



**UNS**  
E S C U E L A D E  
**POSTGRADO**

**MAESTRIA EN CIENCIAS ENERGETICAS**

**“EVALUACIÓN DEL RECURSO EÓLICO DE  
LA UNS PARA PROYECCIÓN DE UN BOSQUE  
EÓLICO DE AUTOGENERACION”**

**TESIS DE MAESTRIA EN CIENCIAS ENERGETICAS**

**AUTOR: Amancio Ramiro Rojas Flores**

**ASESOR: DR. Salome Gonzales Chávez**

**CHIMBOTE – PERÚ**

**2012**

**Registro N° \_\_\_\_\_**



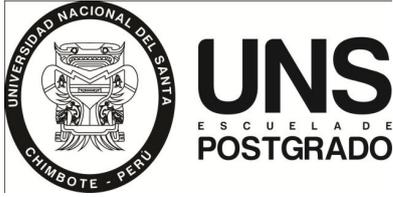
## **CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE LA TESIS DE MAESTRIA**

Yo, Salome Gonzales Chávez, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis de Maestría titulada: “EVALUACIÓN DEL RECURSO EÓLICO DE LA UNS PARA PROYECCIÓN DE UN BOSQUE EÓLICO DE AUTOGENERACION”, elaborada por el bachiller Amancio Ramiro Rojas Flores para obtener el Grado Académico de Maestro en ciencias energéticas en la Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, diciembre del 2012.

.....  
Dr. Salome Gonzales Chávez

ASESOR



HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

**“EVALUACIÓN DEL RECURSO EÓLICO DE LA UNS PARA  
PROYECCIÓN DE UN BOSQUE EÓLICO DE AUTOGENERACION”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS ENERGETICAS**

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

.....  
Dr. Salome Gonzales Chávez

PRESIDENTE

.....  
Dr. Edgar Paz Pérez

SECRETARIO

.....  
Mg. Antenor Mariños Castillo

VOCAL

# INDICE

	Pág
Lista de cuadros	
Lista de gráficos	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
1.1. Planteamiento y fundamentación del problema de investigación	4
1.2. Antecedentes de la investigación	7
1.3. Formulación del problema de investigación	23
1.4. Delimitación del estudio	23
1.5. Justificación e importancia de la investigación	24
1.4. Objetivos de la investigación: General y específicos	26
<b>CAPÍTULO II</b>	
MARCO TEÓRICO	27
2.1. Fundamentos teóricos de la investigación	27
2.2. Marco conceptual	45
<b>CAPÍTULO III</b>	
MARCO METODOLÓGICO	48
3.1. Hipótesis central de la investigación	48
3.2. Variables e indicadores de la investigación	48
3.3. Métodos de la investigación	48
3.4. Diseño o esquema de la investigación	49
3.5. Población y muestra	49
3.6. Actividades del proceso investigativo	49
3.7. Técnicas e instrumentos de la investigación	51
3.8. Procedimiento para la recolección de datos	51
3.9. Técnicas de procesamiento y análisis de los datos.	52
<b>CAPÍTULO IV</b>	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
<b>CAPÍTULO V</b>	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
5.1. Conclusiones	95
5.2. Recomendaciones	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
ANEXOS	

## LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla N°1.1 Potencial energético del viento en el Perú	11
Tabla.1.2. Sitios candidatos para las granjas eólicas por zonas y regiones del Perú	12
Tabla N°1.3 Consumo eólico por departamentos	14
Tabla N°1.4 Distribución del consumo eólico por usos en Perú	14
Tabla N°1.5 Distribución del consumo eólico por sectores	15
Tabla N° 1.6 Capacidad instalada por departamentos	15
Tabla N° 1.7 Distribución de la capacidad instalada por sectores	16
Tabla 1.8. Potencial eólico del Perú	19
Tabla 4.1 velocidad del viento (m/s), estación de monitoreo UNS febrero 2010	54
Tabla 4.2 velocidad del viento (m/s), estación de monitoreo UNS abril 2010	55
Tabla 4.3 velocidad del viento (m/s), estación de monitoreo UNS junio 2010	56
Tabla 4.4 Distribución direccional del viento	57
Tabla 4.5 Distribución de velocidades de viento	57
Tabla 4.6 Duración de velocidades de viento	59
Tabla 4.7 velocidades Acumuladas de datos representativos	61
Tabla 4.8 Hora de viento vs potencia	63
Tabla 4.9 variación de velocidades de viento	64
Tabla. 4.10 Curva de potencia	67
Tabla 4.11 producción de electricidad y la curva de duración de potencia generada	70
Tabla 4.12 Precios de aerogeneradores	74
Tabla 4.13 Datos de entrada para el cálculo Económico	78
Tabla 4.14 Flujo de caja del proyecto aerogenerador de 225 kW	79
Tabla 4.15 Distribución anual de costes del proyecto aerogenerador 225kW	80
Tabla 4.16 Beneficios de comercialización de CO2 para 20 años de proyecto	83
Tabla 4.17 Presupuesto de inversión para 900 US\$/kW	86
Tabla 4.18 Presupuesto de inversión para 700 US\$/kW	86
Tabla 4.19 Energía generada por año en Gwh	92
Tabla 4.20 Beneficio anual de comercialización de CO2	93
Tabla 4.21 beneficio económico del ahorro de emisiones	93
Tabla 4.22 Beneficio económico, ahorro de emisiones vida útil del proyecto 20 años.	93

## LISTA DE FIGURAS

	Pág
<i>Figura N°1.1</i> Potencia instalada por región y tasa de variación. 2007-2010	5
<i>Figura N°1.2</i> Complementariedad energía eólica e hidráulica	7
<i>Figura 2.1.</i> Influencia de obstáculos topográficos sobre la velocidad del viento	27
<i>Fig 2.2.-</i> Área A barrida por el rotor de diámetro D	29
<i>Figura 2.3.</i> Densidad de probabilidad de velocidad del viento según Weibull	31
<i>Fig 2.4.-</i> Distribución de energía disponible para una velocidad media del viento	33
<i>Figura 2.5.</i> Componentes de un aerogenerador.	36
<i>Figura 2.6</i> Configuración de las turbinas de eje horizontal	38
<i>Figura 4.1</i> Rosa de viento – de velocidades medias (m/s)	58
<i>Figura 4.2</i> Rosa de viento –de frecuencias (%)	58
<i>Figura4.3</i> Distribución de frecuencias de velocidades de viento	60
<i>Figura4.4</i> Curva de duración de velocidades	60
<i>Figura4.5</i> Diagrama de duración de velocidades	60
<i>Figura4.6</i> Distribución de energía disponible para velocidad media del viento	62
<i>Figura 4.7</i> caracterización del potencial eólico	63
<i>Figura4.8</i> curva de potencia del aerogenerador seleccionado	67
<i>Figura 4.9</i> Curva de coeficiente de potencia estimado	69
<i>Figura4.10</i> Curva de duración de velocidades de viento	71
<i>Figura4.11</i> Curva de producción eléctrica del aerogenerador, la altura de 30m	71
<i>Fig.4.12</i> rango de precios de aerogenerador Danes	73

## RESUMEN

En este trabajo se realiza una evaluación del recurso eólico para proyección de un bosque eólico de autogeneración; para lo cual se trazo como objetivo evaluar el recurso eólico del campus de la UNS utilizando una metodología de investigación de campo y de gabinete, así como el uso de normativas de medición existentes, para cuantificar el potencial energético eólico existente en el lugar de estudio.

La metodología empleada comprende lo referente al estudio preliminar del proyecto; que consistió en la obtención de los datos básicos para tomar la decisión de instalación del parque eólico, la cuantificación del potencial eólico permitió determinar las características eólicas aproximadamente reales del lugar de influencia. A partir de ello se realizó el cálculo energético básico y el nivel de generación eléctrica anual para una unidad generadora.

En el proceso de estimación del recurso eólico; por un lado se consideró datos de las condiciones meteorológicas cercanas al lugar y por otro lado se ha procedido a la toma de mediciones del viento a la altura de 10 metros sobre el nivel del terreno, durante tres meses representativos (Febrero, abril, Junio) del 2010 tomados en el campus de la UNS, con intervalos de 10 minutos. A partir de estos datos, Se ha construido curvas de velocidades de viento, diagrama de duración de velocidades y luego se ha procedido al cálculo del sistema aerogenerador.

Los resultados dan entre otros valores una velocidad promedio de 5 m/s, dirección de viento predominante sureste. En el análisis económico para un aerogenerador; se ha encontrado un VAN de \$ 809674, un TIR de TIR: 73% y un número de periodo de recuperación de 06 años.

En base a los resultados hallados se puede concluir que se presentan condiciones favorables para la instalación de un parque eólico de autogeneración en la Universidad Nacional del Santa.

## **ABSTRACT**

An evaluation of her aeolian resource comes true In this work in order to projection of an aeolian autogeneration forest; Stop it as I draw myself as objective to evaluate the aeolian resource of her campus UNS utilizing a fact-finding methodology farm and theoretical, as well as the ground rules use of measurement existent, stop to quantify the energetic potential aeolian existent at the place of study.

The methodology once was used understands it relating to the project's preliminary study; That the basic data's obtaining consisted in in order to take the installation decision of the wind farm, the aeolian potential's quantification permitted determining the aeolian characteristics approximately real of the influence place. energetic calculation came true basic Starting from it and the electric- generation level yearly in order to a generating unit.

In the process of estimating the wind resource; On the one hand, data on nearby meteorological conditions were taken into account, and on the other hand, wind measurements were taken at a height of 10 meters above ground level for three representative months (February, April and June) Of 2010 taken at the campus of the UNS, with intervals of 10 minutes. From these data, wind velocity curves, velocity duration diagram have been constructed and then the calculation of the wind turbine system

Aftermaths give among another moral values, 5 m/s's average velocity, prevailing-wind direction southeast. In the economic analysis in order to an aerogenerar; have been found a VAN of \$ 809674, TIR of 73% and One of recuperation period of 06 years.

They can conclude me On the basis of the found aftermaths that favorable conditions are up for the installation of an autogeneration wind farm in the University Nacional of the Santa.

## INTRODUCCIÓN

La sociedad contemporánea ha presentado un desarrollo inigualable en la historia, el hombre se ha expandido por todos los rincones de la tierra, transformó el medio, almacena información magnéticamente y puede transportarse rápidamente a cualquier lugar del planeta en cuestión de horas. Todo esto ha sido posible gracias a una fuente de energía, "combustibles fósiles", este recurso resultado de la captación de la energía solar durante millones de años ha sido el motor de nuestra sociedad.

En la última década, tanto en nuestro país como en el resto del mundo, temas como la conservación de los recursos naturales y la protección del medio ambiente, han alcanzado gran relevancia. Una de las áreas de grandes problemas medioambientales es la generación de energía y son muchos los esfuerzos que hay que promover a fin de articular un porvenir más esperanzador para las generaciones futuras, y en este sentido, uno de los logros más significativos es, sin duda, el desarrollo de nuevas actitudes respecto del uso racional de energía y políticas que fomentan. Una de estas políticas es el Protocolo de Kyoto, el cual tiene como objetivo reducir sustancialmente las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), son muchos los países, que tienen programas con objetivos concretos de incremento del uso de estas energías renovables.

En este contexto, en los últimos tiempos se ha producido un fuerte impulso en el desarrollo y utilización de distintas tecnologías de generación, en particular aquellas relacionadas con fuentes renovables.

Actualmente es de gran preocupación las consecuencias negativas para el medio ambiente del uso de combustibles fósiles, por lo que ahora es tiempo de utilizar fuentes alternas de generación de energía. Las fuentes renovables de energía son una alternativa oportuna para sostener el desarrollo social y mitigar las consecuencias del uso de combustibles fósiles.

El sistema energético se encuentra en un punto crítico ya que el consumo masivo de combustibles fósiles, que son la principal fuente de energía, es mayor responsable de las emisiones que están comenzando a provocar cambios climáticos severos. De continuar por este camino, es muy probable que se superen los límites que la naturaleza puede soportar, lo que podría provocar para la mayoría de las especies animales dificultades para adaptarse a cambios tan intensos y rápidos. La única solución real al cambio climático se encuentra en la sustitución gradual de la energía de combustibles fósiles por las energías de fuentes renovables, acompañada necesariamente de un uso más eficiente de la energía.

La confianza en los sistemas eólicos de generación de energía eléctrica se ha incrementado notablemente en esta última década, no solamente entre la opinión pública sino incluso entre los sectores más reacios del negocio energético. La energía eólica es vista por la opinión pública como una fuente de empleo local y vía de desarrollo del entorno, sin graves incidencias negativas sobre el medio ambiente. La gran aceptación de esta energía por la opinión pública junto con la rentabilidad de las instalaciones ha contribuido y contribuye a su rápido desarrollo.

La investigación que se presenta se orienta a hacer la evaluación del potencial de la energía eólica para generación de energía eléctrica en el campus universitario de la Universidad Nacional del Santa ubicada en la ciudad de Chimbote en el departamento de Ancash. Varios aspectos definen la problemática que se aborda a saber: La existencia de fuertes vientos en la zona, Identificación en el Atlas de Vientos y Energía Eólica de Perú (MEM,2008).

Desde el punto de vista conceptual y técnico el proyecto busca determinar la velocidad del viento, la relación entre altura sobre el nivel del mar y velocidad de los vientos, con el fin de evaluar la posibilidad de aprovechamiento de la energía eólica y la oferta de la misma en relación con satisfacción de demandas energéticas de la población universitaria.

Se busca además crear conciencia e interés en la “La comunidad Universitaria del uso de energía limpia, que sea un ejemplo en cuanto al uso de tecnologías limpias, además esta casa de estudio cuenta entre sus carreras pioneras la ingeniería de la energía; por lo tanto; esta tesis tiene el propósito de cuantificar la energía aprovechable contenida en el viento de Ciudad Universitaria.

Debido a lo anterior, el objetivo general del trabajo busca realizar el estudio del potencial de generación de energía eólica para autogeneración como energía alternativa, en el campus universitario. Las preguntas a resolver que se plantean son las siguientes:

- ¿El potencial de generación de energía eléctrica podría satisfacer necesidades energéticas del campus universitario
- ¿Será económicamente viable la utilización del potencial energético eólico existente para satisfacer las necesidades energéticas de la zona de estudio?

Para lograr una fácil comprensión se dividió en cuatro partes: la primera parte describe las principales características del fenómeno en estudio, es decir, características generales del viento. La segunda parte muestra la infraestructura necesaria para realizar la medición con la finalidad de obtener los datos fuente con los que se realizará el estudio de recurso. La tercera parte detalla la campaña de medición eólica realizada en la Ciudad universitaria para el presente trabajo, se realiza la evaluación económica con un aerogenerador piloto; para finalmente hacer la proyección de un bosque eólico.

# **CAPITULO I**

## **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

### **1.1 Planteamiento y fundamentación del problema de investigación**

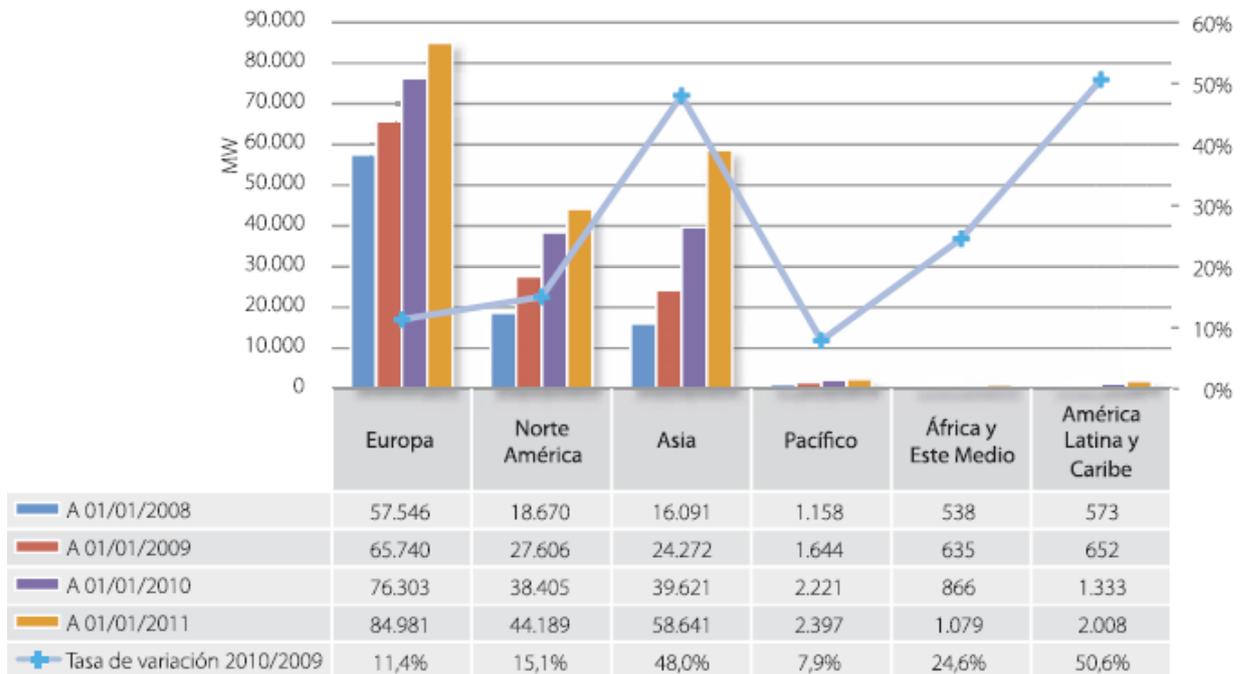
En la actualidad, el sector energético se ha convertido en una condición para el crecimiento económico de los países, debido a la estrecha relación que existe entre el crecimiento del producto interno bruto y la demanda de energía de cada país.

El incremento en el nivel de vida de la población, ha generado un aumento persistente de la demanda energética. La naturaleza finita de los recursos ha obligado a buscar una mayor eficiencia en la producción y el uso de la energía; así como a desarrollar el potencial del uso de fuentes de energía no fósiles.

La energía eólica es una de las fuentes de energía con mayor crecimiento de implantación en el mundo. Su importancia desde finales del siglo XX para la generación de energía eléctrica limpia, la ha conducido rápidamente a ser una de las más importantes en la generación eléctrica en muchos países.

