4$	$Y_4$	$X_4 * Y_4$	
5	Protecciones corriente continua	$X_5$	$Y_5$	$X_5 * Y_5$	
6	Protecciones corriente alterna	$X_6$	$Y_6$	$X_6 * Y_6$	
<b>SUBTOTAL SUMINISTROS</b>				Suma de costos	

Cuadro 11: Presupuesto inicial de una solución eólica

Fuente: Elaboración propia

- Presupuesto de servicios del proyecto

No solo hay que considerar el coste de los equipos, ya que la solución eólica no consiste solo en la adquisición de estos. Es necesario también considerar los servicios que necesitará el proyecto a lo largo de su instalación, operación y posterior cierre. En el Cuadro 12 se ha elaborado

un presupuesto simple de los servicios que necesitaría la instalación de los equipos.

Ítem	Descripción	Cant.	Costo Unit.	Costo Total	Observaciones
1	Desarrollo Proyecto	$X_1$	$Y_1$	$X_1*Y_1$	
2	Instalación	$X_2$	$Y_2$	$X_2*Y_2$	
3	Puesta en Marcha	$X_3$	$Y_3$	$X_3*Y_3$	
4	Operación y Mantenimiento	$X_4$	$Y_4$	$X_4*Y_4$	
5	Otros	$X_5$	$Y_5$	$X_5*Y_5$	
<b>SUBTOTAL SERVICIOS DEL PROYECTO</b>					

*Cuadro 12: Presupuesto de servicios del proyecto  
Fuente: Elaboración propia*

- Costo de oportunidad del proyecto

Al momento de evaluar que tan rentable resulta el proyecto, es necesario saber el costo de oportunidad del mismo para poder compararlo con este.

Por lo general, para evaluar este tipo de proyectos se suele comparar con el costo de oportunidad de la instalación de un grupo electrógeno. Un grupo electrógeno es un generador eléctrico que es alimentado por un motor de combustión interna. Entonces se tendría que hacer también la evaluación de la instalación de un grupo electrógeno en la zona, si es viable económicamente la instalación de la solución eólica propuesta. Esto es importante cuando se quiere obtener financiamiento por parte de entidades privadas

Como se ha mencionado a lo largo del presente trabajo, las mediciones tomadas en la zona donde se desea implementar la solución eólica son muy importantes ya que nos permiten diseñar la solución de la manera más eficiente y barata posible. El diseño de una solución offgrid va desde el cálculo del diámetro de las palas, la potencia que deben ofrecer, cuantos se van a implementar, el diseño del rectificador, el diseño del controlador, el diseño del sistema de almacenamiento, protección de cableado de corriente alterna y continua, etc.

Para fines prácticos, se ha realizado una evaluación económica de un hipotético proyecto offgrid de 25KW en Paracas contra la alternativa que sería la instalación de un grupo electrógeno en la zona. Para esta evaluación se considerara fija la tasa de cambio en 3.31 soles / US\$.

- Grupo Electrógeno

Los montos considerados en la Tabla 6 son referenciales brindados por el Ing. Adolfo Rojas, pero para una evaluación real se deben cotizar estos precios.

Descripción - Solución Grupo Electrónico	Monto	U. M
Costo GE 25KW	10,500	US\$
Costo de Operación y Mantenimiento (5% del costo de instalación)	4,500	US\$
Costo anual de Combustible	16,821.57	US\$
Otros (Instalación + Logística + Cableado + Protecciones AC)	5,000.00	US\$
TOTAL INVERSION	15,500	US\$
Costo O&M	21,321.57	US\$
<b>RATIO US\$/KW</b>	<b>620</b>	<b>US\$/KW</b>
<b>Costo O&amp;M</b>	<b>0.32</b>	<b>US\$/KWh</b>

*Tabla 6: Descripción del Grupo Electrónico  
Fuente: Elaboración propia*

Para el cálculo del costo anual del combustible se consideró Gasohol 84 plus a un precio de 13.18 soles el galón en Paracas (Osinermin). Considerando una demanda diaria de energía según el Cuadro 10, se obtuvo:

Descripción	Cantidad	Unidades
Demanda diaria	182	KWh /día
Demanda de energía anual	66,430	KWh/año
<b>Requerimiento de diesel</b>		
Poder calorífico	45	KJ/g
Factor energía	0.00028	KWh/KJ
Densidad diesel	0.832	g/ml
Costo de diesel	13.18	soles/galón
Se considera un rendimiento estándar del 40%		
Considerar 1 galón = 3.75L		
<b>Diesel requerido</b>		
Requerimiento anual de diesel	4,224.54	gal/año
Costo anual de diesel (soles)	55,679.40	soles/año
Costo anual de diesel (dólares)	16,821.57	US\$/año

*Tabla 7: Cálculo del requerimiento y costo anual del diésel  
Fuente: Elaboración propia*

Ahora, los ratios que se suelen comparar en la evaluación de este tipo de proyectos son dos: el ratio de operación y mantenimiento, que considera los costos de operación (costo de combustible) y mantenimiento del

grupo por kilovatio-hora; y el ratio de dólares por kilovatio instalado, acá se considera la inversión inicial y la potencia instalada del proyecto. Para el caso del grupo electrógeno son de 0.32 US\$/kwh y 620 US\$/kw.

Una vez obtenidos estos ratios, se procede a hacer el flujo de caja económico con un horizonte a 20 años. Para esta evaluación se consideró un incremento anual de 2% sobre el año anterior tanto en el mantenimiento del grupo electrógeno como del costo del combustible (ver Tabla 8).

Horizonte a 20 años					
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
<b>Inversión</b>	-15,500.00	-36,821.57	-58,569.57	-80,752.53	-103,379.16
<b>Costo de Operación y Mantenimiento</b>	-4,500.00	-4,590.00	-4,681.80	-4,775.44	-4,870.94
<b>Costo anual de Combustible</b>	-16,821.57	-17,158.00	-17,501.16	-17,851.19	-18,208.21
<b>Total</b>	-36,821.57	-58,569.57	-80,752.53	-103,379.16	-126,458.31
	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b>Inversión</b>	-126,458.31	-149,999.05	-174,010.60	-198,502.38	-223,484.00
<b>Costo de Operación y Mantenimiento</b>	-4,968.36	-5,067.73	-5,169.09	-5,272.47	-5,377.92
<b>Costo anual de Combustible</b>	-18,572.37	-18,943.82	-19,322.70	-19,709.15	-20,103.33
<b>Total</b>	-149,999.05	-174,010.60	-198,502.38	-223,484.00	-248,965.25
	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
<b>Inversión</b>	-248,965.25	-274,956.12	-301,466.82	-328,507.72	-356,089.45
<b>Costo de Operación y Mantenimiento</b>	-5,485.47	-5,595.18	-5,707.09	-5,821.23	-5,937.65
<b>Costo anual de Combustible</b>	-20,505.40	-20,915.51	-21,333.82	-21,760.50	-22,195.70
<b>Total</b>	-274,956.12	-301,466.82	-328,507.72	-356,089.45	-384,222.81
	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
<b>Inversión</b>	-384,222.81	-412,918.83	-442,188.78	-472,044.13	-502,496.58
<b>Costo de Operación y Mantenimiento</b>	-6,056.41	-6,177.54	-6,301.09	-6,427.11	-6,555.65
<b>Costo anual de Combustible</b>	-22,639.62	-23,092.41	-23,554.26	-24,025.34	-24,505.85
<b>Total</b>	-412,918.83	-442,188.78	-472,044.13	-502,496.58	-533,558.08

*Tabla 8: Flujo económico para un grupo electrógeno*  
Fuente: Elaboración propia

Luego se obtiene el costo total del proyecto, considerando el costo total de mantenimiento y de combustible en los 20 años que estará operando el grupo electrógeno (ver Tabla 9).

<b>Inversión</b>	15,500.00	US\$
<b>Costo Combustible 20 años</b>	408,719.92	US\$
<b>Costo O&amp;M 20 años</b>	109,338.16	US\$
<b>Costo Total Proyecto 20 años</b>	533,558.08	US\$
<b>Periodo Retorno (Años)</b>	N/A	Años

*Tabla 9: Costo total del Proyecto y Periodo de retorno*

*Fuente: Elaboración propia*

Al no haber un saldo positivo antes del término del año 20, se concluye que la alternativa del grupo electrógeno no tiene un tiempo de retorno, no se recupera la inversión.

- Solución eólica offgrid

Para hacer la evaluación de una solución eólica offgrid primero se debe diseñar el sistema como se mencionó anteriormente. El diseño de una solución offgrid va desde el cálculo del diámetro de las palas, la potencia que deben ofrecer, cuantos se van a implementar, el diseño del rectificador, el diseño del controlador, el diseño del sistema de almacenamiento, protección de cableado de corriente alterna y continua, etc.

El sistema se está diseñando para que 1 solo aerogenerador pueda cubrir la demanda en conjunto con las baterías. Es decir, durante su tiempo de funcionamiento, el aerogenerador deberá ser capaz de cargar las baterías en caso estas se hayan descargado las horas que no hay viento.

<b>DATOS GENERALES PROYECTO SISTEMA EOLICO CON BATERIAS AISLADO A RED COMERCIAL</b>	
Nombre del Proyecto	Antillas de Paracas
Potencia	25 KW
Tecnología	Eólica + Baterías Off Grid
Ubicación	Paracas - Ica
Latitud	-13.824
Longitud	-76.181

*Tabla 10: Datos generales del Proyecto*

*Fuente: Elaboración propia*

Como datos generales del proyecto tenemos la ubicación, la potencia del proyecto y la tecnología a emplear (ver Tabla 10). La potencia del proyecto se define en 25KW con los datos del Cuadro 10. También de este cuadro se obtiene la demanda diaria de energía que debe cubrir el sistema propuesto, en este caso es de 182 KWh/día.

Con esta demanda se procedió a calcular la potencia teórica del aerogenerador a utilizar.

**CALCULO DE LA POTENCIA DEL AEROGENERADOR**

Energía Requerida Diaria	182,000 Wh/día	182 KWh/día
Factor	1	
Energía Requerida Diaria con Factor	182,000 Wh/día	182 KWh/día
Horas de Viento Estimadas	10 Horas	
Margen Seguridad	1.1	
Potencia Aerogenerador	20,020 W	20.02 KW
Rendimiento Global	0.35	
Densidad Aire	1.25 Kg/m <sup>3</sup>	
Coefficiente Potencia	0.32	

*Tabla 11: Calculo de la Potencia del Aerogenerador  
Fuente: Elaboración propia*

Para elaborar la tabla 11 se tomaron las siguientes consideraciones:

Se estimaron las horas de viento en 10. Las horas de viento viene a ser el factor de planta de los aerogeneradores o lo mismo que es cuánto tiempo del día estarán funcionando. Esto se obtuvo promediando los factores de planta de las diferentes centrales eólicas del país (ver Anexo 11) en el último año. Este promedio nos arrojó un factor del 50% o lo que es lo mismo, 12 horas de viento al día. Pero estas centrales utilizan grandes aerogeneradores, y como se explicó en el Capítulo 4, a mayor altura el viento se hace más constante. Es por esto que se consideró un coeficiente de planta menor que el promedio, que son 10 horas de viento al día o 42%.

Se asumió un factor de 100%, esto significa que cuando los aerogeneradores no estén cubriendo la demanda, lo harán las baterías durante las 24 horas del día.

Se asumió un 10% adicional de energía para cubrir el consumo de los equipos que conforman el sistema a diseñar (controlador, inversor, pérdidas de energía en cableado).

Para el rendimiento global del sistema y la densidad del aire también se asumieron valores estándar.

El coeficiente de potencia se obtuvo de la hoja de fabricante del modelo de aerogenerador cotizado Aeolos-50KW.

Para cubrir la demanda total requerida (ver Tabla 10) con 1 solo aerogenerador, este debe tener una potencia teórica de 32.12 KW.

Luego se procedió a hacer el cálculo del diámetro teórico con la siguiente fórmula:

$$Diametro = \sqrt{\frac{8 * Potencia_{aerogenerador}}{n_{global} * \pi * \rho * v^3}}$$

*Figura 37: Cálculo de diámetro del aerogenerador  
Fuente: Ingeniería de la energía eólica (2012)*

Las palas de aerogenerador deben tener un diámetro de 29.64m o un radio de 14.82m.

La teoría dice que si se desea cubrir la demanda diaria de la comunidad con un solo aerogenerador, este debe ser de una potencia nominal de 20.02 KW y debe tener palas de 14.82m de longitud.