Hay que tener en cuenta que, en sólo tres años, la eólica ha más que duplicado su potencia instalada a nivel mundial: si en 2007 ésta era de 93.820 MW, ahora contamos con 194.390 MW y parece que el ritmo de crecimiento no va a ser inferior en los años venideros.(AEE,2011)

En términos relativos, todas las regiones mundiales siguen una trayectoria ascendente, aunque con desigual fortuna (ver fig.1). Así, mientras que Pacífico es la que menos crece, con apenas un 7,9%, América Latina y Caribe es la que más lo hace, con un 50,6%, seguida por Asia, con un 48%.



**Figura N°1.1** Potencia instalada por región y tasa de variación. 2007-2010  
(Fuente: GWEC, EWEA y AEE-anuario 2011.)

Para que este hecho llegara a producirse, han tenido que aunarse varios factores, entre los que se pueden calificar cinco como los decisivos:

- La necesidad, ligada al progresivo agotamiento de los combustibles fósiles
- Potencial, existente en varias partes del Globo, del suficiente recurso eólico.
- La capacidad tecnológica, para desarrollar aerogeneradores cada día más eficientes.
- La visión de los pioneros en este campo, quienes en la segunda mitad del siglo pasado dirigieron el desarrollo tecnológico para conducirnos a la situación actual.
- La voluntad política para facilitar la implantación de la energía eólica, tanto en lo que se refiere a la tramitación administrativa como a la retribución para el productor.

Los actuales recursos energéticos de fuentes no renovables, líderes en el contexto mundial, llevan a las naciones a niveles de contaminación cada vez más dramáticos. En tal sentido, el desarrollo y uso de nuevas fuentes de energía no contaminantes representan un importante avance en la generación de recursos en armonía con el medio ambiente y por lo tanto, de carácter estratégico para el futuro global.

La energía eólica se está utilizando como una herramienta para luchar contra el cambio climático y por ello su innegable valor, sin embargo, la producción de energía eólica no está exenta de consecuencias negativas, tanto para la sociedad como para la conservación de la naturaleza.( SEO/BirdLife,2008)

La Organización de las Naciones Unidas, en el marco del Convenio Marco sobre Cambio Climático, estableció una serie de mecanismos que, ayudando a reducir los niveles de emisión de gases contaminantes a los países más industrializados, y mejorando las condiciones sociales de algunos países, contribuirían sin duda a establecer una energía más limpia en los lugares donde se aplicaran dichos mecanismos. De esta forma, se establecieron los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) para su aplicación en países en desarrollo no incluidos en el Anexo I3 de la CMNUCC. Estos proyectos pueden contribuir a la transferencia de tecnología y favorecer el desarrollo sostenible en países de acogida de dichos proyectos.(Canseco,2010)

Bajo este contexto, el uso de las energías renovables aparece como un elemento que contribuye a aumentar la seguridad energética del país, al diversificar su matriz energética ante la expectativa del encarecimiento y la volatilidad de las fuentes convencionales de energía, así como a mitigar las emisiones de gases efecto invernadero y las graves consecuencias del cambio climático provenientes del uso de energéticos fósiles.

Por los motivos nombrados anteriormente, es de vital importancia la localización de los emplazamientos adecuados para el desarrollo de instalaciones eólicas, entendiendo como tales aquellos que dispongan del suficiente recurso eólico. Sólo una vez localizados estos emplazamientos se pueden empezar a considerar otros factores, como son las infraestructuras eléctricas, la factibilidad técnica y económica del proyecto, o el impacto ambiental.

## 1.2 Antecedentes de la investigación

### 1.2.1 La energía eólica en el Perú

#### 1.2.1.1 Situación Actual:

Aunque la capacidad instalada con aerogeneradores, hasta el momento, en el país no alcanza apenas el megavatio, el Perú dispone de un potencial eólico superior a los 22 GW. Y según el atlas Eólico del Perú los departamentos de Ica y Piura, situados en la costa, son las regiones que cuentan con el mayor potencial aprovechable, con 9.144 MW y 7.554 MW respectivamente, existiendo registros de viento de 5 a 7 m/s. (Ministerio de Energía y Minas,2008)

Teniendo en cuenta la situación actual, el país necesita diversificar la matriz energética para asegurar el abastecimiento energético y la energía eólica, debido a su alto potencial en el país, se configura como una excelente oportunidad. Además, existen estudios que indican que el régimen de generación hidroeléctrica y el régimen de vientos se complementan a lo largo del año. Tal y como muestra el gráfico N° 2, existe una alta producción hidroeléctrica de diciembre a mayo y un régimen estable de recurso eólico favorable de mayo a noviembre. (Coronado,2010)

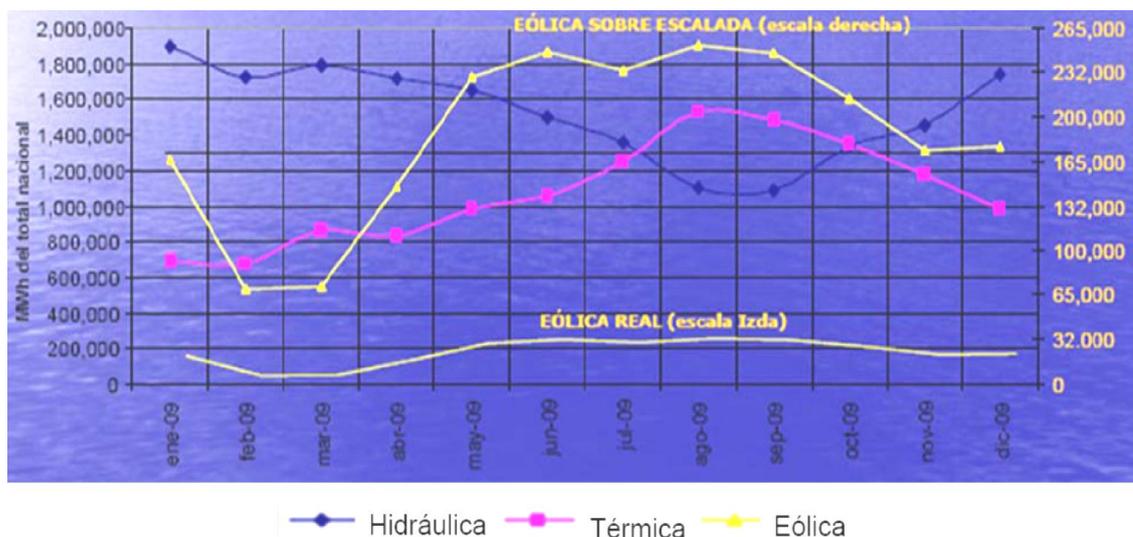


Figura N°1.2 Complementariedad energía eólica e hidroeléctrica (Fuente: Energía Eólica S.A.).

Uno de los aspectos más importantes de las tecnologías de energía eólica es su integración en la red. En el caso peruano existe un primer estudio que indicaba que la potencia máxima admisible de energía eólica en la red alcanzaba los 375 MW, aunque una revisión posterior del informe por parte del COES establece la capacidad eólica en 640 MW.

Uno de los aspectos más importantes de las tecnologías de energía eólica es su integración en la red. En el caso peruano existe un primer estudio que indicaba que Complementariedad energía eólica e hidráulica (Coronado,2010).

### **Marco Regulatorio del Sector**

El marco regulatorio que afecta a las instalaciones de energía eólica y viene definido por los siguientes documentos:

- El decreto N° 25844, Ley La Ley de Concesiones Eléctricas; norma lo referente a las actividades relacionadas con la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica. Ministerio de Energía y Minas(MEM,1992)
- El decreto supremo N° 009-93-EM, Reglamento de la Ley se establecen los derechos y obligaciones para las entidades que desarrollan actividades de generación, como son: presentar la información técnica y económica al COES y OSINERGMIN, facilitar las inspecciones técnicas, cumplir con las normas de conservación del medio ambiente y del Patrimonio Cultural de la Nación, entre otras. (MEM,1993)
- El D.L. 28832, Ley para asegurar el desarrollo eficiente de la generación Eléctrica; recoge la problemática de déficit de generación e introduce cambios de forma de incentivar las inversiones en nueva generación. (MEM,2006)

### 1.2.1.2 Barreras a la energía eólica

- Barreras Tecnológicas:

Las tecnologías de energía eólica, son tecnologías consolidadas y conocidas, especialmente en los países más desarrollados donde el mercado ha alcanzado una cierta madurez. Pero en el caso de Perú, éste es un mercado incipiente en el que se han detectado barreras de carácter tecnológico que impiden su crecimiento. A continuación se analizan las principales barreras detectadas:

- Integración en la red:

El problema a solucionar es cómo integrar en el sistema un contingente considerable de generación de incorporación prioritaria cuya disponibilidad es aleatoria de localización libre, y que ante situaciones de inestabilidad actualmente se desconecta del mismo, obligando al resto de generación a incrementar su cuota de participación en los servicios complementarios del sistema, imprescindibles para su buen funcionamiento.

Además, debemos tener en cuenta que los parques eólicos se localizan generalmente en áreas con baja densidad de población, donde frecuentemente las redes eléctricas son débiles y requieren ser reforzadas y mejoradas. De hecho el sistema eléctrico peruano es radial y poco redundante. La aparición de huecos de tensión y el control de la potencia reactiva, son también aspectos particulares de la integración a red de los parques eólicos.

- Falta de proyectistas, instaladores y mantenedores capacitados:

El mercado de la energía eólica en Perú es un mercado poco maduro, lo que hace que la demanda existente de los diferentes servicios asociados a esta tecnología, como son servicios de ingeniería, instalación y mantenimiento, sea baja; en otras palabras, existe una cierta inmadurez del mercado eólico. Además de la escasez de servicios, también se ha detectado la escasez de proyectistas, instaladores y mantenedores calificados.

### 1.2.2 Evolución de información eólica en el Perú

La energía eólica se encuentra a lo largo de la costa y algunos valles interandinos, con valores que fluctúan entre 2.5 a 8 m/s. Según la Organización Mundial de Meteorología, el Perú posee 28 de los 32 climas oficiales del mundo apropiados para esta actividad de generación de energía. Las primeras mediciones de potencial eólico con fines energéticos fueron efectuadas por electricidad del Perú (Electro Perú), servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú (Senamhi) y corporación peruana de aeropuertos y aviación comercial (Corpac).

La evolución de la información eólica se ha dado de la siguiente manera:

- La organización Latinoamericana de energía presentó un mapa eólico preliminar del Perú, basado en mediciones realizadas en 48 estaciones distribuidas por todo el país. (Olade,1983).
- Electro Perú inicia los estudios de investigación de energía eólica en la costa peruana y define la potencialidad de Malabrigo (MEM,1989).
- La Empresa de Administración de Infraestructura Eléctrica–Adinelsa publica el 2do. Mapa Eólico Preliminar del Perú y se estima un potencial de 57,000MW a lo largo de toda la costa.(Adinelsa,1993).
- La Dirección Ejecutiva de Proyectos (DEP) del Ministerio de Energía y Minas implementa el Proyecto Piloto Malabrigo de 250kW.(MEM,1996).
- La DEP implementa el Proyecto Piloto San Juan de Marcona de 450kW. (MEM,1999).
- Los Proyectos Piloto Malabrigo y San Juan de Marcona son transferidos a (MEM,2000).
- El Ministerio de Energía y Minas, publica en el “Atlas de Minería y Energía en el Perú 2001” el Potencial Disponible de Energía Eólica. (MEM, 2001).
- Adinelsa publica el documento “Evaluación Técnica y Económica de las Centrales Eólicas Piloto Malabrigo y San Juan de Marcona” .(Adinelsa,2004).
- El Ministerio de Energía y Minas otorga a Petrolera Monterrico S.A. la 1ra. Concesión Temporal para desarrollar los estudios relacionados a la actividad de generación eléctrica en la futura Central Eólica Malabrigo. (MEM,2007).
- El Ministerio de Energía y Minas contrata los servicios del Consorcio Meteosim True wind–Latin Bridge Business para la elaboración del Mapa Eólico Nacional del Perú. (MEM,2008)

Otras evaluaciones han sido realizadas, sobre todo para aplicaciones de bombeo eólico, por instituciones como instituto de investigación tecnológica y de normas técnicas (Itintec) y la Cooperación Técnica Alemana (GTZ) en los departamentos de Piura y Lambayeque.

Se cuenta con evaluaciones puntuales de viento, realizadas por instituciones dentro de las cuales pueden citarse al estudio meteorológico del departamento de Piura (1980) realizado por Itintec; el estudio de vientos del departamento de Puno (1982-1983) efectuado por la consultora alemana ITC a solicitud del Convenio GTZ-Corpuno; el estudio de vientos de Characato, Arequipa (1981) llevado a cabo por Itintec; el estudio de vientos de Lurín y Villa en Lima (1984), también realizados por Itintec y por último; el estudio de vientos en Apurímac y Junín (1984), realizado por Itintec. La tabla 1.1 presenta información sobre el potencial energético del viento en el Perú.

Tabla N°1.1 Potencial energético del viento en el Perú

Nombre	Departamento	Altitud (m.s.n.m)	Velocidad media (m/s)	Energía producible (kWh/año)
Tumbes	Tumbes	25	2.6	252
Talara	Piura	50	8.5	4993
Piura	Piura	46	4.0	642
Chiclayo	Lambayeque	27	5.1	1281
Trujillo	La libertad	33	5.0	1243
Chimbote	Ancash	11	5.5	1157
Aeropuerto	Lima	13	3.4	507
Laguna	Ica	10	6.5	2465
grande	Ica	31	6.4	2329
Marcona	Arequipa	20	6.7	2701
Pta, Atico	Moquegua	50	5.0	1223
Pta. De coles	Tacna	452	2.5	363
Tacna				

Fuente: CENERGIA (2006)

Con la finalidad de realizar la evaluación preliminar del recurso eólico del Perú y elaborar los productos finales correspondientes, la Dirección General de Electrificación Rural del Ministerio de Energía y Minas (DGER/MEM) y el Consorcio Meteosi Truewind S.L. – Latin Bridge Business S.A., suscribieron el 29 de abril de 2008 el Contrato N° 003- 2008-MEM/DGER/DFC/GEF para la ejecución de la Consultoría “Implementación del Sistema Digital para Evaluación Preliminar del Potencial de Recurso Eólico – VIENTOGIS”

Se ha evaluado en forma preliminar el potencial eólico a nivel nacional y ha presentado productos finales que tienen implementado un sistema de consultas, con lo que se facilitará el acceso de los potenciales inversionistas privados nacionales y extranjeros.

Por otro lado se contrató servicios de Consultoría N° 04-2009/COES Estudio para definir la: “Máxima Capacidad de Generación Eólica a ser instalada en las Zonas Norte, Sur Medio y Sur del SEIN” Los análisis efectuados para evaluar las capacidades del sistema se han orientados a las zonas del Norte, Sur Medio y Sur del SEIN siguiendo las indicaciones de las Bases del Estudio y, asimismo para las barras a 138 y 220 kV seleccionadas como Candidatas según se reportan.(Martinelli,2009)

Tabla.1.2. Sitios candidatos para las granjas eólicas por zonas y regiones del Perú

ZONAS	Región	Provincia	Sitios Candidatos
Norte	Tumbes	Tumbes	Tumbes
	Piura	Talara	Talara
	Piura	Piura	Piura
	Lambayeque	Chiclayo	Chiclayo
	La Libertad	Pacasmayo	Guadalupe
	La Libertad	Trujillo	Trujillo
	Ancash	Santa	Chimbote
	Lima	Barranca	Paramonga Nueva
Sur Medio	Lima	Huaura	Huacho
	Ica	Ica	Ica
Sur Noroeste de Arequipa	Ica	Nazca	Marcona
	Arequipa	Caraveli	Repartición
	Arequipa	Islay	Mollendo
	Moquegua	Mariscal Nieto	Moquegua
	Tacna	Tacna	Tacna

Fuente.ESC,209

### 1.2.3 Diagnóstico de la situación actual del uso de la energía eólica en el Perú

En el Perú, la energía eólica se usa para fines como electricidad en el sector rural (domiciliario, agricultura, ganadería), electricidad para estaciones científicas en zonas aisladas, telecomunicaciones por microondas, pequeña industria, energía mecánica (bombeo de agua) e interconexión a la red. El bombeo eólico es usado desde principios del siglo XX, existiendo una amplia experiencia en este campo.

Existe una demanda en el sector rural, sobre todo para la aplicación de la energía eólica en baja potencia (hasta 1 KW). Sin embargo, la energía eólica interconectada a la red eléctrica nacional está tomando importancia y ya existen dos empresas que están realizando mediciones locales de viento, a efectos de evaluar la factibilidad de instalar bosques eólicos.

Los primeros aerogeneradores de pequeña potencia (hasta 1 KW) fueron instalados en el año 1993. Hasta el momento existen alrededor de 50 aerogeneradores. En cuanto a los equipos de gran potencia (más de 1KW), como se ha mostrado en los párrafos precedentes, existen actualmente dos: la central eólica de Malabrigo y la central eólica de San Juan de Marcona.

El sector agrario utiliza las aerobombas en su mayoría, el sector público posee algunos aerogeneradores, así como el sector privado, pero donde está el mayor potencial es en la generación de gran potencia interconectada a la red nacional.

La tabla N° 1.3 muestra los departamentos en donde se está utilizando más la energía eólica.

Tabla N°1.3 Consumo eólico por departamentos

Departamento	Consumo	
	MWh/año	%
Ayacucho	1.6	0.1
Cajamarca	18.5	0.7
Cusco	1.6	0.1
Ica	587.9	22.7
Junín	3.1	0.1
La libertad	958.9	37.0
Lambayeque	26.6	1.0
Lima	0.2	0.0
Moquegua	1.8	0.1
Piura	992.9	38.3
<b>Total</b>	<b>2592.2</b>	<b>100.00</b>

Fuente. CENERGIA (2006).

Los usos más representativos del consumo de energía eólica lo constituyen el bombeo de agua para parcelas agrícolas y la iluminación de domicilios y cercos perimétricos tal como puede ser visualizado en la tabla N° 1.4

Tabla N°1.4 Distribución del consumo eólico por usos en Perú

Usos	Consumo	
	MWh/año	%
Bombeo de agua	1017.1	39.2
Otros artefactos eléctricos	1558.17	60.1
Iluminación	16.97	0.7
<b>Total</b>	<b>2592.24</b>	<b>100.00</b>

Fuente. CENERGIA (2006).

Por otro lado se evidencia que los sectores con más demanda de esta energía lo representan el sector agropecuario (bombeo): 38.6%, el comercial (mediante los dos aerogeneradores interconectados a la red): 59.74%, el rural (iluminación, aparatos menores, bombeo de agua. Este sector también consume energía eólica interconectada a la red): 1.66% y público: 0,0002%, esta situación es presentada en la tabla N° 1.5

Tabla N°1.5 Distribución del consumo eólico por sectores

Usos	Consumo (Mwh/año)
Agropecuario	100.58
Comercial	1548.68
Investigación	0.01
Rural	42.97
<b>Total</b>	<b>2592.24</b>

Fuente. CENERGIA (2006).

La energía eólica de pequeña potencia no se ha desarrollado en los últimos veinte años, debido a una serie de barreras, entre las cuales se encuentran la falta de promoción, la poca tecnología, la falta de recursos humanos capacitados, entre otros. Lo mismo sucede con la energía eólica interconectada a la red, donde la falta de legislación y normatividad, lo que hace que proyectos factibles sean postergados o dejados de lado por inversionistas.

Hace 40 años, existían pocos fabricantes de molinos de viento para bombeo de agua. Sin embargo, su utilidad en el sur de país hizo que en la zona de Arequipa se utilicen mucho estos equipos. Hasta el momento, los fabricantes son artesanales y no se han formalizado. La distribución de la capacidad instalada se presenta en la tabla N° 1.6

Tabla N° 1.6 Capacidad instalada por departamentos

<b>Departamento</b>	<b>Capacidad (kW)</b>
Ayacucho	1.00
Cajamarca	10.10
Cusco	1.00
Ica	455.00
Junin	2.00
La libertad	250.00
Lambayeque	8.73
Lima	2.00
Moquegua	1.20
Piura	272.93
<b>Total</b>	<b>1003.96</b>

Fuente. CENERGIA (2006).

Existen pequeños fabricantes de aerogeneradores con tecnología de imanes permanentes, y aunque esta tecnología es de punta y se necesitan profundos conocimientos e investigación, estos fabricantes tampoco son formales.

Los sectores más representativos identificados son el sector comercial con un 70,31% de la capacidad instalada, el mismo que responde a la existencia de las centrales eólicas de Malabrigo y Marcona; y el sector agropecuario con 27.63 %, debido a los aerogeneradores de baja potencia.

Tabla N° 1.7 Distribución de la capacidad instalada por sectores

Sector	Capacidad (kW)
Agropecuario	277.43
Comercial	705.90
Publico	2.00
Rural	18.93
<b>Total</b>	<b>1003.96</b>

Fuente. CENERGIA (2006).

Si se llegaran a instalar bosques eólicos en Marcona, Paita y Malabrigo, se crearía en torno a estas instalaciones todo un mercado. Se concentrarían proveedores y técnicos en las zonas de influencia, y se generaría trabajo. La empresa ABB de Alemania, está realizando desde marzo de 2003, mediciones de viento en la zona de

San Juan de Marcona (Ica) también con la finalidad de elaborar un estudio de factibilidad para un bosque eólico de 10 MW.

## 1.2.4 Situación actual y perspectivas de la energía eólica en el Perú

### 1.2.4.1 Potencial eólico nacional

El Perú acabó 2010 con apenas 0,2Mw de energía eólica; sin embargo el Perú tiene un potencial eólico de 77,394 megavatios (Mw) y una potencia aprovechable de 22,452 Mw, según el Atlas Eólico del Ministerio de Energía y Minas (MEM). En el que consigna que el país posee 28 de los 32 climas identificados a nivel mundial que son apropiados para la generación de la energía eólica, cuya vida útil es de 25 años como mínimo.

El Ministerio de Energía y Minas, consideró la realización de la Consultoría, referente al recurso eólico nacional. Para realizar el Estudio del potencial eólico, la consultora Meteosim Truewind S.L. – Latin Bridge Business S.A ha realizado una estimación de la potencia eólica total y aprovechable del Perú. Partiendo de los siguientes supuestos:

- Para filtrar las zonas con potencial eólico suficiente, ha calculado la producción en cada uno de los puntos simulados sobre tierra con un generador estándar de 2MW de potencia nominal y 80 m de diámetro de rotor a la altura de 80 m sobre el suelo.
- El factor de capacidad mide el rendimiento real de un aerogenerador en un emplazamiento, dado que éstos sólo generan su potencia nominal en un rango determinado de vientos; fuera de ese rango su potencia es inferior. Si se expresa matemáticamente, el factor de capacidad no es más que el cociente entre la potencia media producida y la potencia nominal del aerogenerador.
- Para el cálculo de la potencia total se ha considerado dentro del territorio disponible a cada uno de los nodos de simulación, de 1x1 Km, que presentan un factor de capacidad bruto igual o superior al 20%. El valor de corte para realizar la selección depende de la retribución de la energía en la zona en cuestión; en este caso, se ha seleccionado un valor bastante orientativo en países en que el sector está desarrollado.

- La última suposición en el cálculo es el número de aerogeneradores de las características supuestas que razonablemente pueden ubicarse en cada recuadro de 1Km<sup>2</sup> de la simulación. Según la experiencia del Consultor, un número orientativo serían 3 aerogeneradores. Aunque geoméricamente podrían caber 4, la realidad es que las instalaciones sobre el terreno siempre tienen otros condicionantes, (variaciones del viento dentro del punto de rejilla, dificultades orográficas, etc.), por lo que la cifra real se reduce. Por lo tanto, la hipótesis del Consultor es que en cada nodo se puede instalar 6 MW.

Con estos supuestos, se ha estimado la potencia eólica total del Perú en algo más de **77000 MW**, sin considerar zonas off-shore (en el mar), distribuida según lo indicado en la segunda columna de la Tabla 1.8

Para el presente Atlas Eólico, dado lo extenso del territorio, se empleó unos criterios limitados y muy claros para filtrar las ubicaciones en las que por razones evidentes no es posible una instalación eólica. Las zonas que se han eliminado del cálculo con este filtrado tenían uno o varios de los siguientes condicionantes:

- Altitud igual o superior a 3000 m.s.n.m.
- Pendiente igual o superior al 20%.
- Pertener a un centro poblado o al casco urbano de una ciudad.
- Estar ubicado en una zona protegida, arqueológica o de amortiguamiento.
- Existir en ese lugar ríos, quebradas o lagos.

Después de aplicar este filtrado, el cálculo ha arrojado un valor del potencial eólico aprovechable del Perú superior a los **22000 MW**, distribuido según la tercera columna de la Tabla 1.8

Tabla 1.8. Potencial eólico del Perú

<b>Departamento</b>	<b>Potencia total (MW)</b>	<b>Potencia Aprovechable (MW)</b>
Amazonas	1380	6
Ancash	8526	138
Apurímac	0	0
Arequipa	1992	1158
Ayacucho	114	0
Cajamarca	18360	3450
Callao	0	0
Cuzco	0	0
Huancavelica	0	0
Huánuco	54	0
Ica	18360	9144
Junín	48	0
La libertad	4596	282
Lambayeque	2880	564
Lima	1434	156
Loreto	0	0
Madre de Dios	0	0
Moquegua	144	0
Pasco	0	0
Piura	1728	7554
Puno	162	0
San Martín	504	0
Tacna	942	0
Tumbes	0	0
Ucayali	0	0
<b>TOTAL PERU</b>	<b>77394</b>	<b>22452</b>

Fuente: atlas eólico del Perú

Con respecto a estas cifras, que son considerables, cabe señalar las siguientes observaciones:

- Las restricciones reales suelen ser superiores a las que se hacen en un estudio teórico. Por ejemplo, aquí no se han tenido en cuenta ni las vías de comunicación ni la infraestructura eléctrica. El motivo es que tanto una como la otra infraestructura pueden ser construidas con posterioridad. Sin embargo, muchas veces el coste de estas construcciones es tan elevado que no se llevan nunca a cabo. En resumen, la cifra obtenida puede considerarse más un límite superior que un valor realista del potencial realizable.
- Una de las principales diferencias de un parque eólico respecto a las centrales tradicionales es que su eficiencia es, comparativamente, muy baja. Los parques eólicos reales tienen normalmente factores de capacidad que oscilan entre el 20 y el 30%. Por lo tanto, en términos de energía disponible para el Sistema, se debe aplicar este mismo factor de corrección a las cifras presentadas.

#### 1.2.4.2 Situación actual del aprovechamiento eólico en el Perú

En Sudamérica aunque se viene prestando más atención al desarrollo de la energía renovable la situación en torno al desarrollo de la energía eólica, es muy insuficiente todavía, pues, solo Brasil y Uruguay han instalado grandes parques eólicos en el año 2008.

En el Perú, se ha convocado la primera subasta de energías renovables en el marco del Decreto Legislativo 1002 para la promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables. Esta primera subasta ha dado como ganador a la empresa Energía Eólica, de capitales peruanos y españoles, que invertirá 280 millones de dólares aproximadamente para construir dos centrales de generación eléctrica en base a energía eólica, que entrarían a operar a mediados del 2012.

La última y reciente licitación ha demostrado que las energías renovables son viables. El Mapa Eólico del País, que estima un potencial eólico de 22,000 MW. Gracias a ello se aprobaron más de 60 concesiones para la ejecución de estudios relacionados al desarrollo de centrales eólicas, principalmente en la costa del país. ( Gadmió,2010)

Se construirán dos centrales eólicas; una en Cupisnique a 90 kilómetros al norte de Trujillo (La Libertad) que tendrá una potencia de 80 Mw, y demandaría una inversión de 210 millones de dólares y la otra central eólica Talara (Piura) que tendrá una potencia de 30 Mw y demandará una inversión de 70 millones de dólares. Se proyecta que en julio del 2012 ambas centrales deben empezar a generar energía eólica que será inyectada al sistema eléctrico nacional.

Sin embargo, esta asignación de energía aprovechable aún no guarda correspondencia con el potencial eólico de la costa peruana. Tomando en cuenta los datos del atlas eólico del MEM que consigna un mayor potencial en el ámbito departamental, por ejemplo Ica tiene una potencia aprovechable de 9.144 MW y Piura de 7.554.

Queda mucho camino aún por recorrer en la implementación de este nuevo sistema de generación de energía limpia, renovable que garantizará una mejor calidad de vida para las poblaciones de nuestro país y que debe formar parte de nuestra visión de cambio de la matriz energética en el Perú

#### 1.2.4.3 Perspectivas de la energía eólica

La energía eólica ya ha desarrollado un esfuerzo tecnológico importante, lo que ya la sitúa en valores de costos de producción muy en línea para ser una solución real a corto plazo. El costo del kilovatio producido por energía eólica se sitúa hoy en un 35% por encima del tradicional kilovatio hidroeléctrico, y las previsiones indican que ese esfuerzo continúa, y que en menos de tres años no será más de un 15% más caro que esta energía.

Las estrategias en desarrollo para estimular sistemas de energía sostenible están consolidándose, esencialmente en base a varios pilares fundamentales:

- Investigación, desarrollo y aplicación de fuerte innovación tecnológica.
- Aplicación de inversiones, por medio de ayudas y estímulos, en el campo de las energías renovables.
- Consideración de los beneficios ambientales, como necesidad de futuro de nuestra sociedad.
- Mejora y competitividad en el mercado de la energía.

En el Perú se consideró urgente realizar inversiones en hidroeléctricas y en la producción de gas. Esto último, sin embargo, ha sido declarado en alerta roja por el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin) debido al crecimiento de la demanda y a la reserva comprometida para la exportación de LNG.

Según el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES-Sinac), el Perú tiene solo el 8% en reservas de energía para generación de electricidad en lugar de 20%, que es lo aconsejable, razón por la cual se ha constituido en una fundada preocupación para dicho organismo. Una interrupción cualquiera, ya sea de una máquina del sistema o de una línea de transmisión, se traducirá en la restricción del servicio. Por ello, estamos obligados a mirar la energía eólica y solar térmica como la alternativa para nuestro abastecimiento futuro.

Durante el año 2008, la generación de electricidad fue de 29.558,71 GW, de los cuales 18.010,23 GW (60,93%) correspondieron a hidráulica y 11.548,48 GW (39,07%), a térmica. Los costos marginales de corto plazo en dicho año ascendieron a US\$ 250/MW. La no generación de 1 MWh/año le cuesta al Perú más de US\$ 4.000 de pérdida de PBI.

Esto confirma que la energía más cara es la que no hay. De continuar esta tendencia, los cortes de luz seguirán y se iniciará el racionamiento. La demanda de electricidad exige que se pongan, anualmente, en servicio alrededor de 400 MW nuevos en el sistema. La convocatoria a la subasta de 500 MW hidráulicos tendrá un período de maduración entre 4 a 7 años. La convocatoria de grupos diesel para generación eléctrica es una expresión desesperada de la emergencia.

La generación térmica debe aplicarse en el futuro solo para el ciclo combinado, pues la de ciclo simple es muy ineficiente. Lo sano es tener una matriz energética balanceada.

### **1.3 Formulación del problema de investigación**

Para la ejecución del presente estudio se planteó el siguiente problema:

PROBLEMA:

¿El potencial eólico en la Universidad Nacional del Santa alcanzará valores para la proyección de un bosque eólico de tipo Experimental?

### **1.4 Delimitación del estudio**

Las limitaciones del presente estudio están dadas por la existencia de pocos estudios respecto a las condiciones de aprovechamiento de las energías renovables debido al estado incipiente de las mismas en el país. La información existente se encuentra diseminada en distintas instituciones y entidades, tanto públicas como privadas, y en algunos casos, con acceso restringido. Adicionalmente, se tiene la limitación de la falta de expertos en el desarrollo de energía eólica, la mayoría de personas involucradas son conocedoras del tema general de desarrollo de las energías renovables en su conjunto, mas no son expertos en el tema.

La presente tesis tiene un enfoque cualitativo que se inicia con una fase exploratoria de recopilación de información y datos para tener un panorama más amplio del tema. Luego tiene un alcance descriptivo en el que el procesamiento y análisis de la información y datos recopilados que establecen el estado de la situación actual.

El alcance de la investigación se limita al análisis de la situación actual y a establecer una propuesta estratégica para el desarrollo de un parque eólico en la Universidad Nacional del santa.

## 1.5 Justificación e importancia de la investigación

En los últimos años se está produciendo un cambio de paradigma en el modelo energético, una renovación de la estructura energética, un resurgimiento de la tecnología del aprovechamiento de las fuentes renovables.

A nivel mundial se está optando por un modelo energético que, garantizando la cobertura de las necesidades energéticas, resulte menos agresivo con el medio ambiente. Se está apostando por una introducción progresiva de las fuentes de energía renovables ya que se ha desarrollado una conciencia generalizada sobre la necesidad de protección del medio ambiente, a causa de los innumerables problemas ambientales que se venían detectando de manera alarmante: emisiones ácidas, derivados de la utilización masiva e incontrolada del carbón y petróleo; aumento del anhídrido carbónico atmosférico, cuya consecuencia más alarmante es el consiguiente incremento del efecto invernadero; disminución de la capa de ozono y otra serie de problemas, cuyas consecuencias podrían alterar gravemente tanto el clima como la calidad de vida en la Tierra.

Para analizar la importancia que posee la energía eólica hay que tener en cuenta todos los eslabones de la cadena que son necesarios para fabricar o para desmontar los aerogeneradores que forman un parque eólico. La explotación de una turbina de 1 MW instalada en un parque eólico puede llegar a evitar 2000 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), si la electricidad producida ha sido emitida por centrales termoeléctricas.

Un aerogenerador de 2,5 MW, con una vida útil de unos 20 años en condiciones normales de explotación, puede producir hasta 3.000 MW por año, que alcanza para el consumo de alrededor de 1.000 a 3.000 hogares (según el consumo) por año. La vida útil de una turbina eólica se estima entre los 20 y los 25 años.

Se puede distinguir un “*pequeño*” aerogenerador (de pocas decenas de vatios hasta 10 KW) que sirve para el bombeo de agua o para dar electricidad a los sitios aislados, de los aerogeneradores más potentes (de 50 KW a 3 MW) conectados a las redes eléctricas que son los que tienen cada vez mayor desarrollo. Estos últimos se encuentran, generalmente, reagrupados en lo que se denomina parque eólico, granja eólica o central eólica.

La **energía eólica** debe ser considerada como una fuente de energía limpia, en evolución y complementaria a otros tipos de producción. En cuanto a las molestias que puede llegar a ocasionar, serán siempre mucho menores que las provocadas por otra clase de energías.

El Ministerio de Energía y Minas (MEM) ha otorgado a la empresa local Huayra Kallpa sendas concesiones para estudiar la posibilidad de instalar dos centrales eólicas, cada una con capacidad para generar 200 MW, que estarán ubicadas en los departamentos costeros de Ica y Arequipa, al sur del país. Se suman a otras ya concedidas en 2008 a esta misma compañía y a Perú Energías Renovables.

Por su parte, en esa misma fecha, Perú Energía Renovable, obtuvo el permiso del MEM para estudios de factibilidad de los proyectos Casma I (100 MW) y Chimbote I (100 MW), en la Región Ancash (al norte de la céntrica y costera Región Lima), y de Huacho I (100 MW), en la Región Lima. Las tres se suman a una cantidad similar de proyectos que la compañía tenía adjudicadas anteriormente: Marcona I (100 MW), La Pampa (100 MW), Talara (300 MW), Ilo 1 (200 MW) y Ascope (100 MW).

Con todos estos antecedentes creemos de mucha importancia el presente trabajo ya que la universidad nacional del santa juega un papel protagónico en el desarrollo de la energía en el Perú y por lo tanto debe estar un paso adelante en el estudio y desarrollo de tecnologías limpias para la generación de energía; esto tendrá una repercusión resaltante en el ámbito local y regional.

## 1.6 Objetivos de la investigación

### 1.6.1 Objetivo general

Evaluar el recurso eólico del campus de la UNS utilizando una metodología de investigación de campo y de gabinete, así como el uso de normativas de medición existentes, para cuantificar el potencial energético eólico existente en el lugar.