Es importante mencionar que la potencia nominal se alcanza condiciones ideales, pero se debe escoger un aerogenerador que ofrezca una mayor potencia según las condiciones de la zona que se ha escogido. El aerogenerador elegido para la evaluación de este proyecto es el Aeolos-50KW, con un diámetro de rotor de 18m, palas de 9m de longitud (ver Anexo 12).

Una vez elegido el modelo de aerogenerador se procede a realizar el cálculo de energía generada por éste (ver Tabla 12).

<b>CALCULO DE LA ENERGIA GENERADA POR EL AEROGENERADOR SELECCIONADO</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Considerar</b>
Potencia Aerogenerador Seleccionado	50.00	KW	Según cotización AEOLOS
Altura Torre	30.00	m	Se asume torres estándar
Velocidad Promedio Viento	5.10	m/s	Según Simulador ENAIR
Horas de Viento	10.00	Horas	Según COES factores promedio Parques Eólicos existentes (50%) o 12 hora de viento
Potencia Aerogenerador	5,999.00	w	Según Curva Potencia Fabricante
Coeficiente de Potencia	0.32		Según hoja del fabricante
Energía Diaria Generada	59.99	KWh	Se asume velocidad constante durante 10 horas
Factor	42%		
Corriente Salida AC	20.83	A	Voltaje de salida AC en 360V y un factor de 0.8 para sistemas trifásicos.

*Tabla 12: Calculo de energía generada por aerogenerador seleccionado  
Fuente: Elaboración propia*

Como podemos ver, la potencia nominal y por consiguiente, la energía que generan dista mucho dependiendo de las condiciones del lugar. La dificultad en el diseño y elección del aerogenerador radica en encontrar uno que se desempeñe bien en las condiciones del lugar elegido.

Para este caso, el aerogenerador que se ha elegido en las condiciones del lugar seleccionado sólo produce al día, considerando 10 horas de viento a 5.1 m/s de velocidad a 30 metros de altura, 59.99 KWh de energía. Esto

representa el 33% de la demanda total. Esto nos indica que el resto de la demanda debe ser cubierta por un banco de baterías que para este caso serán baterías de ion-litio y su diseño será explicado a continuación. Nótese que también se ha calculado la salida AC del aerogenerador. Este dato se usará en el diseño del banco de baterías para ver cuánto tiempo demora el aerogenerador en cargar el banco de baterías durante su tiempo de funcionamiento en el día.

Para elaborar la Tabla 13 se tomaron las siguientes consideraciones:

El voltaje de baterías se definió en 48V debido a que el voltaje de las baterías depende del tamaño del proyecto. Para un proyecto de 0 a 5 KW se usan baterías de 12V, para un proyecto de 5 a 20KW se usan baterías de 24V y para un proyecto mayor a 20KW se usan baterías de 48V.

La comunidad usará a las baterías como suministro, no habrá suministro directo de los aerogeneradores a las casas. Es por esto que se considera para el cálculo de la capacidad del banco de baterías la totalidad de la demanda. El aerogenerador solo servirá para recargar las baterías.

Se asume un factor de descarga del 75% para no acortar la vida útil de las baterías. Esto significa que el banco de baterías como máximo se descargará hasta el 75% de su capacidad de almacenamiento.

El modelo de batería utilizado es una batería tipo AGM, de capacidad 250 Ah, de voltaje 12V marca Kaise (dato obtenido de la Empresa Autosolar).

Se considera los días de autonomía del banco de baterías en 1 día, es decir, el banco de baterías puede abastecer la demanda sin que haya viento como máximo 1 día.

El voltaje del banco de baterías al ser de 48V y al ser el voltaje de cada batería de 12V, se necesita 4 baterías en serie.

Para las baterías en paralelo se considera la capacidad total del banco de baterías entre la capacidad de cada batería.

El total de baterías requeridas por el banco viene a ser el número de las baterías en serie multiplicado por el número de las baterías en paralelo que es  $4 \times 24.97 = 99.86$ .

El costo de cada batería según lo revisado en Autosolar es de 406.37 US\$, entonces para 99.86 baterías se tendría un costo total de 40581.43 US\$.

Una vez diseñado el sistema offgrid eólico y el banco de baterías se procede a valorizar el proyecto. Para valorizar la propuesta primero debemos definir la inversión inicial, y se considerarán los siguientes puntos:

El precio del rotor de la turbina, el controlador y el inversor han sido cotizados al precio EX WORKS de Aeolos, y se incluye un 30% adicional para cubrir flete, seguro y nacionalización.

Se considera como parte del costo de instalación el valor del banco de baterías calculado en la Tabla 13, así como costo de logística para llevar el equipo hasta Paracas, el cableado AC y DC y las protecciones de estos cableados. Se han usado números referenciales pero se recomienda pedir

CALCULO DEL BANCO DE BATERIAS			
Descripción	Cantidad	Unidades	Considerar
Eficiencia Inversor	90%		Eficiencia estándar de un inversor
Energía Requerida	202.22	KWh/día	
Carga DC	0	Wh/día	No se tiene carga en DC
Amperios/Día Requeridos	202,222.22	A/día	
Días de Autonomía	1	día	Asumiendo como máximo sin viento por 1 día
Requerimiento Amperios x Día Aut.	202,222.22	Ah	
Efecto Temperatura Baterías	0.9		
Subtotal 1	224,691.36	Ah	
Profundidad Descarga Baterías	75%		Se asume un ratio de 75% para no acortar vida útil
Subtotal 2	299,588.48	Ah	
Voltaje Banco Baterías	48	V	Se elige este Voltaje por ser un proyecto de 25 KW
Capacidad Banco de Baterías	6,241.43	Ah	
Corriente Carga Banco Baterías	130.03	A	Corriente para cargar baterías con aerogenerador
Corriente de salida AC del aerogenerador	20.83	A	Calculado en la Tabla 12
Tiempo Carga Baterías	6.24	horas	Tiempo que tarda el aerogenerador en cargar banco
Capacidad Batería Seleccionada	250	Ah	Se elige de las opciones comerciales del mercado local
Tipo Batería	AGM		
Voltaje Batería	12	V	
Libre de Mantenimiento	Si		
Baterías Serie	4	Baterías	Porque cada batería seleccionada es de 12 V
Baterías Paralelo	24.97	Baterías	
Total Baterías	99.86	Baterías	Baterías en serie x Baterías en paralelo
Costo Baterías	406.37	US\$/unid	
Total Costo Baterías	40,581.53	US\$	

Tabla 13: Calculo del sistema de baterías  
Fuente: Elaboración propia

una cotización por el suministro e instalación de la torre y el servicio de instalación del sistema completo eólico con el banco de baterías.

El costo de operación y mantenimiento se ha considerado como el 3% del costo de inversión (Lopez, 2012). Aunque este 3% se considera un

máximo, el tiempo y costo del mantenimiento depende principalmente de las condiciones del lugar donde se instalen los equipos, pero para fines prácticos se considerará un 3% del costo inversión como costo de operación y mantenimiento de los equipos.

Hay que considerar el mantenimiento sobre las horas que funcionen los equipos (horas en las que hay viento). Es por esto que se considera del total de horas anuales (8760 horas) un factor planta de 0.42 (10 horas al día).

<b>VALORIZACIÓN SOLUCIÓN OFF GRID + BATERIAS</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Considerar</b>
<b>Demanda diaria de energía</b>	182.00	KWh/día	
<b>Demanda anual de energía</b>	66,430.00	KWh/año	
<b>Horas de viento</b>	10.00	horas	Promedio de horas de viento de otras centrales eólicas
<b>50 KW Wind Turbine</b>	73,450.00	US\$	Al precio EX WORKS de AEOLOS se incluye 30% adicional para cubrir flete, seguro y nacionalización
<b>Grid-off Controller + Pitch Control</b>	18,031.00	US\$	Al precio EX WORKS de AEOLOS se incluye 30% adicional para cubrir flete, seguro y nacionalización
<b>Grid-off Inverter</b>	18,200.00	US\$	Al precio EX WORKS de AEOLOS se incluye 30% adicional para cubrir flete, seguro y nacionalización
<b>30m Monopole Tower + Otros (Instalación + Logística + Baterías + Rack + Cableado AC y DC + Protecciones AC y DC)</b>	60,581.53	US\$	Este precio puede variar de acuerdo a los costos por la logística y servicios de instalación de sistema eólico con baterías en la zona de Paracas
<b>TOTAL INVERSION US\$</b>	170,262.53	US\$	Inversión inicial del proyecto.
<b>RATIO INSTALACIÓN</b>	6,810.50	US\$/KW	
<b>Costo O&amp;M (1% Inversión)</b>	0.02	US\$/KWh	1% de Inversión inicial / (Potencia Proyecto * Horas Anuales de Funcionamiento del aerogenerador)
<b>Costo anual de O&amp;M</b>	1,229.67	US\$/año	

*Tabla 14: Valorización inicial del proyecto*

*Fuente: Elaboración propia*

Si comparamos los ratios de la solución diésel (Tabla 6) con los ratios de la solución eólica con baterías tenemos:

Tecnología a utilizar	RATIO US\$/KW INSTALADO	Costo O&M (US\$ /KWh)
Diesel	620	0.32
Eólica + Baterías	6,810.50	0.02

*Tabla 15: Comparando ratios de ambas tecnologías  
Fuente: Elaboración propia*

La solución eólica offgrid con baterías tiene un costo de inversión muy superior al de un grupo electrógeno, pero su costo de operación y mantenimiento es muy inferior. Esto tiene bastante sentido, si comparamos los precios del aerogenerador con los de un grupo electrógeno vemos que el aerogenerador es muy caro, y esto suele ser una desventaja para este tipo de tecnologías ya que suelen tener un costo de inversión muy alto. Pero esto lo compensa por el bajo mantenimiento que requieren y también por el alto costo de operación del grupo electrógeno debido a que requieren diésel para funcionar.

Al igual que con el grupo electrógeno se elabora el flujo económico del proyecto (ver Tabla 16). También se considera un incremento en los costos de mantenimiento de un 2% anual. El ahorro anual en diésel se toma del costo anual de diésel para la Solución Diésel (ver Tabla 7).

Dentro del flujo económico del proyecto se considera un recambio de las baterías al año 7 y 14, y hay que considerar que la tecnología de almacenamiento va a avanzar en esos años por lo disminuiría los costos de las baterías. Se considerará entonces un descuento anual sobre el precio de las baterías del 14% (MotorPasion, 2015) para un costo inicial en el año 0 de 40,581.53 (ver Tabla 13).

Horizonte a 20 años					
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
<b>Costo Total Inversión</b>	-170,262.53	-154,670.63	-138,766.90	-122,545.09	-105,998.84
<b>Costo de Operación y Mantenimiento (1% Inversión)</b>	-1,229.67	-1,254.27	-1,279.35	-1,304.94	-1,331.04
<b>Recambio de Baterías</b>					
<b>Ahorro en la no compra de combustible (diesel) x año</b>	16,821.57	17,158.00	17,501.16	17,851.19	18,208.21
<b>Total</b>	-154,670.63	-138,766.90	-122,545.09	-105,998.84	-89,121.67
	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b>Costo Total Inversión</b>	-89,121.67	-71,906.96	-68,467.39	-50,557.20	-32,288.81
<b>Costo de Operación y Mantenimiento (1% Inversión)</b>	-1,357.66	-1,384.81	-1,412.51	-1,440.76	-1,469.57
<b>Recambio de Baterías</b>		-14,119.44			
<b>Ahorro en la no compra de combustible (diesel) x año</b>	18,572.37	18,943.82	19,322.70	19,709.15	20,103.33
<b>Total</b>	-71,906.96	-68,467.39	-50,557.20	-32,288.81	-13,655.05
	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
<b>Costo Total Inversión</b>	-13,655.05	5,351.38	24,737.95	44,512.24	59,769.48
<b>Costo de Operación y Mantenimiento (1% Inversión)</b>	-1,498.97	-1,528.94	-1,559.52	-1,590.71	-1,622.53
<b>Recambio de Baterías</b>				-4,912.55	
<b>Ahorro en la no compra de combustible (diesel) x año</b>	20,505.40	20,915.51	21,333.82	21,760.50	22,195.70
<b>Total</b>	5,351.38	24,737.95	44,512.24	59,769.48	80,342.65
	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
<b>Costo Total Inversión</b>	80,342.65	101,327.29	122,731.63	144,564.05	166,833.11
<b>Costo de Operación y Mantenimiento (1% Inversión)</b>	-1,654.98	-1,688.08	-1,721.84	-1,756.28	-1,791.40
<b>Recambio de Baterías</b>					
<b>Ahorro en la no compra de combustible (diesel) x año</b>	22,639.62	23,092.41	23,554.26	24,025.34	24,505.85
<b>Total</b>	101,327.29	122,731.63	144,564.05	166,833.11	189,547.56

Tabla 16: Flujo económico para un Sistema Eólico con Baterías  
Fuente: Elaboración propia

<b>Inversión</b>	170,262.529	US\$
<b>Recambio de Baterías</b>	19,031.99	US\$
<b>Costo O&amp;M 20 años</b>	29,877.84	US\$
<b>Costo Total Proyecto 20 años</b>	219,172.355	US\$
<b>Periodo Retorno (Años)</b>	11	Años

Tabla 17: Costo total Solución Eólica con baterías y tiempo de retorno  
Fuente: Elaboración propia

Observando el flujo económico de la solución offgrid, podemos observar que el flujo se hace positivo al año 11, esto se explica por el ahorro de combustible que se da por el uso de la energía eólica (ya que el viento tiene un coste cero).