### 1.6.2 Objetivos específicos

- Evaluar el recurso eólico del campus de la UNS.
- Determinar la curva de duración de velocidad de viento, puntual y extrapolada a la zona de influencia.
- Comparar cuantitativamente los resultados experimentales, con el apoyo de herramientas informáticas, para la verificación del potencial eólico medido.
- Realizar el estudio del aerogenerador para estimar las horas de aprovechamiento y estimar la producción de electricidad.
- Evaluar económicamente la conveniencia de la instalación eólica de autogeneración

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1. Fundamentos teóricos de la investigación

##### 2.1.1 Recursos Eólicos

Todas las fuentes de energía renovables incluso la energía de los combustibles fósiles, provienen, en último término, del Sol (la energía eólica tiene una procedencia directa de la energía solar).

El conocimiento de los vientos generales no es suficiente para una correcta utilización y ubicación de máquinas accionadas por el viento, por cuanto existen factores que modifican el régimen general y que deben ser conocidos y tenidos en cuenta a la hora de realizar un proyecto de este tipo.

En general, los desplazamientos verticales del aire son pequeños en relación a los desplazamientos horizontales, por lo que se puede considerar que la dirección del desplazamiento del viento es sensiblemente horizontal y se determina y refiere mediante el ángulo que conforma respecto a una dirección fija, que es la del Norte geográfico.

Superficies de pendientes suaves y desnudas de obstáculos son los mejores lugares de potencial eólico, puesto que se van juntando las líneas de corriente del fluido y hacen que su velocidad aumente. Ver figura 2.1. (Fernández, 2006)

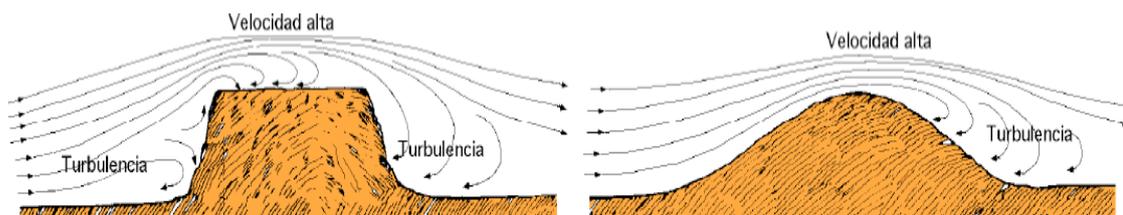


Figura 2.1. Influencia de obstáculos topográficos sobre la velocidad del viento

### 2.1.2 Velocidad del viento.-

El viento viene definido por dos parámetros esenciales que son, su dirección y su velocidad. La dirección del viento y su valoración a lo largo del tiempo conducen a la ejecución de la llamada *rosa de los vientos*. La velocidad media del viento varía entre 3 y 7 m/seg, según diversas situaciones meteorológicas; es elevada en las costas, más de 6 m/seg, así como en algunos valles más o menos estrechos. En otras regiones es, en general, de 3 a 4 m/seg, siendo bastante más elevada en las montañas, dependiendo de la altitud y de la topografía. La velocidad media del viento es más débil durante la noche, variando muy poco, aumenta a partir de la salida del Sol y alcanza un máximo entre las 12 y 16 horas solares. Para realizar la medida de las velocidades del viento se utilizan los anemómetros;

### 2.1.3 Ley exponencial de Hellmann.-

La velocidad del viento varía con la altura, siguiendo aproximadamente una ecuación de tipo estadístico, conocida como ley exponencial de Hellmann, de la

forma: 
$$V_h = V_{10} \left( \frac{h}{10} \right)^\alpha \quad \dots(2.1)$$

en la que  $v$  es la velocidad del viento a la altura  $h$ ,  $v_{10}$  es la velocidad del viento a 10 metros de altura y  $a$  es el exponente de Hellmann que varía con la rugosidad del terreno, y cuyos valores vienen indicados en la Tabla 2.1

Tabla 2.1.- Valores del exponente de Hellmann en función de la rugosidad del terreno

Lugares llanos con hielo o hierba	$\alpha = 0,08 - 0,12$
Lugares llanos (mar, costa)	$\alpha = 0,14$
Terrenos poco accidentados	$\alpha = 0,13 - 0,16$
Zonas rústicas	$\alpha = 0,2$
Terrenos accidentados o bosques	$\alpha = 0,2 - 0,26$
Terrenos muy accidentados y ciudades	$\alpha = 0,25 - 0,4$

Fuente: Fernández, Pedro

### 2.1.4 Energía útil del viento.

En una corriente de aire de densidad  $\rho$  y velocidad  $v$ , como se indica en la Fig 1. la potencia eólica disponible que atraviesa una superficie  $A$  y hace un recorrido  $L$  en el tiempo  $t$ , viene dada por la expresión:

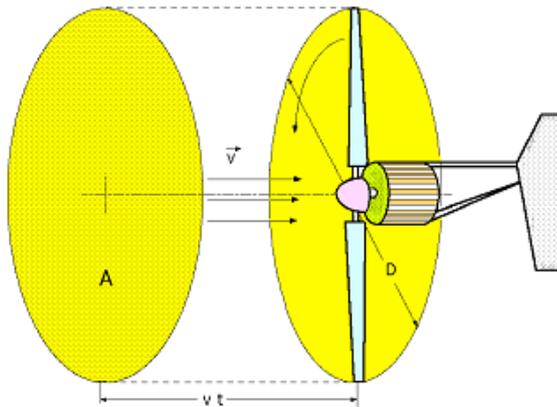


Fig 2.2.- Área A barrida por el rotor de diámetro D

$$N_{viento} = \frac{E_{cinetica}}{t} = \frac{mv^2}{t} = \frac{v^2}{2t} (vt A \rho) = \frac{\rho A v^3}{2} = k * v^3 \quad \dots(2.2)$$

El área barrida por la pala en un aerogenerador de eje horizontal y diámetro

D es  $A = \frac{\pi D^2}{4}$  y la potencia del viento:  $N_{viento} = \frac{\pi \rho D^2 v^3}{8}$

La velocidad del viento varía con el tiempo y, por lo tanto, su potencia  $N$  también variará; se puede considerar el valor medio de ambas, por ejemplo a lo largo de una año, obteniéndose:

$$\hat{N}_{viento\ anual} = \frac{1}{2} \rho A \hat{v}_{anual}^3 \dots\dots(2.3)$$

### 2.1.5 Representación estadística del viento.

Dadas las características tan dispersas y aleatorias de la energía eólica, es obvio que la única manera de estudiar si un emplazamiento es adecuado o no, es utilizando la estadística. Para ello se recurre a la representación de la velocidad del viento como una variable aleatoria con una cierta función de distribución. Normalmente se suele utilizar la distribución de Weibull; se trata de una distribución de dos parámetros: un parámetro de escala  $c$  y un parámetro factor de distribución de forma  $k$ .

### 2.1.6 Distribución de Weibull.-

El conocimiento de la ley de distribución de la velocidad del viento permite calcular su potencial energético y la energía anual que puede producir un aerogenerador. Esta ley para un lugar y una altura sobre el nivel del suelo, expresa el comportamiento de las velocidades para un año "medio" o "tipo", por lo que los valores para un año en particular pueden diferir de los calculados a partir de la misma.

En la mayoría de los casos de interés energético, la distribución de probabilidad de la velocidad del viento, sigue aproximadamente la función densidad  $p(v)$  de probabilidad de Weibull. Esta función  $p(v)$ , de dos parámetros  $(k,c)$ , se expresa según:

$$p(v) = \frac{k}{c} \left( \frac{v}{c} \right)^{k-1} e^{-\left( \frac{v}{c} \right)^k} \quad \dots(2.4)$$

donde:

$v$  : velocidad del viento (m/s).

$p(v)$  : función densidad de probabilidad de Weibull.

$C$  : factor de escala (m/s), valor próximo a la velocidad media anual. También se acostumbra a designar por  $A$ .

$K$ : factor de forma que caracteriza la asimetría o sesgo de la función  $p(v)$ .

En particular, si  $k = 2$ , la ley de Weibull coincide con la de Rayleigh, más sencilla al tratarse de una función de un solo parámetro. En casos de baja

turbulencia y pequeña variabilidad del viento, su distribución se ajusta bastante bien a una ley de Rayleigh. Muchos fabricantes de aerogeneradores indican la energía anual que puede obtenerse de la máquina, a partir de la velocidad media anual del viento a la altura del buje de la máquina, usando una distribución de Rayleigh, y muchos mapas de potencial eólico se elaboran admitiendo para la distribución de la velocidad del viento una ley de Rayleigh.

Conviene indicar que para cada emplazamiento eólico se debe determinar los parámetros de la distribución de velocidades a partir de mediciones de la velocidad del viento, siguiendo los procedimientos que más adelante se exponen. En la figura 4.3 se muestra un conjunto de gráficas de Weibull para distintos valores del parámetro  $k$ , en donde se puede observar la influencia de este parámetro en la forma de la curva

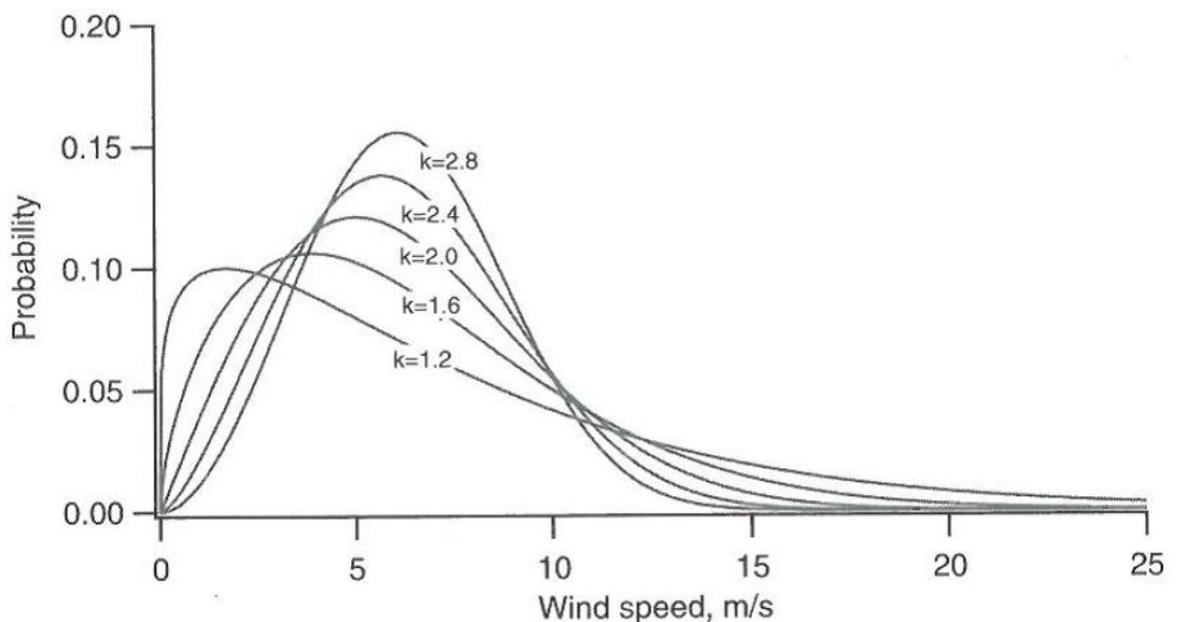


Figura 2.3. Densidad de probabilidad  $p(v)$  de la velocidad del viento según la ley de Weibull para distintos valor de  $k$ . para el caso  $c=1$

#### 2.1.6.1 Calculo de los parámetros de Weibull

El método de cálculo de los parámetros de Weibull ( $c$ ,  $k$ ) depende de los datos disponibles.

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad \dots(2.5)$$

En general si se conoce la velocidad del viento medio cada 10 minutos (medias diezminutales), o bien las medias semihorarias, los parámetros  $c$  y  $k$  pueden determinarse por un ajuste de mínimos cuadrados a través de la distribución acumulada  $F(v)$ :

Aplicando dos veces el logaritmo neperiano a la expresión anterior, se tiene

$$\ln(1 - F(v)) = -\left(\frac{v}{c}\right)^k \rightarrow \ln[-\ln(1 - F(v))] = k \ln v - k \ln c$$

Se procede al ajuste por mínimos cuadrados a la recta:  $y = kx + B$ , en donde:

$$y = \ln[-\ln(1 - F)] \quad ; \quad x = \ln v \quad ; \quad B = -k \ln c$$

Calculada la recta por mínimos cuadrados, su pendiente proporciona el valor de  $k$  y el valor de  $c$  y el valor de  $c$  se obtiene a partir de la expresión:

$$c = e^{-\left(\frac{B}{k}\right)} \quad \dots(2.6)$$

Este método permite determinar los parámetros de Weibull ( $k$ ,  $c$ ) y, por lo tanto, la función densidad de probabilidad  $p(v)$ . Su grado de aproximación es tanto mejor cuanto mayor número de datos se disponga para el año "medio" o "tipo".

$$k = \frac{\sum_{n=1}^n xy - \frac{\sum_{n=1}^n x \sum_{n=1}^n y}{n}}{\sum_{n=1}^n x^2 - \frac{\left(\sum_{n=1}^n x\right)^2}{n}} \quad c = e^{-b/k} = \exp \left\{ - \left( \frac{\sum_{n=1}^n y}{n} - \frac{k \sum_{n=1}^n x}{n} \right) \frac{\sum_{n=1}^n x^2 - \frac{\left(\sum_{n=1}^n x\right)^2}{n}}{\sum_{n=1}^n xy - \frac{\sum_{n=1}^n x \sum_{n=1}^n y}{n}} \right\} \quad \dots(2.7)$$

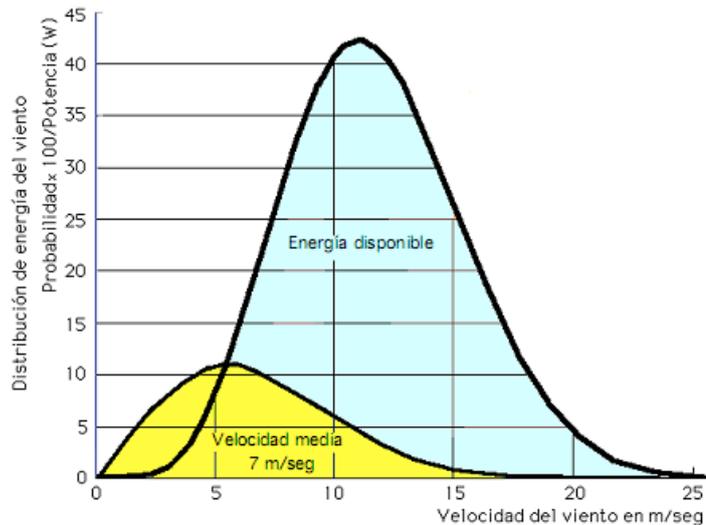


Fig 2.4.- Distribución de energía disponible para una velocidad media del viento

### 2.1.7 Caracterización energética del viento

El viento, debido a su origen, presenta una gran variabilidad, tanto en dirección como en intensidad, así como de un lugar a otro. Su caracterización desde el punto de vista energético es de gran importancia para determinar:

- Potencial disponible para permitir deducir la rentabilidad económica de la instalación.
- Emplazamiento más adecuado.
- Cargas sobre el sistema, que permita el dimensionado idóneo.
- Estrategia operativa de arranque, parada, regulación, orientación, etc.
- Vida útil del sistema por el efecto de la turbulencia, ráfagas, tormentas, etc.
- Comportamiento energético de la explotación eólica.

La valoración del emplazamiento es un interrogante de gran importancia que es necesario despejar antes de la toma de decisiones económicas. Ello requiere la realización de una campaña de medidas y una explotación de datos que ha de incluir:

- Distribución de frecuencias de velocidad y dirección del viento.
- Distribución de velocidades medias anuales.
- Variación del viento con la altura.
- Influencia de la topografía. Selección de emplazamientos.
- Estadística de ráfagas. Valores extremos.

### 2.1.8 Distribución de direcciones de viento

Las características direccionales del viento son de gran importancia, especialmente para la ubicación de máquinas eólicas en terrenos no uniformes, así como el emplazamiento de varias máquinas formando un conjunto (parques eólicos), e incluso para conocer la variabilidad direccional del régimen de vientos al que debe responder el sistema de orientación de la máquina.

La representación más habitual de distribución direccional del viento es la llamada rosa de vientos, que representa el porcentaje de tiempo en que el viento proviene de una determinada dirección o también puede representar la velocidad media en cada dirección y la distribución direccional de la energía. Ésta última proporcionará una idea de que direcciones son las más energéticas en el emplazamiento seleccionado, y, por tanto, las más atractivas desde el punto de vista de potencial eólico.

La gráfica consiste en utilizar barras o extensiones que van desde el centro de un círculo hacia un punto determinado que ilustra la dirección del viento, la longitud de cada extensión indicará el porcentaje de tiempo en el que el viento se dirigió hacia esa dirección. Estas direcciones están representadas por números los cuales varían de acuerdo a las manecillas del reloj iniciando con  $360^{\circ}$  en el norte, teniendo el este con  $90^{\circ}$ , el sur con  $180^{\circ}$  y el oeste con  $270^{\circ}$ . También existen otras direcciones como NE a la que pertenecen los  $45^{\circ}$  y así obtener los grados correspondientes a las demás direcciones del viento. La calma se expresa como  $0^{\circ}$ . Las distintas direcciones del viento referidas a la rosa de los vientos pueden presentarse en 4, 8, 12 y 16 sectores.

La dirección del viento está referida siempre al lugar desde donde procede la corriente de aire. Normalmente, también se refleja en la rosa de vientos la distribución de velocidades de viento para cada intervalo direccional.

### 2.1.9 Aerogenerador

Para entender la necesidad de todos los sistemas que componen un moderno aerogenerador es importante conocer el principio de funcionamiento de estos sistemas y cómo es el proceso de conversión de la energía que se produce en ellos. En este proceso de conversión de energía intervienen fundamentalmente: el rotor eólico que es elemento que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica, el tren de potencia que transmite la potencia mecánica desarrollada por la turbina al generador eléctrico mediante una caja de multiplicación de velocidad, y por último, el generador eléctrico que es el dispositivo encargado de transformar la energía mecánica en eléctrica.

Algunos sistemas disponen, entre el generador y la red eléctrica, de convertidores electrónicos cuya función es por una parte controlar la velocidad de giro del generador y por otra acondicionar la energía eléctrica generada

Los aerogeneradores actuales de eje horizontal están constituidos por una cimentación de hormigón armado adecuada al terreno y a las cargas del viento, sobre la cual se levanta una torre, típicamente de acero, de estructura de celosía, o bien de tipo tubular de acero u hormigón armado para mejorar su aspecto. Elevan el aerogenerador bastante, con el objeto de evitar las bajas velocidades de viento junto a la superficie del terreno. Un valor típico de la altura es  $H = 0,75D + 10\text{m}$  (D es el diámetro de palas).

Al extremo de la torre se fija una góndola<sup>1</sup> giratoria de acero o fibra de vidrio, a la cual se accede por el interior de la torre, o por el exterior si se trata de un modelo pequeño. Ésta encierra:

- El tren de potencia (eje del rotor (lento), caja multiplicadora (de engranaje planetarios normal), de régimen de salida hasta unas 1000 a 1500 r.p.m. y de elevado rendimiento típicamente un 90% a 95%, eje rápido y acoplamientos flexibles).
- La maquinaria eléctrica (generador eléctrico, con un rendimiento del orden del 90%, controles, accionamientos y máquinas auxiliares).

- Mecanismos auxiliares, generalmente hidráulicos (freno de emergencia del rotor, freno de orientación de la góndola, mecanismo de cambio de paso, aerofrenos, sistema de orientación).
- Sistema de control basado en un microprocesador y encargado de la supervisión de las variables operativas, registro de incidencias y control del funcionamiento (arranque, parada, enganche a la red, protección de embalamiento, orientación, paso de las palas). Suele incluir un módulo de comunicación con una base de control central.

En el exterior encontramos:

- El buje, que une las palas del rotor y que puede incorporar sus articulaciones, como cambio de paso, conicidad, etc.
- Las palas, cuyo eje de giro suele estar inclinado algunos grados sobre la horizontal, al objeto de alejar las palas de la torre
- El mecanismo aerodinámico de orientación. Suele ser de veleta de cola o molino de cola para pequeños tamaños.
- Estación meteorológica, con medida de la velocidad y dirección del viento, temperatura y presión atmosférica.

En la figura 2.5 se representan los diferentes sistemas que se incorporan en los modernos aerogeneradores.

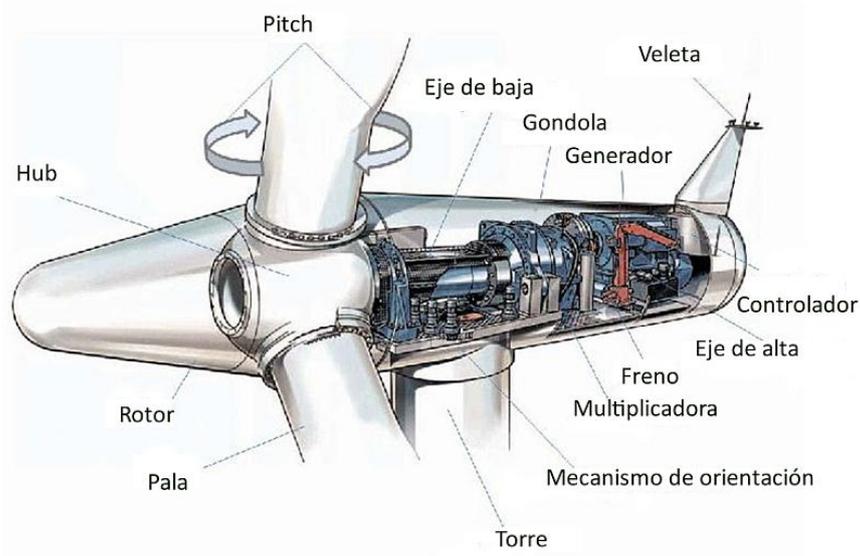


Figura 2.5. Componentes de un aerogenerador.

## **Rotor eólico**

El rotor eólico es el conjunto de componentes del aerogenerador que giran fuera de la góndola. Estos componentes son las palas, el buje y el mecanismo de cambio de paso de la pala.

El tipo de rotor más adecuado en turbinas eólicas diseñadas para producir energía eléctrica es el rotor tipo hélice cuyo principio de funcionamiento aerodinámico y estructural es similar al de las hélices utilizadas en la tecnología aeronáutica.

Los parámetros más importantes relacionados con el rotor eólico son, ver figura 2.6.

- Ángulo de conicidad: es el ángulo que forma el eje longitudinal de la pala con respecto al plano normal del eje de giro del rotor. Esta disposición de la pala hace que las fuerzas centrífugas originadas en la pala contrarresten los esfuerzos aerodinámicos de empuje.
- Distancia libre entre la punta de pala y la torre (*clearance*). Esta distancia depende del ángulo de conicidad, de la deformación elástica de la pala cuando esté cargada y del ángulo de inclinación del eje de rotación.
- Ángulo de inclinación. Este ángulo aumenta la distancia libre entre la punta de pala y la torre, pero debe ser necesariamente pequeño ya que reduce el área barrida por el rotor (proyección sobre un plano vertical de la superficie generada por las palas en su movimiento de giro).
- Ángulo de batimiento. Otro de los componentes del rotor es el buje, que es el elemento de unión de las palas con el sistema de rotación. Los bujes pueden ser rígidos o basculantes. En los primeros la pala está fija rígidamente al eje de giro, en cambio, en los segundos el buje está conectado al tren de potencia a través de un apoyo que les permite pivotar libremente.

Los aerogeneradores de mediana y gran potencia ( $> 500$  KW) utilizan mecanismos de cambio del ángulo de paso de pala (ángulo que forma la línea de sustentación nula con el plano de giro) para controlar el par de arranque y el par de frenado, y limitar la potencia. Estos mecanismos pueden ser hidráulicos o eléctricos e individuales o colectivos.

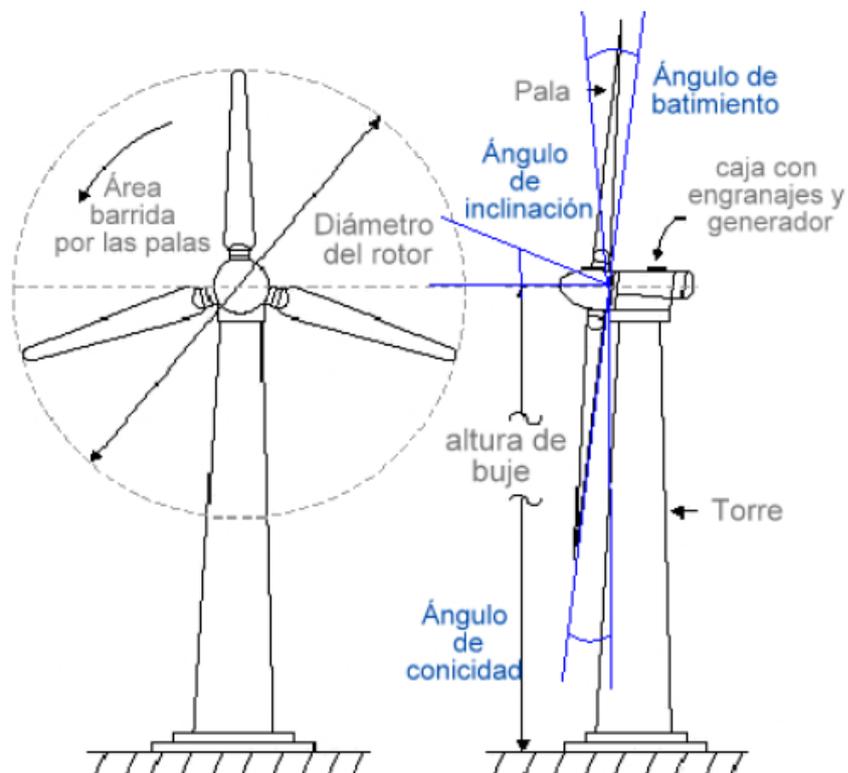


Figura 2.6 Configuración de las turbinas de eje horizontal

## 2.1.10 Evaluación económica de un proyecto eólico

### 2.1.101 Costos de la energía eólica

Del punto de vista del inversionista o promotor de una instalación aerogeneradora, los costos de la energía eólica se evalúan a partir de los costos privados, realizados por inversionista o promotor, que incluyen los costos de inversión, costos de explotación, gastos administrativos y otros.(Gonzales,2009)

Cuando la inversión se analiza desde un punto de vista público o social, será necesario tener en cuenta también otros valores a la hora de determinar su rentabilidad, como el ahorro energético que se produce, el valor de capacidad que aporta al sistema eléctrico, o los costos y beneficios medioambientales que supone la instalación.

### 2.1.10.2 Costos privados

Los costos privados de una instalación eólica incluyen los costos de inversión y los costos de explotación.

#### Costos de inversión

Los costos de inversión en una instalación aerogenerador incluyen:

- La unidad aerogenerador
- La instalación del sistema eléctrico
- El sistema de control y edificaciones auxiliares
- Los accesos
- La ingeniería del proyecto
- Gastos administrativos, licencias

De acuerdo a referencias de costos de inversión de actuales instalaciones de aerogeneradores, para nuestro caso, se estima que los costos de inversión se distribuyen de la siguiente forma:

Unidad aerogenerador	70 %
Cimentaciones	8 %
Sistema eléctrico	8 %
Enganche a la red	6 %
Gestión del proyecto	4 %
Terreno y accesos	4 %

#### *Costos de explotación*

Son los costos anuales que se han de realizar a lo largo de la vida de operación del sistema aerogenerador; comprenden:

- Costos de operación y mantenimiento
- Gastos de personal
- Costos financieros
- Costo de reparaciones y sustituciones de los equipos
- Alquiler de terrenos

#### 2.1.10.3 Costos Sociales

Cuando la inversión se analiza desde el punto de vista social habrá que valorarlo económicamente ello. La energía eólica presenta una serie de aspectos en cuanto a ahorro energético, aumento de la capacidad del sistema, creación de empleo, o ventajas medioambientales, que se pueden traducir en beneficios sociales. Algunos de estos beneficios se les conoce como beneficios externos o externalidades.

Las externalidades son fallos del mercado, producidos cuando una actividad económica produce costos o beneficios en otra actividad, o en la sociedad, sin que estos costos o beneficios se reflejen en el precio del producto. Esto hace que el mercado no funcione correctamente, y que por ello no se produzca una asignación eficiente de los recursos. Para conseguir una asignación óptima, estos beneficios deberían ser cuantificados en términos monetarios, e incorporados al precio que se paga por la energía eólica.

#### 2.1.10.4 Incentivos económicos a la energía eólica en España

La promoción de la energía eólica en España se realiza a través de dos vías: el plan de ahorro y eficiencia energética (PAEE) y el real decreto 2366/94. En el Real Decreto se establecen los términos de potencia y energía a facturar para la energía eólica, así como los coeficientes que la modifican. La facturación se calcula de acuerdo con lo siguiente:

Artículo 13. *Facturación de la energía cedida*. La facturación total por la venta de energía será la que resulte de la aplicación de la fórmula:

$$F_T = (PF \cdot T_p + E_c \cdot T_e \pm DH \pm ER) k_f - AI \quad \dots(2.8)$$

en la que:

FT = Facturación en pesetas.

PF = Potencia a facturar expresada en kW calculada de acuerdo con el artículo 15.

T<sub>p</sub> = Término de potencia de aplicación de acuerdo con el artículo 14.

E<sub>c</sub> = Energía cedida en kWh.

T. = Término de energía de aplicación de acuerdo con el artículo 14.

DH = Complemento por discriminación horaria.

ER = Complemento por energía reactiva.

K<sub>f</sub> = Coeficiente. .

AI = Abono por incumplimiento de potencia.

#### 2.1.10.5 Índices Económicos

La evaluación financiera del proyecto de aerogeneración se debe realizar mediante el uso de índices económicos tales como son:

- El valor actual neto (VAN)
- La tasa interna de rendimiento (TIR)
- El período de retorno (PR)
- El costo normalizado de la energía (CNE).

### **Valor actual neto ( VAN )**

El valor actual neto de una cantidad  $S$  a percibir al cabo de  $n$  años es la cantidad que, si se dispusiera de ella en el momento actual, generaría al cabo de  $n$  años la cantidad  $S$ . Se calcula con la expresión siguiente:

$$VAN = -I + \sum_{t=1}^n \frac{Fct}{(1+i)^t} \quad \dots(2.9)$$

donde:

- I: inversión realizada en el año 0 (comienzo del proyecto)
- $n$ : número de períodos en que se desarrolla el proyecto
- $i$ : tipo de interés
- Fct.: flujo de caja (ingresos menos gastos) del proyecto para cada período

El VAN se utiliza para aceptar o rechazar proyectos. El proyecto que presente un VAN negativo será rechazado y, cuando se trate de comparaciones de proyectos se tomara aquel de mayor VAN.

### **Tasa interna de retorno (TIR)**

Es el valor de la tasa de interés que hace nulo al valor actual neto. Se puede interpretar como el tipo de interés que el proyecto de inversión es capaz de proporcionar, y, por lo tanto, si es superior a la tasa de interés habitual del mercado por inversiones del mismo riesgo, la inversión será en general deseable. Entre dos proyectos alternativos, será más rentable aquel que presente una TIR superior.

### **Periodo de retorno (PR)**

Viene a ser el tiempo necesario para recuperar la inversión. Se calcula como el número de períodos necesarios para que la diferencia entre el flujo de caja acumulado y la inversión del proyecto sea nula. Cuanto menor sea el período de retorno, más interesante será un proyecto.

### Costo Normalizado de energía (CNE)

Es el costo resultante de actualizar tanto el flujo de costos de explotación y financieros del proyecto como el de flujo de energía producida. Se expresa como:

$$CNE = \frac{I + \sum_{t=1}^n \frac{OM + RC}{(1+i)^t} - \frac{SV}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{AE_t}{(1+i)^t}} \dots(2.10)$$

Donde:

- I : inversión
- OM : costos de operación y mantenimiento
- RC : costo de reparaciones
- SV : valor de desecho
- AE : producción de energía

La utilización del viento para generar energía eléctrica a gran escala, es un tópico a ser analizado detalladamente para cada esquema de negocio y cada zona específica. Se deben cumplir una variedad de factores para que esta fuente sea económicamente atractiva, o en su defecto sea necesario aplicar subvenciones para instalación de potencia eólica (MIEMDNE,2011)

#### 2.1.11 Avance en la normativa nacional

Para promover el uso de RER se promulgó en mayo de 2008 el Decreto Legislativo N° 1002, Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con Energías Renovables, que concede ventajas competitivas a los proyectos de generación con energías renovables para participar en el mercado de eléctrico.

Las principales políticas e incentivos que establecen esta ley y su reglamento (Decreto Supremo N° 050-2008-EM de octubre de 2008) son:

- Porcentaje objetivo de cubrir un porcentaje del consumo de electricidad nacional con la producción eléctrica de RER. El porcentaje objetivo durante el primer quinquenio es de 5% y sería actualizado cada cinco años por el MINEM. No se incluye en dicho porcentaje a la producción de centrales hidroeléctricas consideradas renovables.

- El uso de mecanismos de subastas de energía a proyectos de generación RER, que garantiza al inversionista adjudicatario un precio firme (ofertado en la subasta) por la energía que inyecta al sistema durante el periodo de contrato de suministro de hasta por 20 años.
- Prioridad en el despacho de carga y acceso a redes de transmisión y distribución.

Como resultado del conjunto de mecanismos promotores, el 18 de febrero de 2010 se inició la primera subasta de centrales de generación RER con el objetivo inicial de cubrir la demanda de 1 000 MW, con 500MW de potencia con generación hidroeléctrica y 1314 GW.h de energía (con factor de potencia de 0.3, es una potencia equivalente de 500 MW) entre tecnologías eólica, biomasa y solar; y promover la puesta en operación de estas centrales hasta antes de diciembre de 2012.

En la primera convocatoria de esta subasta se adjudicaron 412 MW entre centrales hidroeléctricas (17), eólicas (3), de biomasa (2) y solar (4), con participaciones de 39%, 34%, 7% y 19% respectivamente. Esta potencia cubre el 10% de la máxima demanda del SEIN.

Otro resultado, es que al 31 de octubre de 2010, se registran 11 concesiones temporales para la realización de estudios en proyectos eólicos que se ubican mayormente a lo largo de la zona costera del país.

Sin embargo a pesar de los posibles ingresos por el mercado de carbono, la rentabilidad de los proyectos aun es baja. Para que los proyectos sean rentables se necesitan tarifas superiores a las actuales. En el caso del bosque eólico de Malabrigo es necesario tener tarifas superiores a los 5,5 ctvos US\$/ kWh. Estas tarifas por ser más altas que las actuales existentes en el mercado eléctrico sería consideradas Premium. Sin embargo podrían ser fácilmente alcanzables en condiciones del mercado por la crisis energética y con otros incentivos.(Adinelsa,2004)

## 2.2. Marco Conceptual

### Parque Eólico

Con este nombre se conoce la instalación conjunta de un determinado número de generadores eólicos que generan electricidad conectados a las redes de suministro, resolviendo dos problemas como son la potencia relativamente baja de los aerogeneradores individuales y su producción intermitente.

Actualmente el concepto de parque eólico está asociado a un conjunto de aerogeneradores con potencias individuales del orden de 0,6 MW a 3 MW que suman en total una potencia mayor a los 10 MW. Los problemas tecnológicos que plantean las interconexiones entre los aerogeneradores requieren un estudio completo e individualizado de coordinación económica, meteorológica y social.

### Impacto ambiental de los aerogeneradores eólicos

Los principales efectos de los aerogeneradores sobre el medio ambiente son los siguientes:

- **Efectos meteorológicos sobre el microclima.-** Se estima que la reducción de la velocidad del viento por los aerogeneradores tiene, aproximadamente, las mismas consecuencias sobre el clima local que un grupo de árboles, no esperándose que se produzcan cambios significativos.
- **Efectos sobre la fauna y flora.-** El efecto más significativo está relacionado con el obstáculo que los rotores representan para el vuelo de las aves. Sin embargo, la experiencia obtenida hasta el momento ha demostrado que la probabilidad de choque es sumamente baja, debido a la rotación lenta de las máquinas y su bajo coeficiente de solidez.
- **Ruido.-** La intensidad del ruido generado por las máquinas eólicas ha sido investigado por la NASA mediante un prototipo de 100 kW. El estudio acústico abarcó un espectro de frecuencias comprendido en el rango de audición entre 15 y 20.000 Hz.