Si comparamos la Tabla 9 y la Tabla 17 podemos sacar varias conclusiones sobre este ejercicio:

El costo de inversión de las tecnologías renovables es alto pero en el tiempo se hacen muy baratas. Si bien la inversión inicial de un grupo electrógeno puede resultar atractiva por su bajo precio, a la larga termina resultando mucho más cara.

El costo de operación y mantenimiento de un grupo electrógeno es mayor que el de la solución offgrid, se explica porque la energía eólica tiene un bajo costo de mantenimiento en comparación con otras tecnologías.

El LCOE (Levelized Cost of Energy) es una herramienta que nos permite comparar distintos tipos de tecnología y llevarlas a una unidad común facilitar la toma de decisiones. Para este caso se evaluará el LCOE de ambas soluciones con la siguiente expresión:

$$\text{LCOE} = \frac{\text{Costo Total del Proyecto (US\$)}}{\text{Generación Total de Energía (MWh)}}$$

Entonces según la expresión anterior tenemos un Horizonte de 20 años y una demanda de energía anual de 66,430 KWh. Con estos datos se procede a elaborar la Tabla 18.

Tecnología	Costo total del Proyecto (US\$)	Generación total de energía 20 años (MWh)	LCOE (US\$/MWh)
Diésel	533,558.08	1,328.6	401.59
Eólica + Baterías	300,845.82	1,328.6	226.44

*Tabla 18: Comparando el LCOE de ambas tecnologías  
Fuente: Elaboración propia*

El costo la energía eólica es aproximadamente el 56% del costo de la energía producida con diésel. Y esto refuerza lo que se afirmaba en los primeros capítulos, de cómo estas tecnologías además de ser baratas y accesibles a cualquier lugar, son sostenibles en el tiempo.

Es importante mencionar que en el futuro el costo de estas energías sigan disminuyendo al punto que no habrá necesidad de realizar un análisis económico frente a una alternativa convencional.

## **5.6. Guía para la implementación de una solución eólica off grid**

Previamente se han mencionado todas las consideraciones a tomar en el momento de evaluar la viabilidad de un proyecto eólico. Ahora como parte de los objetivos de este trabajo, se procedió a elaborar una guía para la implementación de una solución eólica. Esta guía viene a ser más que todo, pasos a seguir desde un punto muy general, ya que como se ha visto en anteriores capítulos el alto nivel de complejidad y dificultad que suponen desde el estudio de factibilidad hasta el diseño de la solución requiere de la cooperación de un equipo de profesionales.

Previo al inicio de la guía, se asumió que el estudio de vientos de la zona de interés arrojó resultados favorables. Este estudio, como se explicó anteriormente, requiere de: mediciones automáticas de viento en la zona elegida (últimos 10 años) y la rosa de vientos.

### **5.6.1. Zona propuesta**

La zona elegida como parte de la propuesta, y cualquier otra zona que se pueda escoger en futuros proyectos off grid, debe considerar superposiciones con otros proyectos (concesiones mineras, eléctricas, energéticas, etc.) y cercanías a zonas de amortiguamiento y áreas naturales protegidas. Para evaluación de la zona de las Antillas de Paracas, se consideró además una distancia mínima al aeropuerto de Pisco ya que los aerogeneradores (dependiendo de su altura) pueden interferir en rutas de aterrizaje.

### **5.6.2. Potencia instalada**

Una vez se ha elegido que tipo de solución se desea implementar, en este caso, una solución eólica off grid es importante analizar qué demanda va a cubrir este proyecto para poder definir qué potencia instalada tendrá.

Para esto es necesario realizar un estudio de consumo eléctrico de la comunidad, con la finalidad de ver en qué horas se da la mayor demanda de consumo y en general, para saber de cuanta potencia tendrán que ser los aerogeneradores.

### **5.6.3. Aerogeneradores**

La elección del tipo y modelo de aerogenerador probablemente sean el punto que más análisis y tiempo requiera para la implementación de una solución eólica. Para su elección se toman en cuenta tres factores importantes: demanda de la comunidad, curva de potencia y función densidad de probabilidades de viento.

Como ya se explicó antes, la función densidad de probabilidades de viento en resumen, nos dice que porcentaje del tiempo correrán vientos superiores a la velocidad de arranque del aerogenerador. Esto es lo que se conoce como el “factor planta”, o lo mismo, las horas que estarán funcionando los aerogeneradores.

La curva de potencia es proporcionada por el fabricante, y nos dice la potencia entregada por el aerogenerador a cierta velocidad del viento.

La demanda de la comunidad, que estará expresada en consumo energético por día (kWh/día). Es importante mencionar que la energía requerida para cumplir con este consumo energético ha sufrido pérdidas a lo largo de su recorrido por los equipos, desde la salida del rotor, pasando por la caja multiplicadora, el generador eléctrico, el controlador, el banco de baterías y otras pérdidas. También se suele incluir un margen de seguridad para evitar cortes de suministro (Rojas, 2018).

Tomando en cuenta todas estas pérdidas, que en realidad vendrían a ser las eficiencias de los equipos, la energía producida por los aerogeneradores tendría que ser considerablemente mayor (exactamente, la división entre el consumo energético por día y todas las eficiencias mencionadas anteriormente). Esta energía se llamará **energía requerida**.

Ahora para evaluar qué tipo de aerogenerador es el más conveniente, hay que dividir la **energía requerida** entre el número de horas de funcionamiento de los aerogeneradores para obtener la **potencia instalada** del proyecto. Posteriormente, habrá que analizar las curvas de potencia de distintos aerogeneradores y dependiendo de esto, elegir cuantos aerogeneradores necesitará la solución eólica.

Así por ejemplo, si una comunidad requiere una potencia instalada de 25 KW. Y se tiene un valor promedio de velocidades de 10 m/s. También se dispone de aerogeneradores cuya curva de potencia nos dice que a esa velocidad entregarán una potencia de 2.5 KW. Entonces en total se necesitarían 10 aerogeneradores.

#### **5.6.4. Componentes de la solución eólica**

En el punto anterior se habló de las eficiencias de los equipos utilizados, pero parte del proceso para el diseño de una solución es la elección de los componentes. Aunque generalmente, el fabricante de los aerogeneradores también proporciona las especificaciones técnicas del controlador/rectificador.

El banco de baterías se diseña en función de la demanda, y de su capacidad de almacenamiento.

El inversor, necesario para soluciones on grid, también tiene que elegirse en función a la carga de trabajo a la cual estará sometido.

#### **5.6.5. Distribución de aerogeneradores**

A la par con dos puntos anteriores, se debe considerar también como se van a distribuir los aerogeneradores dentro de un área ya definida. Una vez se sabe qué modelos se van a utilizar en la propuesta, y por ende se tienen todas sus especificaciones técnicas (diámetro del rotor) ya se puede comenzar a diseñar la distribución que van a tener los aerogeneradores.

Hay que tomar en cuenta dos puntos muy importantes: cercanía de la solución eólica a la comunidad a la cual va a abastecer (mínimo a 250-300 metros) por motivos del ruido que pueden producir los aerogeneradores.

Otro punto a considerar depende directamente del punto anterior, ya que si el modelo que se ha elegido no produce tanto ruido y se contempla la posibilidad de colocarlos cerca de la comunidad con fines de ahorrar en materiales y transporte es importante considerar el efecto parpadeo o “shadow flicker” que pueden tener en la comunidad. Este efecto parpadeo suele generar molestias en la comunidad y, debido a esto, se suelen posicionar los aerogeneradores de tal forma que su sombra no se proyecte sobre ventanas o mamparas.

Una vez se tienen evaluados y analizados todos puntos anteriores, y ya se tiene listo el diseño de la solución eólica llega el aspecto más “pesado” de la instalación.

#### **5.6.6. Logística e instalación**

Previo a la instalación de los aerogeneradores hay que ver si el terreno en el cual se van a instalar requiere de cierta preparación para facilitar esta instalación. Esto se hace mediante un estudio de suelos en el cual se evalúa la facilidad que ofrece la zona para las operaciones necesarias para esta instalación.

Ya con el estudio realizado (aunque los resultados del estudio afectan más el presupuesto) se procede a la instalación de los aerogeneradores. Es muy frecuente que los mismos fabricantes elaboren una guía de montaje de los aerogeneradores, explicando cada punto a detalle, desde el montaje del mástil, el cableado eléctrico y el montaje del mismo aerogenerador. Evidentemente, cada fabricante recomendará distintas formas para la instalación de distintos tamaños de aerogenerador.

Otro punto que hay que considerar es la logística. Esta, más que todo nos dice la forma más fácil de traer todo el equipo a montar hasta la zona donde se desea instalar los aerogeneradores. Hay que considerar si el equipo a instalar se está importando o si se adquiere de proveedores nacionales. También se requerirá la elaboración de rutas de abastecimiento y fechas de entrega con los proveedores.

#### **5.6.7. Puesta en operación**

Luego de que se ha concluido con la instalación de los aerogeneradores en la zona propuesta, se pone en operación la solución eólica. Es recomendable que, previo a la puesta en operación de la solución eólica, haya un periodo de pruebas de como mínimo un mes. Dentro de este tiempo se probará el funcionamiento y desempeño de la solución en condiciones reales, esto más que todo para poder detectar ciertos problemas de instalación y de cableado eléctrico.

Una vez haya concluido el periodo de prueba, se pone en operación la solución eólica para su funcionamiento y el autoabastecimiento de energía eléctrica a la comunidad.

#### **5.6.8. Operación y mantenimiento**

Una vez puesta en operación la solución eólica, es necesario establecer un personal mínimo para poder monitorear todos los equipos.

Este personal se encargará, además de operar los equipos, ver que se encuentren funcionando correctamente y reportar cualquier imprevisto que pueda surgir.

Si bien los parques eólicos se caracterizan por casi no requerir mantenimiento, toda máquina requiere de cuidados si se quiere extender su vida útil. Las instrucciones de mantenimiento son proporcionadas por el fabricante, e indican qué partes de la instalación requieren un mantenimiento y cada cuanto tiempo lo requieren.



## **Capítulo 6**

### **Conclusiones y recomendaciones**

En este capítulo se explicarán las conclusiones se obtuvieron a partir del trabajo realizado y los objetivos planteados al inicio de la investigación, así como las recomendaciones a tomar en cuenta en caso se evalúe la instalación de un proyecto eólico en un futuro.

#### **6.1. Conclusiones**

Se cumplió con el primer objetivo, ya que se pudo evaluar a un nivel muy general, que la zona de las Antillas de Paracas presenta condiciones para la instalación de una solución eólica. Si bien a lo largo del trabajo el término “recurso eólico” fue tomando mayor complejidad, se puede decir que la recolección de data histórica ha dado indicios para afirmar que es factible la implementación de una solución eólica en la zona propuesta.

Se cumplió con el segundo objetivo, ya que en base a bibliografía y varias entrevistas con expertos en gestión de energías renovables, se pudo comprobar que el nivel de complejidad a nivel técnico que engloba este tipo de tecnologías es muy alto. Y en base a la información recolectada, puntos de vista y experiencias de los entrevistados, se logró identificar qué consideraciones deberían ser tomadas en cuenta en el aspecto legal, social-medioambiental, técnico y económico al momento de evaluar la viabilidad de una solución eólica en la zona propuesta.

Se cumplió con el tercer objetivo, que es la elaboración de una guía general de pasos a seguir para la implementación de una planta de energía eólica en las Antillas de Paracas o cualquier otra zona de interés.

Analizando las consideraciones medioambientales se pudo concluir que en caso se implemente una solución eólica en Paracas, esta no traerá consigo ningún impacto crítico en el medioambiente o en las personas que vivan en las zonas aledañas a las Antillas de Paracas.