-

- El nivel acústico medido cerca de la máquina fue de 64 dB para las frecuencias comprendidas en el rango audible, con un nivel de ruido de fondo de 52 dB, observándose que el ruido de la máquina era inaudible por encima del ruido de fondo a distancias del orden de 200 metros. El ruido generado por una máquina de 2,5 MW a pie de torre es similar, en cuanto al tipo de intensidad, al de un automóvil circulando por una autopista, desapareciendo el ruido a una distancia relativamente pequeña de la máquina.
- **Interferencias con ondas de televisión y radiocomunicaciones.**- Las palas del aerogenerador pueden reflejar las ondas electromagnéticas, pero se estima poco probable que produzcan interferencias en las señales de radio y navegación salvo a distancias pequeñas de la máquina. La señal de televisión puede quedar afectada a distancias de unos centenares de metros e, incluso, hasta 1 ó 2 km. Esto puede ocurrir si el aerogenerador está emplazado a gran altura y si los receptores de televisión reciben normalmente una señal débil, debido a la distancia o a efectos de blindaje causados por el terreno sobre la estación de televisión.

### **Consumo de energía.**

Una de las ventajas de la energía eólica frente a otras nuevas fuentes de energía, es que el balance energético de los aerogeneradores es claramente positivo, recuperando el coste de la energía empleada en la producción de sus materiales constitutivos y en su construcción en un período del orden de 7 meses de funcionamiento.

### **Protección contra el rayo.**

Como los aerogeneradores sobresalen del entorno que les rodea, constituyen unos conductores privilegiados de transmisión de la electricidad estática de las nubes hacia el suelo. Para evitar que durante una tormenta se estropeen por un rayo, conviene conectar el pilón soporte del aerogenerador a una buena toma de tierra y colocar pararrayos en los cables eléctricos que unen el aerogenerador a la red de utilización.

### ***Ahorro energético***

El aprovechamiento de la energía eólica supone un ahorro en el consumo de recursos no renovables, como los combustibles fósiles o nucleares. Idealmente, un kWh de energía eólica ahorraría el consumo necesario para generar un kWh extra; no obstante, debido al carácter intermitente de la energía eólica y a la mayor eficiencia de las unidades convencionales, esta reducción puede ser menor.

### ***Valor de capacidad***

Una instalación eólica puede sustituir inversiones en nuevas plantas de generación convencional, y por lo tanto tendrán un valor de capacidad. Este valor dependerá de una serie de factores, aunque para una participación marginal, se puede decir que la potencia firme disponible es igual a la potencia media anual. Si esto se tuviera en cuenta, haría que el término de potencia con que se retribuye la energía eólica aumentara hasta situarse al nivel del de las energías convencionales al considerarse su potencia igual de valiosa que la de otras instalaciones.

### ***Externalidades socioeconómicas***

Existen una serie de efectos producidos por la energía eólica en el resto de la economía, y en la sociedad, que no aparecen recogidos en el precio de la electricidad. Los más evidentes son la creación de empleo, y el ahorro de divisas en el caso de que la tecnología sea de producción nacional.

### ***Externalidades ambientales***

La sustitución de las energías convencionales por la energía eólica produce una serie de beneficios en el medio ambiente que deberían ser tenidos en cuenta en el precio de la energía. Se han obtenido valores para la sustitución del carbón por la energía eólica que se cifran en 5US\$/MWh. Esta cantidad debería ser incluida, bien como una prima en el precio de la energía eólica, o como un impuesto en el precio del carbón, de tal forma que se incorporen los diferentes efectos medioambientales que uno y otro presentan, al ser comparados como alternativas de generación eléctrica.

# CAPITULO III

## MARCO METODOLOGICO

### 3.1 Hipótesis central de la investigación

El recurso eólico existente en el campus de la Universidad Nacional del Santa presenta condiciones favorables para la instalación de un futuro Bosque Eólico con capacidad para autogenerar electricidad.

### 3.2 Variables e indicadores de la investigación

#### Variable Independiente

Lo constituyen: velocidad del viento, dirección del viento, frecuencia de viento

#### Variable Dependiente

Lo constituyen: Curva de duración de velocidad de viento, potencia aprovechable, energía anual aprovechable, evaluación económica

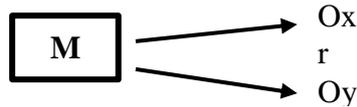
### 3.3 Métodos de la investigación

Teniendo en cuenta que en esta investigación se buscó en forma planificada estimar la potencia energética del viento (energía eólica), como variable dependiente a partir de las mediciones de la velocidad del viento (variable independiente) en el campus de la universidad nacional del santa, una zona costeña, se trató de una investigación experimental. Actuaron en esta investigación como variables intervinientes: la altura sobre el nivel del mar, la densidad del aire, la humedad relativa, la temperatura, la rugosidad del terreno, las horas del día y la variación del viento a lo largo de los períodos climáticos y de las horas del día, la altura sobre el nivel de la superficie en que se tomaron las medidas de velocidad y el tipo de anemómetro que fue utilizado. La investigación fue de tipo cuantitativa, dado que se midió la velocidad del viento en m/s y a partir de ella se estimó la potencia energética del mismo en  $\text{watts/m}^2$  y exploratoria, teniendo en cuenta que es una primera aproximación a la estimación de la energía eólica en esta zona de estudio.

### 3.4 Diseño o esquema de la investigación

El diseño de investigación es descriptivo correlacional, permite analizar y estudiar la relación de hechos y fenómenos de la realidad (variables), asimismo busca determinar el grado de relación entre las variables (Carrasco, 2006).

El diagrama del diseño correlacional es el siguiente:



Donde:

M: Representa la muestra a tomar.

Ox: Potencial eólico.

Oy: Generación de energía eléctrica.

r : Representa el grado de relación entre las variables.

### 3.5 Población y muestra

Se trata de una muestra no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con la investigación

Población: Recurso eólico en la costa norte del Perú.

Muestra: El recurso de energía eólica en el campus de la UNS, el método de muestreo para seleccionar la muestra es Aleatorio Simple.

### 3.6 Actividades del proceso de investigativo

#### 3.6.1 Instalación de módulos de medición eólica

El lugar de emplazamiento eólico se encuentra ubicado en la urbanización Bellamar Nuevo Chimbote provincia del santa departamento de Ancash, Perú.

Sus condiciones meteorológicas medias anuales son:

Temperatura mínima del ambiente:	20 °C
Temperatura máxima del ambiente:	32°C
Presión atmosférica:	1.014 atm
Humedad relativa:	85%
Latitud:	9° 12' 30" de latitud Sur
Longitud:	76° 55' 00" de longitud Oeste.
Altitud:	9 msnm
Tipo de terreno:	arenoso
Clima:	tropical

### 3.6.2 Protocolo de mediciones

Las mediciones se han realizado obedeciendo a las recomendaciones de la Organización Mundial de Meteorología, esto es, a una altura de 10 metros sobre el nivel del terreno.

Con la finalidad de alcanzar los objetivos planteados en la presente investigación, se describen las herramientas que se consideran relevantes para el análisis, diagnóstico y características técnicas para la instalación de un parque eólico

El parque eólico proyectado final tendrá una potencia eléctrica instalada total de 5Mw; previamente se instalara un prototipo para evaluaciones definitivas, el cual será un aerogenerador de 225kW de potencia nominal.

La mejor forma de determinar el recurso eólico a largo plazo en un parque eólico es mediante datos de viento registrados en el emplazamiento, por ello, se cuenta con datos tomados durante los meses de marzo , abril y entre julio y agosto del 2010 datos de viento registrados en el campus de la universidad Nacional del santa emplazamiento. También se contrastaron con datos tomados por otras instalaciones cercanas así como el atlas eólico Nacional.

Se ha analizado en el presente estudio junto con los resultados del análisis de viento, el modelo de aerogenerador para estimar la producción de energía a largo plazo del parque eólico propuesto.

El parque eólico de la UNS estará situado en un terreno llano sin vegetación con una elevación aproximada de 100 m sobre el nivel del mar. Dada la naturaleza del terreno y la lejanía de pendientes pronunciadas u otros accidentes geográficos que pudieran afectar al flujo de viento, se considera que es un terreno simple. Además, existen varios AA.HH y casas aisladas en las proximidades del emplazamiento.

### **3.7 Técnicas e instrumentos de la investigación**

#### **3.7.1. Técnicas**

- Revisión de bases de datos: Para saber los lugares con mayor potencial eólico en nuestro país recurrimos al Atlas Eólico del Perú.
- Aforo de parámetros y recursos: Adicional al Atlas Eólico del Perú, se tomara datos reales de velocidad del viento en un punto escogido adecuadamente, es decir se medirá la velocidad del viento a cierta altura durante un periodo determinado.

#### **3.7.2. Instrumentos**

- Fichas y formatos de recolección de datos
- Anemómetro digital: anemometer, modelo H4326
- Veleta para aestimar la dirección del

### **3.8 Procedimiento para la recolección de datos**

La toma de datos se realizó en el lugar de estudio, mediante un cronograma pre-establecido utilizando métodos y técnicas básicas para la medición de cada uno de los parámetros a analizar; teniendo en cuenta las recomendaciones internacionales.

Las medidas de viento y dirección se realizaran con un anemómetro y una veleta respectivamente, a una altura sobre el nivel del suelo de 10 metros para que el aire no esté perturbado por el terreno.

En el proceso de estimación del recurso eólico; por un lado se consideró datos de las condiciones meteorológicas cercanas al lugar registrados por las estaciones instaladas por DIGESA para la evaluación de la calidad del aire en junio del 2008, y por otro lado se ha procedido a la toma de mediciones del viento a la altura de 10 metros sobre el nivel del terreno, durante tres meses representativos (Febrero, abril, Junio) del 2010 tomados en el campus de la UNS, con intervalos de 10 minutos:

Velocidad de viento: intervalos de promedio cada 10 minutos

Dirección del viento: intervalos de promedio cada 10 minutos

### 3.9. Técnicas de procesamiento y análisis de los datos.

Los datos obtenidos mediante la aplicación de las técnicas e instrumentos antes indicados, fueron incorporados y procesados usando programa computarizado y con ellos se elaboraron gráficos, con precisiones porcentuales, ordenamientos de izquierda superior a derecha, se ajustaron los datos a la distribución de la función densidad de probabilidad de Weibull

Para el análisis se consideró los siguientes pasos

- Estimación de las variables humedad relativa, temperatura y densidad del aire para la estación del campus universitario.
- Consolidación de la base de datos de velocidad y dirección del viento por medio de la estación de monitoreo experimental.
- Análisis estadísticos de la velocidad y dirección del viento para la estación experimental en los siguientes aspectos: Construcción de rosa de los vientos e identificación de la dirección predominante.
- Estimación de la velocidad media del viento.
- Construcción de histograma de velocidades del viento.
- Cálculo de la frecuencia acumulada del viento
- Ajuste de los datos de densidad de potencia eólica apoyados en la distribución estadística de Weibull.
- Cálculo de la energía potencialmente aprovechable
- Estimación de potencial energético
- Análisis de posibles opciones de aerogeneradores aplicables para la zona de estudio de acuerdo a los objetivos planteados.
- Selección del aerogenerador que más se ajustaría a las condiciones buscadas.
- Obtención de la curva de potencia del aerogenerador más apropiado.
- Estimación de la potencia nominal del aerogenerador seleccionado por medio de los datos de la curva de potencia y de la probabilidad de Weibull.
- Cálculo de la cantidad energía eléctrica (kWh) que podría obtenerse potencialmente con el equipo seleccionado.

# CAPITULO IV

## RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Evaluación del recurso eólico en el campus de UNS

Luego de haber efectuado las mediciones según el procedimiento establecido se procedió a procesarlas. Los valores encontrados se encuentran tabulados en las tablas 4.1, 4.2, 4.3.

#### 4.1.1 Distribución direccional del viento

Luego del procesamiento de los datos medidos se obtiene la distribución direccional del viento y la distribución de la velocidad del viento, dadas en las siguientes tablas (tabla 4.4 y tabla 4.5).

#### 4.1.2 Construcción de rosas de viento

A partir de las tablas de distribución direccional del viento, se ha procedido a construir la rosa de vientos relativa a la dirección y a la magnitud de la velocidad media correspondiente. Estos diagramas permiten tener una visión cualitativa y cuantitativa del recurso eólico existente en el lugar.

Haciendo uso del programa informático Microsoft Excel se ha procesado la información de los datos velocidad y dirección del viento. En la tabla 4.6 se presenta la distribución direccional del viento así mismo se presenta en la figura 4.1 la rosa de viento de velocidades medias de similar modo en la figura 4.2 la rosa de viento de frecuencias