En la comparación económica de la solución off-grid vs diésel, se vio como estas tecnologías son mucho más baratas cuando se comparan contra fuentes convencionales. Con el pasar de los años las tecnologías renovables serán más eficientes lo que supondrá que sean más baratas de lo que ya son. El reto de los ingenieros que trabajen en el sector energía será convencer a los

inversionistas de que el futuro está en la masificación de las energías renovables gracias a su bajo costo y a que son sostenibles en el tiempo.

En este trabajo se habló del uso de la energía eólica con un banco de baterías. En la realidad, las soluciones energéticas más eficientes son las que hibridan la energía eólica (aerogeneradores) con la energía solar (paneles solares), el diesel (grupo electrógeno) y el banco de baterías. Si bien una solución eólica es complicada de diseñar, una solución energética híbrida debe tener un mayor nivel de complejidad en cuanto a diseño se refiere, y a estas soluciones híbridas debemos apuntar para lograr un cambio.

El Perú se debe plantearse como meta incrementar la electrificación de la matriz energética, depender menos del gas e impulsar los proyectos RER que permitan utilizar mejor el potencial como región que tiene el país para generar energía renovable. Asimismo, este avance debe venir de la mano con las nuevas políticas que se piensan implementar como la generación distribuida y el avance en tecnologías de eficiencia energética.

## **6.2. Recomendaciones**

Se recomienda la instalación de una torre anemométrica para obtener lectura de velocidad y dirección de viento con la colocación de anemómetros automáticos a 10 m, 50 m, 60 m, 80 m, 100 m y 120 m en la zona escogida para la recolección de data meteorológica. Esto con el fin de utilizar información más detallada de las condiciones climáticas de las Antillas de Paracas, y a futuro, evaluar la instalación de una planta de mayor tamaño.

Se recomienda hacer la búsqueda catastral en la SNB (Superintendencia Nacional de Bienes Estatales) para precisar si el terreno es propiedad del Estado Peruano o si le corresponde a una comunidad campesina o nativa y el Ministerio de Cultura (para descartar una superposición con sitios y monumentos arqueológicos).

Se recomienda hacer un estudio topográfico, geotécnico, geofísico y geológico de la zona escogida, esto con el fin de establecer un nivel de complejidad a las operaciones necesarias para la instalación de los aerogeneradores. Este estudio, por limitaciones económicas de la investigación, no se ha podido realizar, pero si es importante incluirlo en los costes del proyecto. Esto debido a que dependiendo del suelo, puede haber una facilidad o no en la instalación los aerogeneradores y dependiendo del tipo de suelo de la zona, podrían existir operaciones previas a la instalación con la finalidad de preparar el terreno.

Se recomienda elaborar un plan de recuperación que entre en ejecución cuando la vida útil del proyecto haya llegado a su fin. Este plan consiste en la recuperación de la zona una vez retirados los aerogeneradores. Bien se podría implementar un proyecto de reforestación o de fertilización del suelo para usos agrícolas.

En caso se evalúe una futura implementación de una solución eólica de mayor escala en las Antillas de Paracas (como el parque eólico de Nazca), es necesario conocer las rutas migratorias de las especies de aves marítimas en peligro y protegidas de la Reserva Nacional de Paracas. Esto debido a que

soluciones eólicas de mayor escala usan aerogeneradores de mayor altura, y estos aerogeneradores sí tienen un impacto negativo a considerar.



## Bibliografía

- Danish Wind Industry Association. (s.f.). *Ley de Betz*. Obtenido de <http://www.drømstørre.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/betz.htm>
- Diario El País. (10 de Abril de 2018). *Destacan la "revolución" energética de Uruguay*. Obtenido de <http://negocios.elpais.com.uy/noticias/destacan-revolucion-energetica-uruguay.html>
- Diario Gestión. (28 de Agosto de 2014). *5% de la electricidad sería producida por energías renovables el 2015*. Obtenido de <http://gestion.pe/economia/5-electricidad-peru-seria-producida-energias-renovables-2015-mem-69502>
- Diario BBC. (1 de Abril de 2016). *Los países de America Latina que más y menos invierten en energías renovables*. Obtenido de [http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160329\\_ciencia\\_energia\\_renovable\\_inversion\\_america\\_gtg](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160329_ciencia_energia_renovable_inversion_america_gtg)
- Diccionario Náutico. (s.f.). *Rosa de los vientos*. Obtenido de <http://www.diccionarionautico.com.ar/rosa-de-los-vientos/>
- Eoliccat. (s.f.). *Energía Eólica en Cataluña*. Obtenido de <http://www.eoliccat.net/que-es-eoliccat/?lang=es>
- Erenovable. (s.f.). *Ventajas y desventajas de la energía renovable*. Obtenido de <http://www.erenovable.com>
- Fundación Repsol. (2015). *Observatorio de Energía*. Obtenido de [http://www.fundacionrepsol.com/sites/default/files/publicaciones/observatorio\\_de\\_energia\\_2015\\_fundacion\\_repsol.pdf](http://www.fundacionrepsol.com/sites/default/files/publicaciones/observatorio_de_energia_2015_fundacion_repsol.pdf)
- International Energy Agency. (Noviembre de 2017). *World Energy Outlook*. Obtenido de [http://www.iea.org/media/weoweb/2017/Chap1\\_WEO2017.pdf](http://www.iea.org/media/weoweb/2017/Chap1_WEO2017.pdf)
- Lopez, M. V. (2012). *Ingeniería de la energía eólica*. Marcombo.

- Macera, D. (31 de Enero de 2018). *Osinerghmin: El 6% de la población no cuenta con electricidad. El Comercio*. Obtenido de <http://elcomercio.pe/economia/osinerghmin-6-poblacion-cuenta-electricidad-noticia-493422>
- Mann, P. (2007). *Tectonic Setting of 79 Giant Oil and Gas Fields Discovered from 2000-2007: Implications for Future Discovery Trends*. Obtenido de [http://www.searchanddiscovery.com/documents/2007/07056\\_62av\\_abs/images/ndx\\_mann.pdf](http://www.searchanddiscovery.com/documents/2007/07056_62av_abs/images/ndx_mann.pdf)
- Minenergia. (s.f.). *Ruta energética de Chile*. Obtenido de <http://www.energia.gob.cl/>
- Ministerio de Energía y Minas. (2016). *Atlas Eólico del Perú*. Obtenido de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00367.pdf>
- Ministerio de medio ambiente, y medio rural y marino. (2009). *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España*. Obtenido de [http://drive.google.com/open?id=1JPAIH1YG5Ya1j0u8F5-I0T\\_3viVYsOFO](http://drive.google.com/open?id=1JPAIH1YG5Ya1j0u8F5-I0T_3viVYsOFO)
- Ministerio para la transición ecológica. (s.f.). Obtenido de <http://www.miteco.gob.es/es/>
- Minminas. (s.f.). Obtenido de <http://www.minminas.gov.co/>
- MotorPasion. (31 de Marzo de 2015). *El coste de las baterías para coches eléctricos ya es el que esperábamos para 2020*. Obtenido de <http://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/el-coste-de-las-baterias-para-coches-electricos-ya-es-el-que-esperabamos-para-2020>
- Opex Energy. (s.f.). *Tipos de Aerogeneradores*. Obtenido de [http://www.opex-energy.com/eolica/tipos\\_aerogeneradores.html#2.\\_SEGUN\\_POTENCIA\\_SUMINISTRADA](http://www.opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html#2._SEGUN_POTENCIA_SUMINISTRADA).
- Osinerghmin. (s.f.). *Introducción a las energías renovables*. Obtenido de <http://www2.osinergh.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>
- Parque Eólico Chiloé. (3 de Enero de 2012). *¿Cuanto ruido hace un aerogenerador?* Obtenido de <http://www.parqueeolicochiloe.com/varios/ruido-hace-un-aerogenerador>
- Planelles, M. (18 de Noviembre de 2013). *Tregua eléctrica contra el frío. Diario El País*. Obtenido de [http://www.elpais.com/sociedad/2013/11/18/actualidad/1384804082\\_062275.html](http://www.elpais.com/sociedad/2013/11/18/actualidad/1384804082_062275.html)
- Risatti, F. (20 de Marzo de 2018). *Argentina da el salto a las renovables. Diario El País*. Obtenido de

[http://www.elpais.com/economia/2018/03/14/actualidad/1521032083\\_205236.html](http://www.elpais.com/economia/2018/03/14/actualidad/1521032083_205236.html)

Rojas, A. (30 de Abril de 2018). (J. Felipa, Entrevistador)

Sánchez, C. (17 de Abril de 2013). '*Shadow Flicker*' y otros 'porqués' que desconectan aerogeneradores. *Energy News*. Obtenido de <http://www.energynews.es/shadow-flicker-y-otros-porques-que-desconectan-aerogeneradores/>

Vargas, P. (Junio de 2009). *El cambio climático y sus efectos en el Perú*. Obtenido de <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/cambio-climatico-sus-efectos-peru>

World Energy Council. (14 de Mayo de 2012). *Policies for the future: 2011 Assessment of country energy and climate policies*. Obtenido de [http://web.archive.org/web/20120514152835/http://www.worldenergy.org/documents/wec\\_2011\\_assessment\\_of\\_energy\\_and\\_climate\\_policies\\_executive\\_summary\\_1.pdf](http://web.archive.org/web/20120514152835/http://www.worldenergy.org/documents/wec_2011_assessment_of_energy_and_climate_policies_executive_summary_1.pdf)

Zurita, M. (26 de Abril de 2017). *La generación de electricidad con energías renovables en Perú*. *Diario El Comercio*. Obtenido de <http://www.elcomercio.pe/economia/generacion-electricidad-energias-renovables-peru-422813>



# Anexos

## Anexo 1: Ley de Concesiones Eléctricas, Disposiciones Generales



### POR CUANTO:

El Gobierno de Emergencia y Reconstrucción Nacional;  
Con el voto aprobatorio del Consejo de Ministros;  
Ha dado el Decreto Ley siguiente:

### LEY DE CONCESIONES ELECTRICAS

#### INDICE

TITULO I	: DISPOSICIONES GENERALES (Arts. 1° al 9°)
TITULO II	: COMISION DE TARIFAS ELECTRICAS (Arts. 10° al 21°)
TITULO III	: CONCESIONES Y AUTORIZACIONES (Arts. 22° al 38°)
TITULO IV	: COMITE DE OPERACION ECONOMICA DEL SISTEMA (Arts. 39° al 41°) <b>DEROGADO</b>
TITULO V	: SISTEMA DE PRECIOS DE LA ELECTRICIDAD (Arts. 42° al 81°)
TITULO VI	: PRESTACION DEL SERVICIO PUBLICO DE ELECTRICIDAD (Arts. 82° al 100°)
TITULO VII	: FISCALIZACION (Arts. 101° al 103°)
TITULO VIII	: GARANTIAS Y MEDIDAS DE PROMOCION A LA INVERSION (Arts. 104° al 107°)
TITULO IX	: USO DE BIENES PUBLICOS Y DE TERCEROS (Arts. 108° al 119°)
TITULO X	: DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS (Arts. 120° al 123°)
TITULO XI	: DISPOSICIONES TRANSITORIAS DISPOSICION FINAL ANEXO DE LA LEY DE CONCESIONES ELECTRICAS: DEFINICIONES

#### TITULO I

#### DISPOSICIONES GENERALES

**Artículo 1°.-** Las disposiciones de la presente Ley norman lo referente a las actividades relacionadas con la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica.

El Ministerio de Energía y Minas y el OSINERG en representación del Estado son los encargados de velar por el cumplimiento de la presente ley, quienes podrán delegar en parte las funciones conferidas.<sup>1</sup>

Las actividades de generación, transmisión y distribución podrán ser desarrolladas por personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras. Las personas jurídicas deberán estar constituidas con arreglo a las leyes peruanas.

#### Concordancias:

[Consl. 1993](#); Arts. [63°](#) y [71°](#)

[D. Ley N° 25844](#); Arts. 3° incs. a), b), c); 4°, 5°, 7°, 9°, 11° incs. d), e); 18° incs. a), b), c); 23°, 24°, 25° inc. a), 30°, 31°, 32°, 33°, 34°, 36° incs. d), e), 39°, 43° incs. b), c), 45°, 47° incs. a), b), 48°, 49°, 51° incs. b), h), 57° al 64°, 66°, 67°, 68°, 69°, 70° inc. b), 71°, 72°, 77°, 80°, 81°, 82°, 86°, 93° al 96°, 101°, 106°, 107°, 108°, 110° incs. b), c), 119°, 120°, 122°, 41a. DT, 51a. DT, 51a. DT, 10ma. DT.