Tabla 4.1 velocidad del viento (m/s), estación de monitoreo UNS febrero 2010

HORA	DIAS																									V <sub>máx</sub> m/s	V <sub>prom</sub> m/s	V <sub>mín</sub> m/s
	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19	20	22	23	24	25						
08:00	1,4	0,8	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,3	0,5	2,1	0,9	0,7	0,3	0,4	0,3	1,7	1,5	0,5	0,5	1,4	0,6	0,3			
08:10	1,2	0,4	0,6	1,7	1,0	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	0,6	0,3	3,1	0,5	0,7	0,4	0,7	0,4	2,6	1,6	0,5	0,4	1,7	0,6	0,3			
08:20	1,5	0,3	0,3	2,6	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	0,5	0,5	0,3	2,6	0,4	1,4	0,4	0,9	0,4	3,8	1,9	0,9	0,6	2,6	0,7	0,3			
08:30	0,6	0,8	0,4	1,8	0,5	0,5	0,5	0,8	1,5	0,5	0,4	0,3	3,8	0,6	1,5	0,5	1,1	0,3	3,0	2,6	0,4	0,7	1,8	0,7	0,3			
08:40	0,8	1,1	0,5	0,5	1,2	0,5	0,8	0,5	1,9	0,7	0,7	0,3	3,2	0,8	1,7	0,6	0,9	0,4	3,8	3,3	0,7	0,4	1,9	0,8	0,3			
08:50	2,2	1,2	0,5	1,4	0,9	1,0	1,5	0,5	0,3	0,9	0,4	0,8	1,2	1,6	1,8	1,1	1,8	0,7	2,9	3,3	0,7	0,9	2,2	1,0	0,3			
09:00	1,5	1,9	0,5	2,3	1,3	1,5	2,5	1,2	1,4	2,4	1,4	0,9	2,7	1,0	1,6	0,6	2,2	0,5	4,6	2,4	0,8	1,0	2,5	1,6	0,5			
09:10	0,8	2,9	0,5	0,7	1,4	1,7	3,3	1,5	1,9	1,8	2,0	1,5	3,4	3,5	2,8	3,3	3,7	2,3	7,4	2,1	2,6	1,4	3,3	1,7	0,5			
09:20	1,4	1,5	0,5	1,9	0,5	2,2	2,6	1,8	1,2	3,2	3,3	1,1	4,3	3,2	3,0	2,8	1,7	2,1	4,4	2,6	3,3	1,9	3,3	1,8	0,5			
09:30	2,0	2,5	0,5	2,5	0,8	2,1	2,3	1,7	3,2	3,1	3,0	1,4	6,4	4,5	2,5	2,6	2,5	0,7	4,9	2,4	0,6	2,5	3,2	2,0	0,4			
09:40	2,6	2,0	0,7	2,5	0,7	0,5	2,8	1,5	3,7	3,3	3,8	1,3	3,9	2,4	1,9	3,9	3,1	1,4	2,0	2,8	1,8	1,9	3,8	2,1	0,5			
09:50	1,3	3,7	1,1	1,8	2,4	3,5	5,2	1,8	5,7	3,6	5,5	0,9	3,9	4,3	2,8	2,9	0,6	2,1	0,6	1,2	1,3	1,4	5,7	3,0	0,6			
10:00	2,0	1,1	1,1	2,5	3,2	0,7	3,9	2,2	3,5	3,8	3,8	0,6	3,6	2,9	2,3	4,3	1,9	3,4	4,2	2,4	2,8	3,5	3,9	2,4	0,6			
10:10	2,7	1,0	1,0	3,0	2,3	3,9	5,9	2,0	7,0	4,6	6,6	1,1	5,3	5,9	1,4	3,3	4,5	3,6	1,6	3,8	2,8	2,2	7,0	3,4	1,0			
10:20	2,1	2,0	1,5	3,1	3,8	3,4	3,5	4,1	4,2	6,5	5,6	0,5	6,4	6,7	2,8	3,2	1,0	3,8	1,3	1,4	2,1	2,4	6,5	3,4	0,5			
10:30	3,9	3,1	2,3	1,7	2,5	2,5	3,9	3,4	4,7	7,0	6,0	1,4	4,2	3,1	3,1	2,4	3,3	3,3	3,0	2,6	2,6	2,8	7,0	3,5	1,4			
10:40	1,9	4,6	2,0	2,7	2,4	0,8	5,5	3,2	3,5	5,6	4,4	0,6	3,8	7,2	3,1	3,9	3,6	3,5	3,4	3,0	2,3	1,4	5,6	3,1	0,6			
10:50	3,8	4,9	0,9	4,3	2,0	0,9	2,3	3,3	3,3	3,9	3,8	1,5	4,9	6,7	3,5	2,5	6,3	4,6	4,9	4,2	1,5	1,7	4,9	2,9	0,9			
11:00	2,7	2,6	2,5	4,9	1,1	1,2	4,7	3,7	4,2	7,2	6,1	1,4	7,7	5,1	3,5	2,2	3,2	1,2	7,8	4,2	3,2	4,9	7,2	3,5	1,1			
11:10	1,9	3,6	3,1	2,4	3,9	2,0	3,7	4,4	7,3	6,1	6,4	1,7	4,3	3,9	3,8	0,7	5,2	7,5	6,1	2,6	3,6	2,3	7,3	3,9	0,7			
11:20	1,7	3,1	2,9	2,8	2,6	6,0	4,4	6,6	3,5	5,6	6,3	2,1	7,7	2,8	3,6	5,5	5,3	7,4	9,5	5,6	5,3	4,8	6,6	4,0	1,7			
11:30	3,5	2,6	3,5	5,5	2,6	5,9	3,9	1,4	5,3	6,1	5,0	1,5	9,9	4,7	4,9	10,2	4,8	6,7	2,5	9,1	9,8	7,6	6,1	3,9	1,4			
11:40	4,5	5,8	4,1	5,8	3,0	7,0	7,9	7,8	3,5	6,9	4,5	1,7	9,2	8,4	2,5	8,5	6,8	2,0	8,2	8,4	7,5	10,4	7,9	6,2	1,7			
11:50	4,8	3,2	3,3	6,8	2,8	5,4	6,1	5,3	8,1	7,7	7,0	4,1	9,4	5,3	5,0	8,1	10,9	0,8	5,1	5,5	5,6	7,7	8,1	5,4	0,8			
12:00	4,0	4,8	3,8	4,6	3,1	3,2	5,4	7,6	4,2	5,4	6,7	3,1	10,1	8,5	2,8	11,2	7,6	7,4	8,4	9,2	4,8	10,3	7,6	4,7	2,8			
12:10	3,9	4,9	3,8	5,4	2,3	5,0	5,2	2,4	4,9	6,9	5,7	4,1	9,2	8,0	2,6	12,3	6,3	8,6	10,5	7,0	7,8	7,2	6,9	4,5	2,3			
12:20	3,3	5,3	3,4	4,5	3,9	3,4	4,9	7,0	5,4	7,1	6,8	4,2	10,2	5,1	3,7	8,1	13,8	11,5	9,8	7,3	8,1	6,9	7,1	4,9	3,3			
12:30	4,9	2,7	4,3	9,4	4,6	4,7	4,3	5,8	11,2	6,8	5,8	3,2	9,8	9,0	3,0	9,1	6,0	8,4	4,8	7,7	7,5	7,4	11,2	6,7	2,7			
12:40	4,1	4,3	4,6	6,1	5,8	2,8	4,3	8,6	5,6	9,2	9,1	4,9	9,1	3,4	5,2	11,2	10,8	11,4	5,7	4,9	4,9	8,1	9,2	5,8	2,8			
12:50	2,2	7,2	3,3	5,2	5,8	3,6	5,3	5,4	7,0	5,6	4,8	8,1	9,9	4,2	4,7	9,7	9,5	10,9	10,6	5,4	7,2	8,7	8,1	5,3	2,2			
01:00	6,8	5,6	4,9	5,4	5,7	4,9	5,4	6,3	8,4	7,0	6,0	8,3	10,9	8,8	5,9	8,7	8,2	8,4	9,6	4,1	4,9	9,7	8,4	6,2	4,1			
01:10	6,8	3,5	7,2	3,8	7,4	3,4	5,0	7,2	7,7	4,6	8,1	3,8	8,4	5,1	5,8	7,1	8,3	8,8	10,0	4,6	2,8	8,5	8,1	5,7	2,8			
01:20	6,3	6,1	6,9	7,9	2,8	4,5	9,1	9,1	9,3	7,6	8,5	6,9	9,9	4,3	3,9	7,3	7,0	8,7	6,4	6,7	3,5	9,6	9,3	7,1	2,8			
01:30	6,4	6,3	4,6	3,2	7,3	7,1	8,4	3,5	6,3	6,7	6,4	10,9	7,6	1,4	6,6	8,4	5,0	6,9	7,2	4,1	5,3	10,5	10,9	6,4	1,4			
01:40	5,8	3,5	7,0	4,4	7,5	5,6	9,4	6,4	5,9	2,2	5,6	7,5	8,9	9,3	3,8	6,4	8,4	7,1	7,6	4,5	10,4	10,1	9,4	5,9	2,2			
01:50	4,5	4,9	6,4	6,2	6,8	7,1	7,3	6,9	4,7	6,8	4,5	9,0	4,7	4,2	3,6	6,3	4,8	8,1	8,7	8,8	9,5	9,1	9,0	6,3	3,6			
02:00	6,0	4,3	7,7	4,4	7,4	1,9	8,2	6,0	6,2	3,6	4,8	4,5	7,6	5,3	5,2	7,7	5,0	8,5	10,7	6,6	6,9	13,2	8,2	5,4	1,9			
02:10	4,9	3,8	6,8	6,8	7,9	5,9	6,8	6,2	10,9	7,7	9,5	8,4	5,3	7,5	3,8	8,2	6,2	8,9	5,8	12,1	5,5	8,8	10,9	7,1	3,8			
02:20	3,8	3,9	8,7	7,2	8,4	6,9	5,5	8,1	5,4	9,2	8,8	10,1	7,3	8,2	3,0	4,8	8,4	9,1	7,2	9,1	7,9	8,5	10,1	7,2	3,0			
02:30	3,8	7,8	6,4	5,8	6,0	3,5	11,4	7,3	5,6	4,8	5,3	8,3	5,3	4,8	3,3	6,5	7,8	6,8	9,5	9,3	7,4	9,6	11,4	6,3	3,3			
02:40	3,1	5,5	8,0	6,5	6,9	1,9	8,6	3,8	9,4	6,0	2,6	5,2	4,5	6,6	5,5	8,0	5,2	10,2	7,6	8,9	6,8	7,4	9,4	5,6	1,9			
02:50	3,3	6,0	8,8	6,6	7,7	1,8	8,5	10,0	5,6	5,6	4,0	7,6	5,6	6,1	2,3	7,5	6,2	8,3	5,2	9,7	8,9	7,5	10,0	6,3	1,8			
03:00	4,9	4,0	4,7	7,4	5,8	4,4	5,0	7,5	6,8	7,0	4,7	6,1	4,2	5,3	3,4	6,9	4,2	7,4	7,6	7,5	11,0	8,6	7,5	5,7	3,4			
03:10	8,5	5,0	6,6	6,3	7,9	8,4	7,7	4,9	9,0	6,3	8,6	8,8	3,7	7,6	5,2	10,7	8,4	8,0	6,3	7,3	5,4	7,7	9,0	7,3	3,7			
03:20	3,8	5,7	9,3	7,9	3,7	1,7	4,7	9,2	7,8	5,8	7,2	5,0	2,7	9,1	3,3	9,7	8,5	9,7	7,6	4,2	9,6	8,0	9,3	6,0	1,7			
03:30	3,9	4,0	6,2	4,2	4,3	8,7	6,1	10,0	5,6	5,6	5,5	3,7	7,2	7,3	7,0	9,4	7,0	1,3	8,5	5,2	9,6	12,7	10,0	5,7	1,3			
03:40	2,3	5,9	7,1	4,7	9,4	7,4	6,1	4,5	5,3	3,3	3,2	5,5	5,3	2,8	5,7	9,3	5,6	9,2	11,3	2,6	4,3	9,6	9,4	5,4	2,3			
03:50	4,5	7,1	8,4	4,0	5,9	5,0	8,2	10,0	6,3	6,1	5,2	4,3	5,5	5,0	3,0	6,1	3,7	8,9	6,3	5,6	5,1	5,4	10,0	6,3	3,0			
04:00	3,4	6,0	6,7	3,7	7,2	6,5	6,8	5,8	6,9	5,2	6,1	5,4	6,1	2,0	3,3	5,8	5,9	4,2	7,7	4,8	4,7	8,8	7,2	6,8	2,0			
04:10	4,1	4,9	4,1	2,8	6,2	4,7	4,5	9,8	8,5	7,0	8,1	5,5	5,4	4,4	5,2	3,7	5,4	8,9	8,4	3,5	4,2	1,9	9,8	5,8	1,9			
04:20	4,4	4,3	5,7	3,7	5,2	5,3	5,0	8,4	4,0	4,4	5,1	5,0	4,1	5,0	7,9	9,7	4,3	7,7	7,2	2,5	1,4	11,8	8,4	5,0	1,4			
04:30	4,4	3,0	4,4	2,7	4,7	4,8	9,2	6,9	4,3	8,7	4,9	6,5	2,7	6,4	2,8	9,2	8,4	5,8	7,9	4,0	2,5	7,3	9,2	6,4	2,5			
04:40	4,7	5,6	3,8	4,6	5,0	5,2	4,4	7,2	8,0	4,7	8,0	5,7	6,9	5,8	3,2	8,3	7,7	6,9	6,3	3,2	1,9	6,8	8,0	5,6	1,9			
04:50	4,7	3,6	4,9	4,3	5,3	5,5	7,9	4,8	4,7	3,6	8,8	3,8	4,9	4,7	6,2	3,9	4,8	9,6	5,3	5,3	5,0	5,8	8,8	6,2	3,6			
05:00	3,8	4,8	6,9	2,8	4,3	3,2	6,6	5,5	7,1	2,4	8,0	2,9	5,4	5,9	7,4	1,3	5,9	11,8	8,4	4,0	9,1	9,1	8,0	4,8	1,3			
05:10	2,6	2,4	7,6	2,9	6,1	7,6	3,9	6,8	4,9	7,0	5,3	5,9	5,2	3,6	3,7	6,3	5,3	8,9										

Tabla 4.2 velocidad del viento (m/s), estación de monitoreo UNS abril 2010

HORA	DIAS																												V <sub>máx</sub>	V <sub>prom</sub>	V <sub>min</sub>
	1	2	3	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	19	20	21	22	23	24	26	27	28							
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s				
08:00	1,9	1,4	2,5	3,4	3,4	4,3	5,7	3,0	2,1	3,6	3,8	4,4	3,6	1,5	1,6	2,3	4,0	2,5	7,0	0,9	4,6	1,5	0,8	6,9	7,0	3,2	0,8				
08:10	3,8	1,7	3,8	2,0	2,8	4,8	5,3	2,8	0,8	3,8	1,1	4,8	3,9	1,5	2,1	1,3	3,7	2,5	4,1	1,0	3,6	2,4	2,8	4,1	5,3	2,9	0,8				
08:20	3,6	0,9	2,7	2,5	4,4	4,7	5,9	3,2	0,9	3,8	2,4	4,1	2,7	5,2	1,0	2,4	3,5	2,3	6,4	1,4	2,4	1,8	1,5	5,9	6,4	3,1	0,9				
08:30	2,4	1,3	3,4	3,1	2,6	4,3	5,5	2,7	2,5	4,0	2,0	4,2	3,5	2,1	1,3	2,0	4,4	2,4	4,6	0,7	4,7	2,7	1,9	4,4	5,5	3,0	0,7				
08:40	2,8	2,1	2,5	3,9	3,0	4,0	6,2	3,2	3,6	4,7	2,1	4,0	2,5	3,0	1,0	2,4	4,7	2,2	6,5	1,0	3,1	3,9	3,1	4,5	6,5	3,3	1,0				
08:50	1,6	1,7	2,9	3,4	4,9	2,9	3,2	3,1	5,6	7,2	2,5	4,7	3,0	4,5	1,2	2,8	4,6	3,8	4,6	3,4	4,9	3,3	4,4	4,0	7,2	3,7	1,2				
09:00	4,7	2,9	2,4	2,2	5,0	2,9	5,2	3,5	4,3	4,0	2,0	4,4	2,5	3,8	0,9	3,6	4,3	4,1	5,7	0,5	5,4	5,4	4,5	3,6	5,7	3,7	0,5				
09:10	3,3	2,6	3,2	4,4	5,0	2,2	3,8	3,6	4,2	3,1	2,2	2,8	3,3	4,1	1,3	5,1	2,6	3,4	7,6	0,7	3,6	5,7	4,9	6,5	7,6	3,7	0,7				
09:20	4,9	2,0	2,0	3,3	5,2	6,1	5,1	4,0	2,6	2,2	1,2	3,0	2,4	1,4	1,4	5,7	2,9	4,3	4,0	0,4	5,1	5,9	5,5	3,8	6,1	3,5	0,4				
09:30	3,2	2,9	4,4	3,1	2,9	4,2	5,4	3,4	3,4	4,2	0,2	6,3	4,5	5,4	0,7	3,8	6,3	3,9	5,2	2,4	5,3	6,6	3,7	6,4	6,6	4,1	0,2				
09:40	2,6	4,4	3,7	2,6	4,3	5,8	2,8	3,8	2,2	4,6	0,2	4,4	3,8	0,7	1,0	3,7	4,1	4,5	4,1	3,0	3,5	4,2	6,6	4,0	6,6	3,5	0,2				
09:50	6,8	1,8	3,5	3,5	6,7	3,1	5,6	3,9	1,5	5,0	0,9	3,6	3,6	2,3	0,7	3,9	3,4	4,7	4,4	0,3	5,3	5,9	5,1	4,0	6,8	3,7	0,3				
10:00	5,3	1,4	3,1	3,0	6,0	4,5	3,6	3,6	1,3	5,5	2,3	6,6	3,2	5,7	1,2	4,4	6,9	4,7	8,4	1,2	3,7	6,2	7,6	8,3	8,4	4,5	1,2				
10:10	7,3	1,7	2,5	1,7	4,0	6,8	4,5	3,7	2,4	3,7	0,8	5,5	2,6	6,7	2,0	4,8	5,4	7,1	9,6	2,0	4,7	5,5	8,3	10,0	10,0	4,7	0,8				
10:20	7,7	2,4	3,5	2,4	3,5	2,1	7,3	3,7	5,4	3,5	3,8	7,0	3,6	5,1	1,5	1,2	7,1	7,2	5,6	1,8	3,6	6,0	9,3	4,5	9,3	4,5	1,2				
10:30	6,9	2,3	5,2	2,3	5,6	3,8	6,2	4,6	3,7	3,1	2,5	5,7	5,3	5,0	0,4	5,5	8,0	6,6	7,7	1,7	5,1	4,5	9,5	7,7	9,5	5,0	0,4				
10:40	8,6	1,2	6,7	1,4	6,9	2,6	7,1	4,4	3,1	2,7	1,9	4,4	6,8	4,3	0,5	4,5	4,2	7,0	8,9	1,7	5,0	5,7	8,6	8,3	8,9	4,9	0,5				
10:50	6,6	2,9	5,8	5,3	8,2	1,6	6,8	5,2	6,0	1,8	1,6	7,5	5,9	4,7	0,3	7,0	5,9	10,6	5,3	0,9	5,6	6,6	7,3	5,3	10,6	5,2	0,3				
11:00	10,7	3,5	5,5	2,9	7,3	5,7	5,5	6,0	6,1	4,1	5,0	7,7	5,6	4,6	0,9	5,1	5,6	7,5	8,7	2,0	5,8	6,1	11,4	8,5	11,4	5,9	0,9				
11:10	10,2	3,1	7,3	6,7	6,4	3,8	7,0	6,3	6,9	5,0	3,4	7,1	7,4	4,7	0,5	3,5	5,4	7,7	9,5	3,2	5,1	5,7	5,9	9,8	10,2	5,9	0,5				
11:20	6,5	1,9	6,5	4,3	5,4	2,5	6,8	4,2	2,1	5,5	2,8	4,7	6,6	4,1	0,9	1,6	4,7	10,8	5,0	4,2	6,2	6,7	9,0	4,8	10,8	4,9	0,9				
11:30	12,0	3,7	7,5	1,7	8,3	6,4	8,7	6,7	6,9	5,9	4,0	5,3	7,6	7,8	0,9	3,6	5,3	9,2	7,2	3,3	5,0	4,6	7,7	6,9	12,0	6,1	0,9				
11:40	9,3	3,7	7,3	4,8	7,5	6,1	9,2	6,8	8,8	4,8	3,9	4,6	7,4	4,3	2,4	3,9	4,8	9,5	7,2	2,0	4,0	4,4	7,4	6,5	9,5	5,9	2,0				
11:50	9,9	3,3	6,9	3,4	9,1	4,5	6,7	5,8	4,5	5,1	3,9	4,9	7,0	4,6	1,2	4,8	4,9	8,8	4,8	4,8	5,3	7,1	10,3	4,5	10,3	5,7	1,2				
12:00	8,0	3,4	7,7	5,5	9,6	4,7	6,5	6,1	6,1	7,4	8,2	6,6	7,8	7,5	1,5	1,5	6,6	9,8	9,5	4,8	5,9	7,7	8,7	7,9	9,8	6,6	1,5				
12:10	8,3	3,5	8,5	4,6	7,6	9,5	10,5	6,9	6,7	6,7	4,5	8,3	8,6	4,9	5,0	7,2	8,4	9,1	5,7	3,7	4,7	8,6	9,1	4,8	10,5	6,9	3,5				
12:20	10,3	3,0	13,7	4,0	7,8	8,3	8,7	7,3	6,5	5,8	6,7	8,6	11,2	4,2	2,6	5,7	8,8	9,2	6,7	4,4	7,2	8,9	9,2	6,5	13,7	7,3	2,6				
12:30	8,7	2,7	14,1	5,7	7,2	9,2	10,5	7,9	7,9	7,6	5,0	9,1	13,8	9,4	2,9	6,5	9,5	11,0	6,5	7,7	4,2	7,3	11,0	6,3	14,1	8,0	2,7				
12:40	11,2	3,4	10,0	4,0	6,3	6,6	10,6	6,9	6,8	8,3	4,7	5,4	10,1	5,7	5,5	3,6	5,0	10,3	5,7	9,2	6,8	8,1	10,3	5,3	11,2	7,1	3,4				
12:50	7,8	3,7	7,3	4,4	6,6	6,9	9,5	5,8	7,5	7,7	8,0	7,6	7,4	8,4	4,7	8,0	7,4	10,1	4,1	6,1	8,5	8,7	10,1	4,0	10,1	7,1	3,7				
01:00	6,6	2,9	9,8	4,8	7,8	7,9	8,5	6,7	6,9	6,6	9,0	7,7	9,9	7,9	3,5	7,6	4,6	10,3	6,2	7,0	10,1	9,1	10,3	5,9	10,3	7,4	2,9				
01:10	6,2	5,2	11,3	4,0	6,3	7,5	8,2	6,5	6,8	9,1	7,0	7,6	11,4	4,1	4,8	6,9	3,6	11,4	5,2	5,7	9,1	8,9	11,3	5,0	11,4	7,2	3,6				
01:20	7,2	2,6	7,4	8,0	7,1	4,8	10,5	6,4	8,2	7,6	10,6	8,0	7,5	7,5	3,2	8,2	3,8	7,5	7,3	5,1	5,9	8,7	7,4	7,5	10,6	7,0	2,6				
01:30	9,0	4,0	7,5	4,4	9,9	3,1	9,3	7,6	8,1	10,0	10,1	7,8	7,6	7,5	3,0	5,8	7,7	7,6	8,3	10,5	10,1	9,9	7,5	8,0	10,5	7,7	3,0				
01:40	8,4	5,2	7,6	2,2	10,0	7,6	8,2	7,7	3,7	9,6	6,2	8,0	7,8	7,9	2,4	6,4	5,2	7,8	7,6	4,0	6,6	10,0	7,6	6,9	10,0	6,9	2,2				
01:50	7,7	5,3	7,6	6,4	7,5	4,1	9,2	7,7	5,8	10,0	7,7	7,6	7,7	4,7	2,0	11,7	7,8	7,8	7,7	4,2	6,2	10,3	7,6	7,7	11,7	7,2	2,0				
02:00	5,8	3,9	7,7	8,8	6,3	8,0	8,4	7,8	7,7	7,2	8,8	7,8	7,9	8,4	4,9	9,9	7,7	7,9	6,6	7,0	7,3	9,3	7,7	7,5	9,9	7,5	3,9				
02:10	5,8	3,6	4,3	5,7	9,7	5,4	8,6	4,4	5,5	6,4	7,8	6,5	4,4	8,5	7,2	11,2	6,6	4,5	6,9	6,5	7,3	8,9	6,7	5,9	11,2	6,6	3,6				
02:20	5,8	3,9	5,1	6,4	7,6	6,4	9,4	5,1	8,4	9,1	7,9	6,9	5,2	4,6	8,6	10,4	7,0	5,2	4,3	5,5	9,9	10,1	5,1	4,1	10,4	6,7	3,9				
02:30	7,1	5,6	5,3	7,3	10,0	7,7	5,5	5,4	10,1	4,4	8,9	5,6	5,4	8,5	4,8	7,6	5,3	5,5	5,6	3,9	9,2	9,9	5,3	5,7	10,1	6,6	3,9				
02:40	5,9	4,7	5,9	6,8	5,3	8,6	8,9	6,0	7,8	9,6	9,8	6,4	6,0	12,7	4,6	8,1	4,7	6,1	2,5	4,0	6,5	10,1	4,8	2,8	12,7	6,5	2,5				
02:50	6,2	4,3	7,2	5,5	6,1	12,1	4,9	7,3	7,1	8,0	7,3	6,3	7,3	7,2	4,4	6,8	5,9	7,4	6,9	6,1	8,5	8,9	4,6	6,6	12,1	6,8	4,3				
03:00	7,7	4,6	13,8	7,2	5,5	12,5	6,5	7,4	8,7	7,6	9,6	6,0	7,5	8,0	3,7	6,5	6,8	7,5	6,8	4,5	9,1	10,3	4,4	5,7	13,8	7,4	3,7				
03:10	6,9	4,1	7,5	8,1	4,1	8,7	8,2	7,6	3,2	5,9	10,0	4,6	7,6	9,1	10,5	8,9	5,0	7,6	3,5	4,6	5,9	9,3	4,7	2,8	10,5	6,6	2,8				
03:20	6,9	4,1	6,6	7,1	6,2	4,5	8,6	6,7	3,5	6,4	9,4	4,2	6,7	7,4	7,7	7,3	5,4	6,7	6,8	6,4	3,9	9,9	4,7	3,6	9,9	6,3	3,5				
03:30	7,1	3,6	4,2	5,7	3,9	5,6	6,9	4,2	7,5	4,4	10,5	6,8	4,3	8,8	5,7	9,8	7,2	7,0	6,2	3,3	6,0	8,3	5,2	5,1	10,5	6,1	3,3				
03:40	6,5	4,6	6,3	7,0	5,9	4,5	7,3	6,3	5,9	4,7	4,2	5,7	6,4	4,9	9,2	9,4	5,8	7,1	3,3	5,7	7,0	7,6	6,7	4,1	9,4	6,1	3,3				
03:50	5,8	4,3	5,3	5,7	6,6	5,0	8,5	5,4	8,1	6,8	8,1	6,7	5,5	5,9	6,1	9,9	6,4	7,7	6,3	4,8	8,0	8,9	6,2	5,9	9,9	6,6	4,3				
04:00	6,9	5,2	4,0	4,6	3,7	6,0	7,0	4,1	4,2	4,5	4,6	7,2	4,1	12,1	7,0	5,8	7,1	7,4	8,7	5,7	8,2	8,7	7,4	8,5	12,1	6,4	3,7				
04:10	6,3	2,1	4,1	4,7	6,3	5,0	5,8	4,2	4,6	4,7	5,9	8,5	4,2	5,2	5,7	5,9	8,4	4,9	4,7	5,4	6,8	7,9	8,2	4,8	8,5	5,6	2,1				
04:20	5,6	3,0	2,1	4,8	6,0	5,3	8,5	2,1	3,8	6,0	5,6	7,7	2,2	8,3	5,1	5,8	8,0	7,3	4,8	6,6	7,3	7,9	9,0	5,3	9,0	5,8					