[D. S. N° 009-93-EM \(REGLAMENTO\)](#); Arts. [1°](#), [9°](#), [10°](#), [182°](#) y [183°](#).

**Artículo 2°.-** Constituyen Servicios Públicos de Electricidad:

- El suministro regular de energía eléctrica para uso colectivo o destinado al uso colectivo, hasta los límites de potencia fijados por el Reglamento; y,
- La transmisión y distribución de electricidad.

El Servicio Público de Electricidad es de utilidad pública.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Segundo párrafo modificado por la Octava Disposición Complementaria de la Ley 26734, publicada el 31/12/1996, cuyo texto rige en la actualidad.

#### El texto anterior era el siguiente:

El Ministerio de Energía y Minas, en representación del Estado, es el encargado de velar por el cumplimiento de la presente Ley, quien podrá delegar en parte las facultades conferidas.

<sup>2</sup> Artículo modificado por la Única DCM de la Ley N° 26832, publicada el 23/07/2006, cuyo texto rige en la



**Concordancia:**  
[D.U. N° 007-2006; Art. 1°.](#)

**Artículo 3°.-** Se requiere concesión definitiva para el desarrollo de cada una de las siguientes actividades:

- a) La generación de energía eléctrica que utilice recursos hidráulicos, con potencia instalada mayor de 500 KW;
- b) La transmisión de energía eléctrica, cuando las instalaciones afecten bienes del Estado y/o requieran la imposición de servidumbre por parte de éste;
- c) La distribución de energía eléctrica con carácter de Servicio Público de Electricidad, cuando la demanda supere los 500 KW ; y,
- d) La generación de energía eléctrica con recursos Energéticos Renovables conforme a la Ley de la materia, con potencia instalada mayor de 500 KW.<sup>3</sup>

**Concordancia:**  
[D. Ley N° 25844; Arts. 121° y 122°](#)  
[D. S. N° 009-93-EM; Arts. 3°, 4°, 5°, 7° y 29°.](#)

**Artículo 4°.-** Se requiere autorización para desarrollar las actividades de generación termoeléctrica, cuando la potencia instalada sea superior a 500 KW.(\*)<sup>4</sup>

**Concordancia:**  
[D. S. N° 009-93-EM; Arts. 6°, 7° y 29°.](#)

**Artículo 5°.-** La generación de energía eléctrica de origen nuclear se normará por Ley expresa.

**Artículo 6°.-** Las concesiones y autorizaciones serán otorgadas por el Ministerio de Energía y Minas, que establecerá para tal efecto un Registro de Concesiones Eléctricas.

**Concordancias:**  
[D. Ley N° 25844; Arts. 3°, 4°, 7°, 22° al 26°, 28° al 31°, 35°, 36°, 38°, 100°, 104°, 105°, 41a. DT, 61a. DT](#)  
[D. S. N° 009-93-EM; Arts. 7°, 8°, 10°, 11°, 29° y 1ra. DT](#)  
[RM N° 237-2006-MEM-DM](#)

actualidad.

**El texto anterior era el siguiente:**

**Artículo 2°.-** Constituye Servicio Público de Electricidad, el suministro regular de energía eléctrica para uso colectivo, hasta los límites de potencia que serán fijados de acuerdo a lo que establezca el Reglamento. El Servicio Público de Electricidad es de utilidad pública.

<sup>3</sup> Artículo modificado por la Primera Disposición Modificatoria del D. LEG. N° 1002, publicado el 02/05/2008, cuyo texto rige en la actualidad.

**El texto original era el siguiente:**

**Artículo 3.-** Se requiere concesión para el desarrollo de cada una de las siguientes actividades:

- a) La generación de energía eléctrica que utilice recursos hidráulicos y geotérmicos, cuando la potencia instalada sea superior a 10 MW;
- b) La transmisión de energía eléctrica, cuando las instalaciones afecten bienes del Estado y/o requieran la imposición de servidumbre por parte de éste;
- c) La distribución de energía eléctrica con carácter de Servicio Público de Electricidad, cuando la demanda supere los 500 KW.

Posteriormente modificado por la Única Disposición Complementaria Modificatoria de la Ley N° 28832, publicada el 23/07/2006, cuyo texto era el siguiente:

**Artículo 3.-** Se requiere concesión para el desarrollo de cada una de las siguientes actividades:

- a) La generación de energía eléctrica que utilice recursos hidráulicos y geotérmicos, cuando la potencia instalada sea superior a 20 MW;
- b) La transmisión de energía eléctrica, cuando las instalaciones afecten bienes del Estado y/o requieran la imposición de servidumbre por parte de éste;
- c) La distribución de energía eléctrica con carácter de Servicio Público de Electricidad, cuando la demanda supere los 500 KW.

<sup>4</sup> Artículo modificado por la Primera Disposición Modificatoria del D.LEG. N° 1002, publicado el 02/05/2008, cuyo texto rige en la actualidad.

**El texto anterior era el siguiente:**

**Artículo 4°.-** Se requiere autorización para desarrollar las actividades de generación termoeléctrica y la generación hidroeléctrica y geotérmica que no requiere concesión, cuando la potencia instalada sea superior 500 KW.



**Artículo 7°.-** Las actividades de generación, transmisión y distribución, que no requieran de concesión ni autorización, podrán ser efectuadas libremente cumpliendo las normas técnicas y disposiciones de conservación del medio ambiente y del Patrimonio Cultural de la Nación. El titular deberá informar obligatoriamente al Ministerio de Energía y Minas el inicio de la operación y las características técnicas de las obras e instalaciones.

**Concordancias:**

[Const. 1993: Arts. 21°, 67° al 69°](#)  
[D. Ley N° 25844: Arts. 1°, 8°, 9°, 120°](#)  
[D. S. N° 009-93-EM: Art. 8°](#)  
[Ley N° 28611: Arts. I y II del TP](#)

**Artículo 8°.-** La Ley establece un régimen de libertad de precios para los suministros que puedan efectuarse en condiciones de competencia y un sistema de precios regulados en aquellos suministros que por su naturaleza lo requieran, reconociendo costos de eficiencia según los criterios contenidos en el Título V de la presente Ley.

Los contratos de venta de energía y de potencia de los suministros que se efectúan en el régimen de Libertad de Precios deberán considerar obligatoriamente la separación de los precios de generación acordados a nivel de la barra de referencia de generación y las tarifas de transmisión y distribución, de forma tal de permitir la comparación a que se refiere el Artículo 53° de la Ley.

Dichos contratos serán de dominio público y puestos a disposición de la Comisión de Tarifas de Energía y del OSINERG en un plazo máximo de 15 (quince) días de suscritos. El incumplimiento de lo dispuesto será sancionado con multa.

El Ministerio de Energía y Minas mediante Decreto Supremo definirá los criterios mínimos a considerar en los contratos sujetos al régimen de libertad de precios, así como los requisitos y condiciones para que dichos contratos sean considerados dentro del procedimiento de comparación establecido en el Artículo 53° de la Ley.<sup>5</sup>

**Concordancias:**

[D. Ley N° 25844: Arts. 31° inc c\), 42°, 43°, 44°, 47°, 50°, 51° Incs. f\), g\), 53°, 81°, Anexo definición B.](#)  
[D. Ley N° 757: Art. 4°](#)

**Artículo 9°.-** El Estado previene la conservación del medio ambiente y del Patrimonio Cultural de la Nación, así como el uso racional de los recursos naturales en el desarrollo de las actividades relacionadas con la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

**Concordancias:**

[Const. 1993: Arts. 67° al 69°](#)  
[D. Ley N° 25844: Arts. 1°, 3° Incs. a\), b\), c\), 7°, 9°, 25° Inc. h\), 31° Inc. h\), 38°, 107°, 10ma DT.](#)  
[Ley N° 27345: Art. 2°](#)  
[D. S. N° 009-93-EM: Art. 69° Inc. h\), 201° Inc. j\) y m\)](#)  
[Ley N° 28611: Arts. I y II del TP](#)

## TITULO II COMISION DE TARIFAS DE ENERGIA\*

**Artículo 10°.-** La Comisión de Tarifas de Energía es un organismo técnico y descentralizado del Sector Energía y Minas con autonomía funcional, económica, técnica y administrativa, responsable de fijar las tarifas de energía y las tarifas de transporte de hidrocarburos líquidos

<sup>5</sup> Modificado por el Art. único de la Ley N° 27239, publicado el 22/12/1999, cuyo texto rige en la actualidad.

**El texto anterior era el siguiente:**

**Artículo 8°.-** La Ley establece un régimen de libertad de precios para los suministros que puedan efectuarse en condiciones de competencia, y un sistema de precios regulados en aquellos suministros que por su naturaleza lo requieran, reconociendo costos de eficiencia según los criterios contenidos en el Título V de la presente Ley.

<sup>6</sup> Diversos conceptos de este Título II ha sido tácitamente derogado según se desprende de las Disposiciones Tercera y Cuarta de la Ley N° 27332 publicada el 29/07/2000, el Decreto Supremo N° 054-2001-PCM publicado el 09/05/2001 y el Decreto Supremo N° 042-2005-PCM publicado el 11/06/2005. Cabe indicar que por mandato de la Ley 27332, la Comisión de Tarifas de Energía se integró en un solo Organismo con OSINERG, siendo actualmente el nombre de la entidad OSINERGMIN.

Anexo 2: Ficha técnica Parque Eólico Marcona



CENTRAL EÓLICA PARQUE EÓLICO MARCONA

<b>DENOMINACIÓN</b>	CENTRAL EÓLICA PARQUE EÓLICO MARCONA
<b>EMPRESA CONCESIONARIA</b>	PARQUE EÓLICO MARCONA S.R.L. (COBRA PERÚ)
<b>TECNOLOGÍA</b>	Energía Eólica
<b>UBICACIÓN</b> Departamento Provincia Distrito Altitud	Ica Marcona Marcona 200 msnm
<b>DATOS TÉCNICOS</b> Potencia Instalada Punto de Oferta Cantidad de Aerogeneradores Modelo de Aerogeneradores Potencia de Aerogenerador	32 MW Barra Marcona 220 kV 11 8 - SWT-3,15-108 y 3-SWT 2,3-108 8 x 3,15 MW + 3 x 2,3 MW
<b>TRANSFORMADORES</b> Cantidad de Transformadores Potencia Tensión	11 2,6 MVA y 3,4 MVA. 0,69 kV/20 kV
<b>DATOS DE CONTRATO</b> Firma de Contrato Puesta en Operación (POC) Energía Anual Ofertada Precio de la Energía Ofertada	31.03. 2010 25.04.2014 148 378 MWh 6,332 ctvs. US\$/kWh



Ubicación del Proyecto



Montaje de Pálas



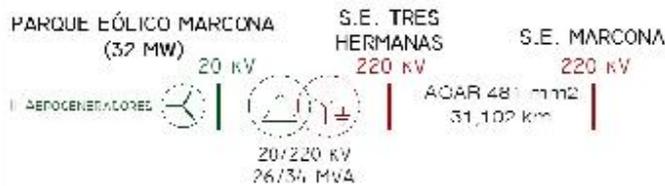
Aerogeneradores instalados



Transformador de 35 MVA - 220 kV

- INFORMACIÓN RELEVANTE**
- El proyecto contempló la instalación de 11 Aerogeneradores (8 x 3,15 MW + 3 x 2,3 MW).
  - Los 11 Aerogeneradores tienen una tensión de generación de 0,69 kV. Se agrupan en 3 bloques, interconectados entre sí. Luego, cada uno de estos bloques se conecta a la S.E. de la Central Eólica en el nivel de 20 kV. En la S.E. se instaló un transformador 20/220 kV (35 MVA), el cual se conecta a la S.E. Marcona existente.
  - El 13.08.2012, mediante R.S. N° 097-2012-EM, se otorgó la Concesión Definitiva de Generación y el 31.10.2012, mediante R.S. N° 104-2012-EM se otorgó la Concesión Definitiva de Transmisión.
  - La potencia generada se inyecta al SEIN mediante una L.T. de 31 km en 220 kV que conecta la S.E. Central Parque Eólico Marcona con la S.E. Marcona existente.
  - Con carta COES/D/DP-105-2014 del 27.01.2014 se aprobó el estudio de operatividad del Parque Eólico Marcona y su Línea de Transmisión.
  - La R.M. N° 301-2013-MEM aprobó la modificación de la Puesta en Operación Comercial para el 21.03.2014.
  - Con Carta COES/D/DP-330-2014 del 23.04.2014 se aprueba la Operación Comercial del Parque Eólico Marcona desde las 00:00 horas del día 23.04.2014.
  - El monto de inversión aproximado fue de 61,1 millones US\$.

ESQUEMA UNIFILAR DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN

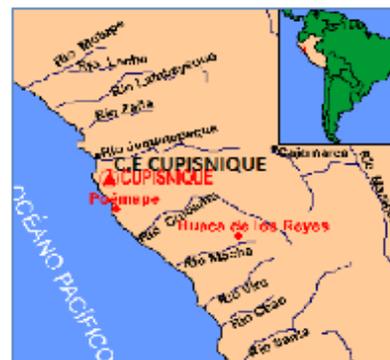


## Anexo 3: Ficha técnica Central Eólica Cupisnique



## CENTRAL EÓLICA CUPISNIQUE

<b>DENOMINACIÓN</b>	CENTRAL EÓLICA CUPISNIQUE
<b>EMPRESA CONCESIONARIA</b>	ENERGIA EOLICA S.A.
<b>TECNOLOGÍA</b>	Generación Eólica
<b>UBICACIÓN</b>	Departamento: La Libertad Provincia: Pacasmayo Distrito: Cupisnique Altitud: 20 msnm
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	Potencia Instalada: 80 MW Punto de Oferta: Barra Guadalupe 220 kV Cantidad de Aerogeneradores: 45 x 1,8 MW (3 en reserva) Potencia de Aerogenerador: 1,8 MW c/u Cantidad de Circuitos de Aerogeneradores: 6 (4 x 12,6 MW, 1 x 14,4 MW y 1 x 16,9 MW) Nivel de Tensión de Transformadores: 0,69/30 kV (2,1 kVA) Factor de Potencia de Generadores: 0,95 Factor de Planta: 43%
<b>DATOS DE CONTRATO</b>	Firma de Contrato: 31.03. 2010 Puesta en Operación (POC): 30.08.2014 Energía Anual Ofertada: 302 952 MWh Precio de la Energía Ofertado: 8,5 Cvs. US\$/kWh



Plano de Ubicación



Vista de los Aerogeneradores montados



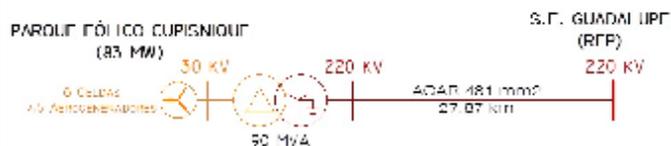
Montaje concluido del Aerogenerador



Pruebas Eléctricas al seccionador de Línea

<b>INFORMACIÓN RELEVANTE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La central se encuentra ubicada en la costa peruana, entre los puertos de Malabrigo y Puémape, en las pampas de Cupisnique.</li> <li>La central cuenta con 45 Aerogeneradores de 1,8 MW c/u. dispuestos estratégicamente en 6 Celdas de Transformación de 30 kV.</li> <li>La marca y modelo de los aerogeneradores instalados es VESTAS, modelo V100 de 1,8 MW, el cual posee un rotor a barlovento equipado con tres palas a 120° entre ellas.</li> <li>Dentro de cada aerogenerador, se encuentran la caja multiplicadora, el generador eléctrico, el transformador de baja tensión a media tensión y los equipos de control.</li> <li>Cada aerogenerador V100 de 1,8 MW 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 2 100 KVA, potencia secundario (690 V) 1900 KVA, potencia secundario (480 V) 200 KVA, frecuencia 60 Hz, tensión primaria 30 kV y tensión secundaria 690/480 V.)</li> <li>Cada aerogenerador V100 de 1,8 MW 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 2 100 KVA, potencia secundario (690 V) 1900 KVA, potencia secundario (480 V) 200 KVA, frecuencia 60 Hz, tensión primaria 30 kV y tensión secundaria 690/480 V.)</li> <li>La torre metálica que soporta al aerogenerador es de 80 m (3 cuerpos).</li> <li>La torre metálica que soporta al aerogenerador es de 80 m (3 cuerpos).</li> <li>El EIA se aprobó mediante R.D. N° 008-2011-MEM/AAE del 07.01.11.</li> <li>Mediante R.S. N° 029- 2011-EM del 15.04.11 se otorgó Concesión Definitiva de Generación.</li> <li>Con Carta COES/D/DP-343-2014 del 17.03.2014 se aprobó el Estudio de Operatividad de la C.E. Cupisnique.</li> <li>Las pruebas de comisionamiento se culminaron satisfactoriamente.</li> <li>Con carta COES/D-644-2014, el COES declara fundado el recurso de reconsideración presentado por la concesionaria, señalando que la POC de la central es el 30.08.2014.</li> <li>El monto de inversión aproximado fue de 242 MM US\$</li> </ul>
------------------------------	---

## ESQUEMA UNIFILAR DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN



Anexo 4: Ficha técnica Central Eólica Talara

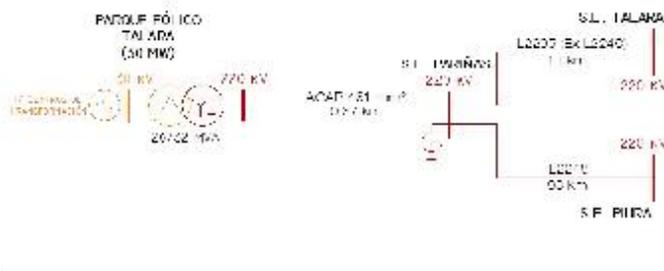


CENTRAL EÓLICA TALARA

<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>CENTRAL EÓLICA TALARA</b>
<b>EMPRESA CONCESIONARIA</b>	<b>ENERGIA EOLICA S.A.</b>
<b>TECNOLOGÍA</b>	Generación Eólica
<b>UBICACIÓN</b>	
Departamento	Piura
Provincia	Paríñas
Distrito	Talara
Altitud	11 msnm
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	
Potencia Instalada	30 MW
Punto de Oferta	S.E. Paríñas
Cantidad de Aerogeneradores	17
Potencia de Aerogenerador	1,8 MW c/u
<b>DATOS DE CONTRATO</b>	
Firma de Contrato	31.03.2010
Puestas en Operación (POC)	30.08.2014
Energía Anual Ofertada	119 673 MWh
Precio de la Energía Ofertada	8,7 Cts. US\$/kWh

**INFORMACIÓN RELEVANTE**

- La central se encuentra ubicada en la costa Peruana, en el departamento de Piura, en la provincia de Paríñas, a una altura de 11 msnm, en la pampa "La Campana" a 10 km de la ciudad de Talara. El área total del campo que alberga los aerogeneradores es de 700 hectáreas.
- Cuenta con 17 aerogeneradores, modelo V100 de 1,8 MW c/u; formado por 3 palas de 49 metros de longitud c/u y un ángulo de 120º entre ellas.
- Dentro de cada aerogenerador, se encuentra la caja multiplicadora, el generador eléctrico, el transformador de baja tensión a media tensión y los equipos de control.
- Cada aerogenerador V100 de 1,8 MW 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 primario 2 100 kVA, potencia secundario (690 V) 1900 kVA, potencia secundario (480 V) 200 kVA, frecuencia 60 Hz, tensión primaria 30 kV y tensión secundaria 690/480 V.)
- La torre metálica que soporta al aerogenerador es de 80 m (3 cuerpos).
- Cada aerogenerador ocupa un área de 80 m<sup>2</sup>, distanciados a 1,5 veces en diámetro que formen las palas (150 m) y 3 veces del diámetro en paralelo (300 m), distancia que permite evitar el efecto Estela (cola de viento turbulento).
- La energía generada se inyecta al SEIN a través de la L.T. 220 kV que parte de la S.E. Central Eólica Talara (30/220 kV) y se interconecta a la S.E. Paríñas. La interconexión comprende de un sistema de simple barra en la subestación de la central y una celda en la S.E. Paríñas.
- El EIA se aprobó mediante R.D. N° 016-2011-MEM/AAE del 19.01.11; asimismo, mediante R.S. N° 033-2011-EM del 26.04.11 se otorgó la Concesión Definitiva de Generación y con R.S. N° 045-2011-EM del 01.06.11 se aprobó la Concesión Definitiva de la L.T.
- Con carta COES/D/DP-344-2014 del 17.03.2014 se aprobó el Estudio de Operatividad de la C.E. Talara.
- La Supervisión de la ejecución de la obra estuvo a cargo de "SISENER ING".
- Las pruebas de comisionamiento se culminaron satisfactoriamente.
- El 27.08.2014 la C.E. Talara generó 23.3 MW a las 2:30 a.m.
- Con carta COES/D-643-2014, el COES declara fundado el recurso de reconsideración presentado por la concesionaria, señalando que la POC de la central es el 30.08.2014.
- El monto de inversión aproximado fue de 101 MM US\$



Piano de Ubicación



Vista de los aerogeneradores montados



Vista de montaje de polos de seccionador tripolar 220 kV



Segundo Aero Completo (Aero 9)

## Anexo 5: Ficha técnica Parque Eólico Tres Hermanas



## PARQUE EÓLICO TRES HERMANAS (97,15 MW)

<b>DENOMINACIÓN</b>	CENTRAL EÓLICA PARQUE EÓLICO TRES HERMANAS
<b>EMPRESA CONCESIONARIA</b>	PARQUE EÓLICO TRES HERMANAS S.A.C.
<b>TECNOLOGÍA</b>	Generación Eólica
<b>UBICACIÓN</b>	
Departamento	Ica
Provincia	Nazca
Distrito	Marcona
Altitud	496 msnm
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	
Potencia Instalada	97,15 MW
Punto de Oferta	Subestación Marcona 220 kV
Cantidad de Aerogeneradores	33 (8x2,3 MW-25x3,15 MW)
Nivel de Tensión de Transformadores	0,69/34,5 kV (2,6 MVA y 3,4 MVA)
Modelo de Aerogenerador	SWT-2.3-108, SWT-3.15-108
Velocidad	4 m/s
<b>DATOS DE CONTRATO</b>	
Firma de Contrato	30.09.2011
Puesta en Operación (POC)	11.03.2016
Precio de la Energía Ofertado	8,9 Cts. US\$/kWh
Energía Anual	415 760 MWh



Plano de Ubicación



Montaje de Torres



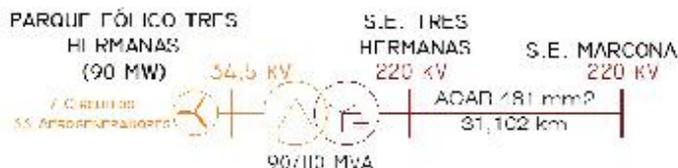
Vista de Aerogeneradores Instalados



Transformador de Potencia 100 MVA

- INFORMACIÓN RELEVANTE**
- La central se encuentra ubicada en la costa peruana, en las cercanías al mar, en el distrito de Marcona, provincia de Nazca y departamento de Ica y consta de un conjunto de 33 aerogeneradores dispuestos en alineaciones distribuidas perpendicularmente a los vientos dominantes en la zona.
  - Los circuitos eléctricos de media tensión del parque son de 34,5 kV y conectan transformadores de cada turbina con la S.E. de la central.
  - Con R.D. N° 251-2013-MEM/AE del 28.08.2013 se aprobó el Estudio de Impacto Ambiental.
  - Mediante Oficio N° 2827-2013-MEM/AE del 22.10.2013 se aprobó el informe de mejora tecnológica.
  - Con R.M. N° 362-2013-MEM/DM se aprobó la primera modificación del contrato, cambiándose la POC del 31.12.2014 al 31.12.2015. Esto se debió a demoras en la aprobación del EIA.
  - Con R.S. N° 049-2014-EM del 11.07.2014 se otorgó la concesión definitiva de generación con recursos energéticos renovables a favor de Parque Eólico Tres Hermanas S.A.C.
  - Con carta COES/D/DP-1464-2015 del 09.09.2015, el COES aprobó el Estudio de Operatividad del proyecto.
  - A la fecha se encuentran montados los 33 aerogeneradores.
  - Con carta COES/D/DP-307-2016 del 09.03.2016, el COES aprobó la Operación Comercial del Parque Eólico Tres Hermanas desde las 00:00 horas del 11.03.2016, con 33 aerogeneradores y una potencia nominal de 97,15 MW.
  - El monto de inversión aproximado fue de 185,7 MM US\$.

## ESQUEMA UNIFILAR DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN



Anexo 6: Ficha técnica Central Eólica Wayra I



CENTRAL EÓLICA WAYRA I (PARQUE NAZCA) (126 MW)

<b>EMPRESA CONCESIONARIA</b>	ENEL GREEN POWER PERÚ S.A.	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	La central tendrá una capacidad de 126 MW, que se obtendrá mediante la instalación de 42 aerogeneradores de 3,13 MW. La conexión al SEIN se realizará a través de la L.T. 220 kV S.E. Flamenco - S.E. Poroma, de simple circuito de 0,683 km.	
<b>UBICACIÓN</b>	Departamento: Ica Provincia: Nazca Distrito: Marcona Altitud: 27 msnm	
<b>DATOS DE LA CENTRAL</b>	Potencia Instalada: 126 MW N° de circuitos: 7	
<b>DATOS DEL AEROGENERADOR</b>	N° de unidades: 42 Potencia Nominal: 3,13 MW Tensión de Generación: 12 kV Factor de Potencia: - Marca: ACCIONA (Modelo AW3130) Año de Fabricación: -	
<b>DATOS DEL TRANSFORMADOR</b>	Transformador de Potencia	Transformador del Aerogenerador
Potencia Nominal	120/130 MVA	42x3,4 MVA
Relación de Transformación	33/220 kV	12/33 kV
Marca	Por definir	Por definir
Año de Fabricación	-	-
<b>DATOS DE CONTRATO</b>	<b>HITOS</b> Tipo de Contrato: Suministro RER (4ta Subesta) Firma de Contrato: 17.05.2016 Energía Ofertada: 573,00 GWh/año Precio de la Energía Ofertada: 37,83 US\$/MWh Puesta en Operación Comercial: 31.03.2018 Cierre Financiero: 15.12.2013 (si) Llegada de Equipos: 13.09.2017 (si) Inicio de Obras: 16.01.2017 (si) Inicio de Montaje: 22.09.2017 (si) POC: 31.03.2018	



Ubicación



Aerogeneradores instalados



Montaje de aspas



Obras civiles Subestación Flamenco

- INFORMACIÓN RELEVANTE**
- La Concesión Definitiva para desarrollar la actividad de generación eléctrica en la futura Central Eólica Nazca de 126 MW, fue otorgada mediante R.M. N° 290-2016-MEM/DM del 18.07.2016.
  - Con R.M. N° 314-2017-MEM/DM del 23.07.2017, se aprobó el cambio de nombre de la Central Eólica Nazca, por Central Eólica Wayra I.
  - El 18.01.2018, el COES aprobó el Estudio de Operatividad del proyecto.
  - El 26.01.2018, el COES autorizó la Conexión para las Pruebas de Puesta en Servicio de la Central.
  - El 04.02.2018, se energizó por primera vez la L.T. 220 kV Poroma-Flamenco por pruebas.
  - El 06.02.2018, se sincronizó por primera vez la C.E. Wayra I con el SEIN, como parte de sus pruebas de operación con una generación de 8 MW.
  - La C.E. Wayra I, actualmente viene inyectando energía al SIEN.
  - Actualmente se realizan pruebas de carga a los circuitos del 1 al 7.
  - El avance físico global es de 97%.
  - La POC estaba prevista para el 31.03.2018. La concesionaria solicitó ampliación de plazo para la POC hasta el 30.05.2018, la cual está pendiente de definición por el MINEM.
  - El monto de inversión aproximado será de 163,8 MM US\$, según lo indicado por la Concesionaria.
  - La ruta crítica del proyecto estuvo en el montaje de los componentes de los aerogeneradores, debido a las condiciones especiales del viento, necesarios para el montaje de los nacelles, aspas y torres. Fuertes vientos en la zona de trabajo motivaron atrasos en el montaje de aerogeneradores, motivo por el cual la Concesionaria solicitó al MINEM la ampliación de plazo de la POC.



## Anexo 7: Ficha técnica Central Eólica Huambos



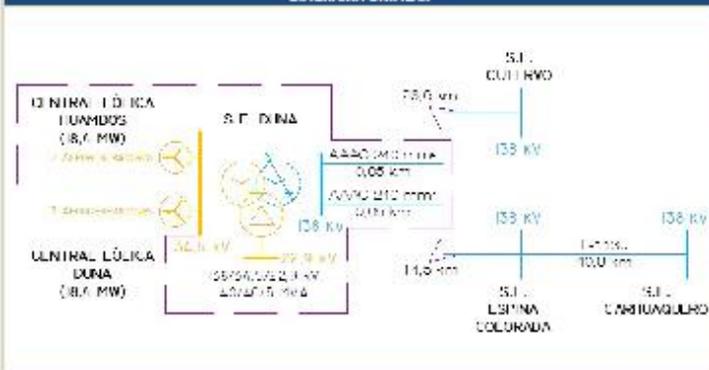
### CENTRAL EÓLICA HUAMBOS (18,4 MW)

<b>EMPRESA CONCESIONARIA</b>	GR PAINO S.A.C.		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	La central tendrá una potencia instalada de 18,4 MW, que se obtendrá mediante la instalación de 7 aerogeneradores de 2,62 MW. La energía ofertada anual adjudicada es de 84 600 MWh.		
<b>UBICACIÓN</b>	Departamento: Cajamarca Provincia: Chota Distrito: Huambos Altitud: 2 276 msnm		
<b>DATOS DE LA CENTRAL</b>	Potencia Instalada: 18,4 MW N° de circuitos: -		
<b>DATOS DEL AEROGENERADOR</b>	N° de unidades: 7 Potencia Nominal: 2,62 MW Tensión de Generación: 0,63 kV Factor de Potencia: - Marca: GAMESA (Modelo G114) Año de Fabricación: -		
<b>DATOS DEL TRANSFORMADOR</b>	<b>Transformador de Potencia</b>	<b>Transformador del Aerogenerador</b>	
Potencia Nominal	40/40/5 MVA	7x2,5 MVA	
Relación de Transformación	138/34,5/22,9 kV	0,63/34,5 kV	
Marca	Por definir	Por definir	
Año de Fabricación	-	-	
<b>DATOS DE CONTRATO</b>	<b>Suministro RER (4ta Subasta)</b>	<b>HITOS</b>	
Tipo de Contrato	Suministro RER (4ta Subasta)	Cierre Financiero	18.09.2017 (no)
Firma de Contrato	17.05.2016	Llegada de Equipos	11.07.2018
Energía Ofertada	84,60 GWh/año	Inicio de Obras	14.08.2017 (no)
Precio de la Energía Ofertada	46,79 US\$/MWh	Inicio de Montaje	23.04.2018
Puesta en Operación Comercial	31.12.2018	POC	31.12.2018

#### INFORMACIÓN RELEVANTE

- La Concesión Definitiva para desarrollar la actividad de generación eléctrica en la futura central de 18 MW, fue otorgada por el MINEM mediante R.M. N° 308-2017-MEM/DM del 07.12.2017.
- El 13.06.2017, el COES aprobó la actualización del Estudio de Pre Operatividad del proyecto.
- El DIA fue aprobado por la DREM de Cajamarca con fecha julio del 2017.
- Actualmente están desarrollando actividades preliminares tendientes a obtener los permisos necesarios para la construcción y operación de la Central Eólica como la Declaración de Impacto Ambiental y Estudios de Ingeniería Básica.
- Cuenta con 40 contratos de servidumbre y 03 CIRAS del área del proyecto con un área liberada de 832,9 m<sup>2</sup>.
- La Concesionaria culminó el Estudio Geológico y Geotécnico para la cimentación de los aerogeneradores.
- No se cumplieron los hitos del proyecto Inicio de Obras (14.08.2017) y Cierre Financiero (18.09.2017).
- El avance físico es de 0%.
- La POC está prevista para el 31.12.2018.
- El monto de inversión aproximado será de 25,9 MM US\$, según lo indicado por la Concesionaria.
- La Concesionaria solicitó modificación de cronograma de obras por fuerza mayor (excesivo plazo tomado por la DREM de Cajamarca para la aprobación del DIA y la Obtención del CIRA), a la fecha está pendiente la aprobación por parte del MINEM.
- Se inspeccionó la zona del proyecto el 27.02.2018 verificándose que no se ha iniciado las obras respectivas.

#### DIAGRAMA UNIFILAR



División de Supervisión de Electricidad  
 Unidad de Supervisión de Inversión en Electricidad – Marzo 2018



Ubicación



Zona de proyecto: ubicación de los aerogeneradores



Zona de proyecto: ubicación de los aerogeneradores



Zona de proyecto: posible ubicación de la subestación de interconexión

Anexo 8: Ficha técnica Central Eólica Duna



CENTRAL EÓLICA DUNA (18,4 MW)

<b>EMPRESA CONCESIONARIA</b>	GR TARUCA S.A.C.		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	La Central Eólica Duna Tendrá una potencia instalada de 18,4 MW. que se obtendrá mediante 7 aerogeneradores de 2,625 MW La energía ofertada anual adjudicada es de 81.000 MWh.		
<b>UBICACIÓN</b>	Departamento: Cajamarca Provincia: Chota Distrito: Huambos Altitud: 2 276 msnm		
<b>DATOS DE LA CENTRAL</b>	Potencia Instalada: 18,4 MW N° de circuitos: -		
<b>DATOS DEL AEROGENERADOR</b>	N° de unidades: 7 Potencia Nominal: 2,62 MW Tensión de Generación: 0,63 KV Factor de Potencia: - Marca: GAMESA (Modelo G114) Año de Fabricación: -		
<b>DATOS DEL TRANSFORMADOR</b>	Transformador de Potencia	Transformador del Aerogenerador	
Potencia Nominal	40/40,5 MVA	7x2,5 MVA	
Relación de Transformación	138/34,5/22,9 kV	0,65/34,5 KV	
Marca	Por definir	Por definir	
Año de Fabricación	-	-	
<b>DATOS DE CONTRATO</b>	Suministro RER (4ta Subesta)	<b>HITOS</b>	
Tipo de Contrato	Suministro RER (4ta Subesta)	Cierre Financiero	18.09.2017 (no)
Firma de Contrato	17.05.2016	Llegada de Equipos	11.07.2018
Energía Ofertada	81,00 GWh/año	Inicio de Obras	14.08.2017 (no)
Precio de la Energía Ofertada	51,79 US\$/MWh	Inicio de Montaje	23.04.2018
Puesta en Operación Comercial	31.12.2018	POC	31.12.2018



Ubicación



Acceso construido para estudio geotécnico



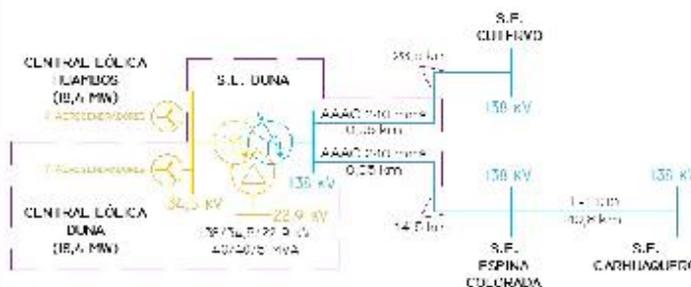
Zona de posible ubicación del Aerogenerador N° 7



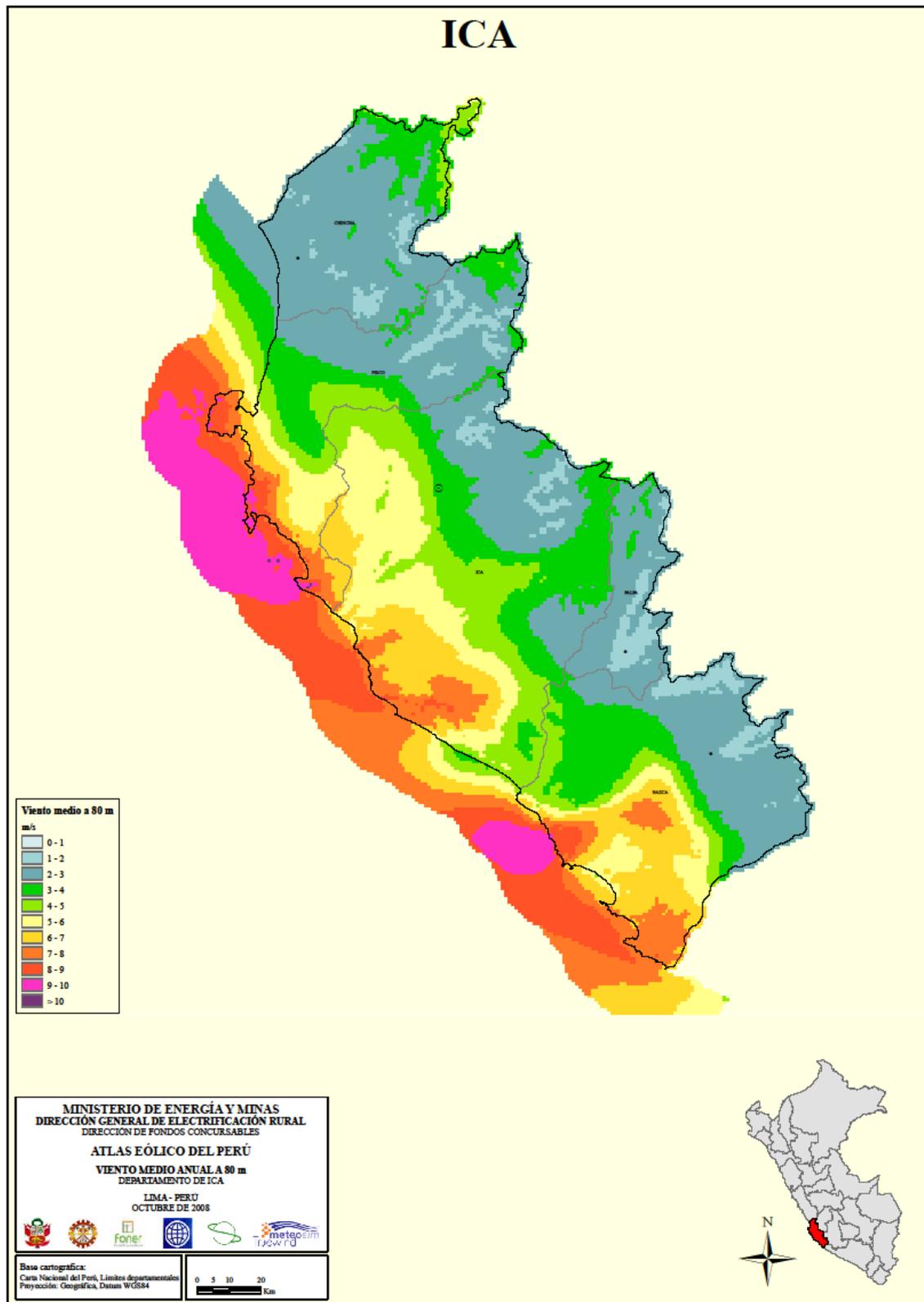
Zona de ubicación del Aerogenerador N° 6

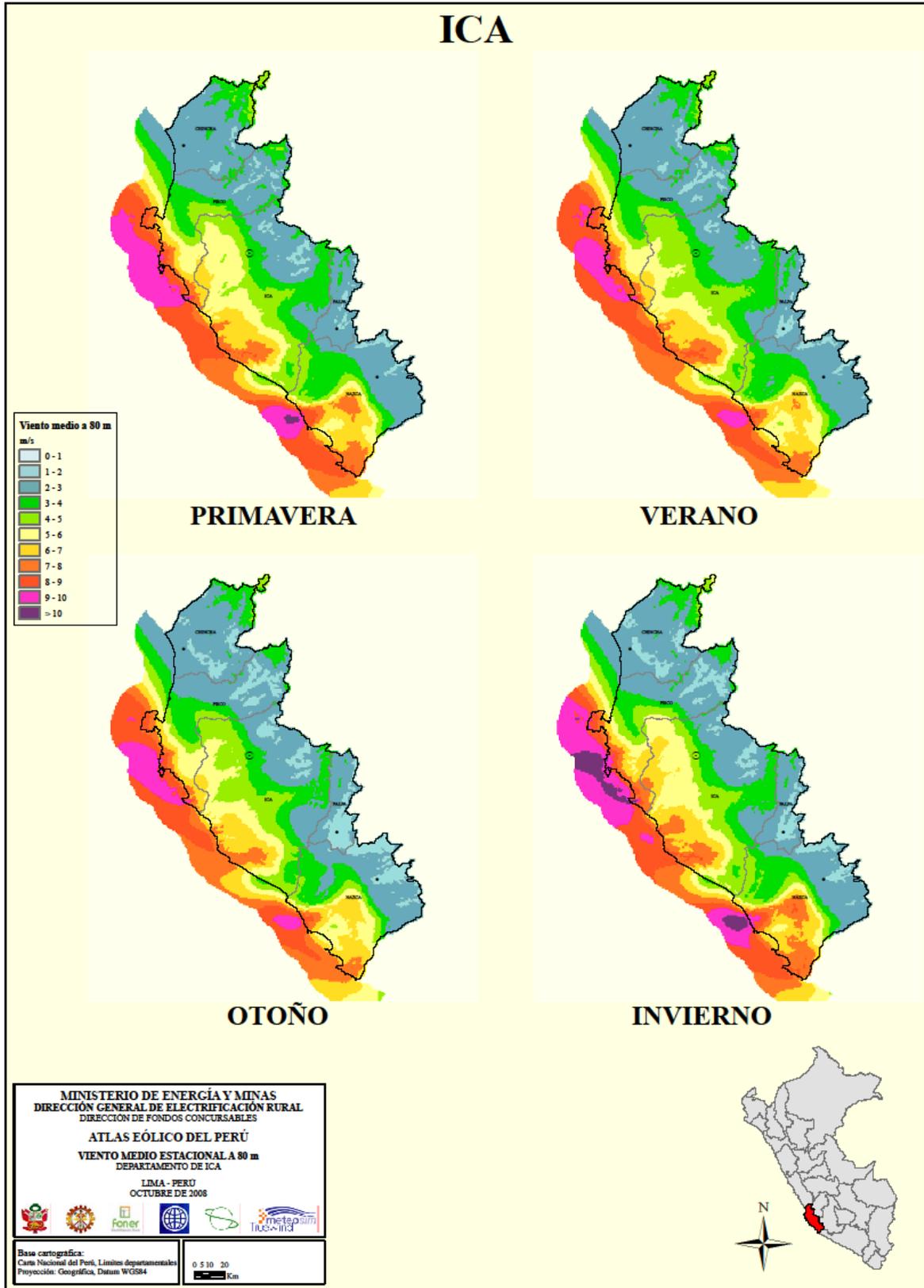
- INFORMACIÓN RELEVANTE**
- La Concesión Definitiva para desarrollar la actividad de generación eléctrica en la futura central de 18 MW, fue otorgada por el MINEM mediante R.M. N° 309-2017-MEM/DM del 07.12.2017.
  - El 13.06.2017, el COES aprobó la actualización del Estudio de Pre Operatividad del proyecto.
  - La DREM de Cajamarca aprobó la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) con fecha 11.07.2017.
  - Cuenta con 3 áreas liberadas con sus CIRAS respectivos haciendo un total de 94,43 ha y además se cuenta con 40 contratos de servidumbre en la zona del proyecto.
  - La Concesionaria culminó con el estudio geológico.
  - El hito inicio de obras civiles programado para el 14.08.2017 no se cumplió, así como el hito Cierre Financiero programado para el 18.09.2017 tampoco se cumplió.
  - La POC está prevista para el 31.12.2018.
  - El avance físico es de 0%.
  - El monto de inversión aproximado será de 25,9 MM US\$, según lo indicado por la Concesionaria.
  - La Concesionaria presentó una solicitud de modificación de cronograma por cuestiones de fuerza mayor a la DGE del MINEM a la fecha está pendiente de aprobación por parte del MINEM.
  - Se realizó inspección de campo zona del proyecto el 27.02.2017 verificándose que no se inició las obras respectivas

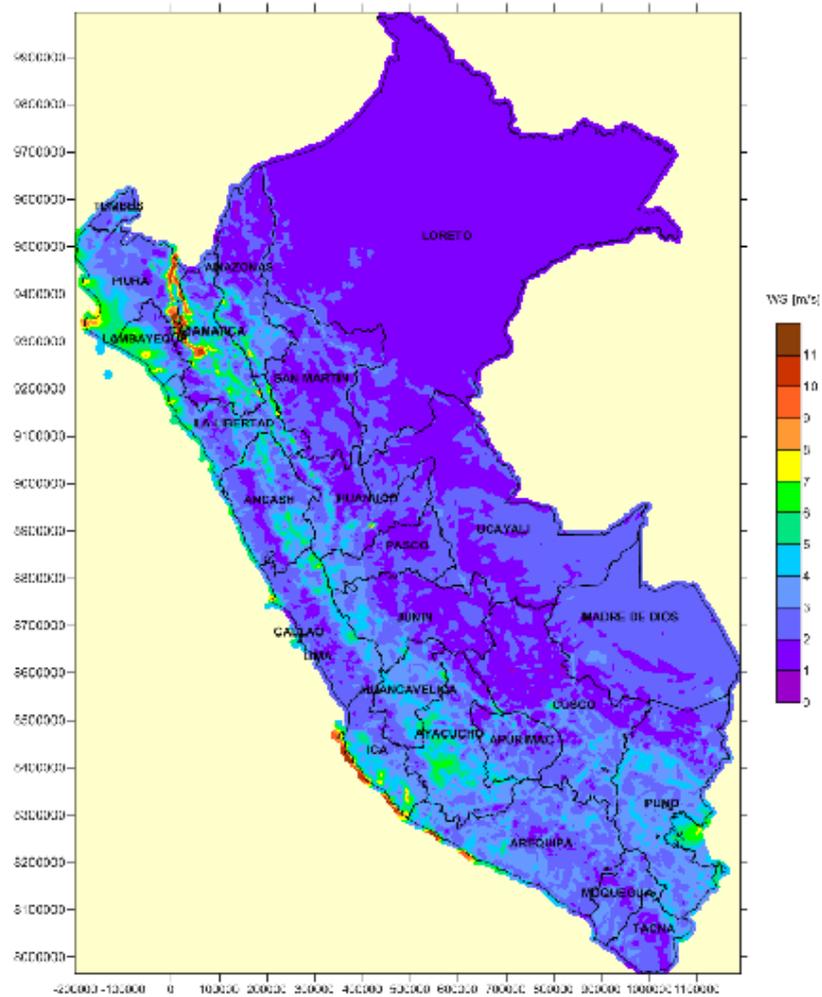
DIAGRAMA UNIFILAR



## Anexo 9: Atlas Eólico de Ica (2008)





**Anexo 10: Velocidad media anual a 25m (atlas eólico 2016)****E.2. VELOCIDAD MEDIA ANUAL DEL VIENTO A 25 m**



Anexo 12: Hoja técnica del aerogenerador Aeolos-50KW



**Aeolos - H 50KW**  
windturbinestar.com



**Turbine**

Rated Power 50 kW  
 Max Power 55 kW  
 Start Wind Speed 2.5 m/s (5.6 mph)  
 Rated Wind Speed 9.5m/s (21.25 mph)  
 Survival Wind Speed 59.5 m/s (133.1 mph)  
 Design Lifetime 20 years  
 Overall Weight 6800 kg (14991.4 lbs)

**Rotor**

Rotor Diameter 18 m (59.1 ft)  
 Swept Area 254.3 m<sup>2</sup> (2737.3 ft<sup>2</sup>)  
 Rated Rotor Speed 55 rpm  
 Blade Material Fiber Glass

**Generator**

Drive Type Direct Drive (Without Gearbox )  
 Generator Type Permanent Magnet Generator  
 Generator Voltage 360 VAC/540VDC (Grid-on)  
 Efficiency 90%

**Safety & Brake**

Mechanical Pitch Control  
 Active Yaw Control  
 Spindle Hydraulic Brakes  
 Rotor Secure Lock  
 UPS For Power Lose

**Tower**

Monopole Tower 24m 30m 36m  
 Hydraulic Tower 24m 30m

**Noise Level**

55dBA at 40m

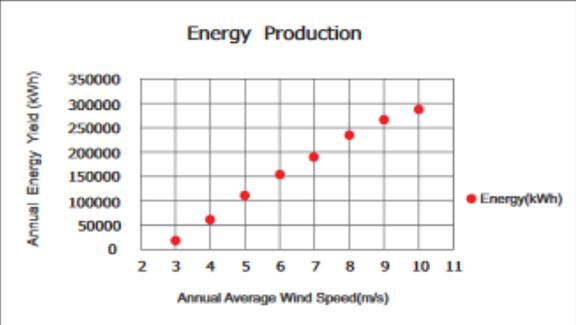
**Warranty**

Standard Warranty 5 years

**Wind Speed/ Power Curve**



**Energy Production**



Wind Speed(m/s)	Power Coefficient	Power Output(kW)	Annual Energy Yield(kWh)
3.0	0.13	0.54	20847
3.5	0.14	0.90	36422
4.0	0.20	1.92	56382
4.5	0.28	3.75	79423
5.0	0.32	5.99	103871
5.5	0.35	8.71	128039
6.0	0.37	11.96	152074
6.5	0.39	16.03	174808
7.0	0.40	20.53	197001
7.5	0.41	25.88	216449
8.0	0.42	32.18	234123
8.5	0.42	38.59	250980
9.0	0.42	45.81	265449
9.5	0.39	50.03	275984