Tabla 4.3 velocidad del viento (m/s), estación de monitoreo UNS junio 2010

HORA	D I A S																														V <sub>max</sub>	V <sub>Pro</sub>	V <sub>min</sub>
	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	19	21	22	23	24	25	26	28	29	30							
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s						
08:00	1.9	1.4	2.5	3.9	3.4	4.3	5.7	3.0	2.1	3.4	3.6	4.4	3.6	1.5	1.6	1.2	2.3	2.5	7.0	0.9	4.6	2.8	1.5	6.9	3.4	2.6	7.0	3.1	0.9				
08:10	3.8	1.7	3.8	0.4	2.0	4.8	5.3	2.8	0.8	2.0	3.8	4.8	3.9	1.5	2.1	1.1	1.3	2.5	4.1	1.0	3.6	2.5	2.4	4.1	2.0	1.5	5.3	2.7	0.4				
08:20	3.6	0.9	2.7	3.5	2.5	4.7	5.9	3.2	0.9	2.5	3.8	4.1	2.7	5.2	1.0	2.0	2.4	2.3	6.4	1.4	2.4	2.6	1.8	5.9	2.5	2.0	6.4	3.0	0.9				
08:30	2.4	1.3	3.4	1.4	3.1	4.3	5.5	2.7	2.5	3.1	4.0	4.2	3.5	2.1	1.3	3.9	2.0	2.4	4.6	0.7	4.7	3.9	2.7	4.4	3.1	3.2	5.5	3.1	0.7				
08:40	2.8	2.1	2.5	4.2	3.9	4.0	6.2	3.2	3.6	3.9	4.7	4.0	2.5	3.0	1.0	2.0	2.4	2.2	6.5	1.0	3.1	2.9	3.9	4.5	3.9	1.9	6.5	3.3	1.0				
08:50	1.6	1.7	2.9	4.6	3.4	2.9	3.2	3.1	5.6	3.4	7.2	4.7	3.0	4.5	1.2	4.2	2.8	3.8	4.6	3.4	4.9	5.1	3.3	4.0	3.4	4.2	7.2	3.7	1.2				
09:00	4.7	2.9	2.4	4.4	2.2	2.9	5.2	3.5	4.3	2.2	4.0	4.4	2.5	3.8	0.9	3.8	3.6	4.1	5.7	0.5	5.4	4.1	5.4	3.6	2.2	4.4	5.7	3.6	0.5				
09:10	3.3	2.6	3.2	4.2	4.4	2.2	3.8	3.6	4.2	4.4	3.1	2.8	3.3	4.1	1.3	2.8	5.1	3.4	7.6	0.7	3.6	5.3	5.7	6.5	4.4	4.0	7.6	3.8	0.7				
09:20	4.9	2.0	2.3	4.0	3.5	6.1	5.1	4.0	2.6	3.5	2.2	3.0	2.4	1.4	1.4	3.8	5.7	4.3	4.0	0.4	5.1	6.9	5.9	3.8	3.5	5.4	6.9	3.7	0.4				
09:30	3.2	2.9	4.4	3.3	3.1	4.2	5.4	3.4	3.4	3.1	4.2	6.3	4.5	5.4	0.7	3.6	3.8	3.9	5.2	2.4	5.3	5.6	6.6	6.4	3.1	2.9	6.6	4.1	0.7				
09:40	2.6	4.4	3.7	2.9	2.6	5.8	2.8	3.8	2.2	2.6	4.6	4.4	3.8	0.7	1.0	5.6	3.7	4.5	4.1	3.0	3.5	5.7	4.2	4.0	2.6	3.4	5.8	3.5	0.7				
09:50	6.8	1.8	3.5	1.6	3.5	3.1	5.6	3.9	1.5	3.5	5.0	3.6	3.6	2.3	0.7	4.9	3.9	4.7	4.4	0.3	5.3	6.7	5.9	4.0	3.5	5.8	6.8	3.8	0.3				
10:00	5.3	1.4	3.1	1.8	3.0	4.5	3.6	3.6	1.3	3.0	5.5	6.6	3.2	5.7	1.2	7.3	4.4	4.7	8.4	1.2	3.7	7.8	6.2	8.3	3.0	4.2	8.4	4.3	1.2				
10:10	7.3	1.7	2.5	2.2	1.7	6.8	4.5	3.7	2.4	1.7	3.7	5.5	2.6	6.7	2.0	3.8	4.8	7.1	9.6	2.0	4.7	5.0	5.5	10.0	1.7	6.2	10.0	4.4	1.7				
10:20	7.7	2.4	3.5	4.6	2.4	2.1	7.3	3.7	5.4	2.4	3.5	7.0	3.6	5.1	1.5	4.1	1.2	7.2	5.6	1.8	3.6	6.0	6.0	4.5	2.4	7.0	7.7	4.3	1.2				
10:30	6.9	2.3	5.2	6.0	2.3	3.8	6.2	4.6	3.7	2.3	3.1	5.7	5.3	5.0	0.4	2.5	5.5	6.6	7.7	1.7	5.1	6.4	4.5	7.7	2.3	6.7	7.7	4.6	0.4				
10:40	8.6	1.2	6.7	3.2	1.4	2.6	7.1	4.4	3.1	1.4	2.7	4.4	6.8	4.3	0.5	6.5	4.5	7.0	8.9	1.7	5.0	6.2	5.7	8.3	1.4	7.2	8.9	4.6	0.5				
10:50	6.6	2.9	5.8	5.8	5.3	1.6	6.8	5.2	6.0	5.3	1.8	7.5	5.9	4.7	0.3	4.2	7.0	10.6	5.3	0.9	5.6	7.8	6.6	5.3	5.3	3.5	10.6	5.1	0.3				
11:00	10.7	3.5	5.5	6.4	2.9	5.7	5.5	6.0	6.1	2.9	4.1	7.7	5.6	4.6	0.9	4.0	5.1	7.5	8.7	2.0	5.8	6.7	6.1	8.5	2.9	5.0	10.7	5.4	0.9				
11:10	10.2	3.1	7.3	7.0	6.7	3.8	7.0	6.3	6.9	6.7	5.0	7.1	7.4	4.7	0.5	4.5	3.5	7.7	9.5	3.2	5.1	7.7	5.7	9.8	6.7	7.4	10.2	6.2	0.5				
11:20	6.5	1.9	6.5	2.4	4.3	2.5	6.8	4.2	2.1	4.3	5.5	4.7	6.6	4.1	0.9	5.1	1.6	10.8	5.0	4.2	6.2	9.2	6.7	4.8	4.3	4.4	10.8	4.8	0.9				
11:30	12.0	3.7	7.5	6.9	1.7	6.4	8.7	6.7	6.9	1.7	5.9	5.3	7.6	7.8	0.9	4.0	3.6	9.2	7.2	3.3	5.0	5.8	4.6	6.9	1.7	6.8	12.0	5.7	0.9				
11:40	9.3	3.7	7.3	8.7	4.8	6.1	9.2	6.8	8.8	4.8	4.8	4.6	7.4	4.3	2.4	4.7	3.9	9.5	7.2	2.0	4.0	8.4	4.4	6.5	4.8	4.6	9.5	5.9	2.0				
11:50	9.9	3.3	6.9	3.7	3.4	4.5	6.7	5.8	4.5	3.4	5.1	4.9	7.0	4.6	1.2	5.6	4.8	8.8	4.8	4.8	5.3	9.1	7.1	4.5	3.4	5.9	9.9	5.3	1.2				
12:00	8.0	3.4	7.7	3.6	5.5	4.7	6.5	6.1	6.1	5.5	7.4	6.6	7.8	7.5	1.5	6.0	1.5	9.8	9.5	4.8	5.9	8.6	7.7	7.9	5.5	8.1	9.8	6.3	1.5				
12:10	8.3	3.5	8.5	6.5	4.6	9.5	10.5	6.9	6.7	4.6	6.7	8.3	8.6	4.9	5.0	8.3	7.2	9.1	5.7	3.7	4.7	6.7	8.6	4.8	4.6	6.5	10.5	6.7	3.5				
12:20	10.3	3.0	13.7	6.3	4.0	8.3	8.7	7.3	6.5	4.0	5.8	8.6	11.2	4.2	2.6	4.0	5.7	9.2	6.7	4.4	7.2	8.7	7.9	6.5	4.0	5.2	13.7	6.7	2.6				
12:30	8.7	2.7	14.1	7.7	5.7	9.2	10.5	7.9	7.9	5.7	7.6	9.1	13.8	9.4	2.9	8.2	6.5	7.7	4.2	9.9	7.3	6.3	5.7	6.6	14.1	7.8	2.7	11.0	7.8	2.7			
12:40	11.2	3.4	10.0	6.9	4.0	6.6	10.6	6.9	6.8	4.0	8.3	5.4	10.1	5.7	5.5	5.1	3.6	10.3	5.7	9.2	6.8	8.7	8.1	5.3	4.0	6.1	11.2	6.9	3.4				
12:50	7.8	3.7	7.3	3.6	4.4	6.9	9.5	5.8	7.5	4.4	7.7	7.6	7.4	8.4	4.7	4.7	8.0	10.1	4.1	6.1	8.5	4.4	8.7	4.0	4.4	7.8	10.1	6.4	3.6				
13:00	6.6	2.9	9.8	6.8	4.8	7.9	8.5	6.7	6.9	4.8	6.6	7.7	9.9	7.9	3.5	7.8	7.6	10.3	6.2	7.0	10.1	9.8	9.1	5.9	4.8	6.9	10.3	7.2	2.9				
13:10	6.2	5.2	11.3	5.0	4.0	7.5	8.2	6.5	6.8	4.0	9.1	7.6	11.4	4.1	4.8	7.9	6.9	11.4	5.2	5.7	9.1	7.5	8.9	5.0	4.0	6.5	11.4	6.9	4.0				
13:20	7.2	2.6	7.4	8.1	8.0	4.8	10.5	6.4	8.2	8.0	7.6	8.0	7.5	7.5	3.2	8.2	8.2	7.5	7.3	5.1	5.9	6.4	8.7	7.5	8.0	6.4	10.5	7.1	2.6				
13:30	9.0	4.0	7.5	8.1	4.4	3.1	9.3	7.6	8.1	4.4	10.0	7.8	7.6	7.5	3.0	5.5	5.8	7.6	8.3	10.5	10.1	6.4	9.9	8.0	4.4	9.7	10.5	7.2	3.0				
13:40	8.4	5.2	7.6	4.1	2.2	7.6	8.2	7.7	3.7	2.2	9.6	8.0	7.8	7.9	2.4	9.6	6.4	7.8	7.6	4.0	6.6	7.7	10.0	6.9	2.2	7.6	10.0	6.5	2.2				
13:50	7.7	5.3	7.6	5.7	6.4	4.1	9.2	7.7	5.8	6.4	10.0	7.6	7.7	4.7	2.0	8.7	11.7	7.8	7.7	4.2	6.2	9.1	10.3	7.7	6.4	6.9	11.7	7.1	2.0				
14:00	5.8	3.9	7.7	7.5	8.8	8.0	8.4	7.8	7.7	8.8	7.2	7.8	7.9	8.4	4.9	6.0	9.9	7.9	6.6	7.0	7.3	9.2	9.3	7.5	8.8	9.2	9.9	7.7	3.9				
14:10	5.8	3.6	4.3	5.9	5.7	5.4	8.6	4.4	5.5	5.7	6.4	6.5	4.4	8.5	7.2	8.5	11.2	4.5	6.9	6.5	7.3	10.7	8.9	5.9	5.7	3.9	11.2	6.5	3.6				
14:20	5.8	3.9	5.1	8.2	6.4	6.4	9.4	5.1	8.4	6.4	9.1	6.9	5.2	4.6	8.6	10.1	10.4	5.2	4.3	5.5	9.9	5.1	10.1	4.1	6.4	5.5	10.4	6.8	3.9				
14:30	7.1	5.6	5.3	9.6	7.3	7.7	5.5	5.4	10.1	7.3	4.4	5.6	5.4	8.5	4.8	9.6	7.6	5.5	5.6	3.9	9.2	8.4	9.9	5.7	7.3	9.4	10.1	7.0	3.9				
14:40	5.9	4.7	5.9	7.6	6.8	8.6	8.9	6.0	7.8	6.8	9.6	4.6	6.0	12.7	4.6	6.5	8.1	6.1	2.5	4.0	6.5	6.2	10.1	2.8	6.8	5.6	12.7	6.6	2.5				
14:50	6.2	4.3	7.2	7.5	5.5	12.1	4.9	7.3	7.1	5.5	8.0	6.3	7.3	7.2	4.4	9.1	6.8	7.4	6.9	6.1	8.5	8.2	8.9	6.6	5.5	10.1	12.1	7.1	4.3				
15:00	7.7	4.6	13.8	9.7	7.2	12.5	6.5	7.4	8.7	7.2	7.6	6.0	7.5	8.0	3.7	11.9	6.5	7.5	6.8	4.5	9.1	8.4	10.3	5.7	4.5	10.9	13.8	7.8	3.7				
15:10	6.9	4.1	7.5	3.6	8.1	8.7	8.2	7.6	3.2	8.1	5.9	4.6	7.6	9.1	10.5	8.0	8.9	7.6	3.5	4.6	5.9	5.2	9.3	2.8	4.6	9.3	10.5	6.7	2.8				
15:20	6.9	4.1	6.6	3.0	7.1	4.5	8.6	6.7	3.5	7.1	6.4	4.2	6.7	7.4	7.7	10.3	7.3	6.7	6.8	6.4	3.9	5.1	9.9	3.6	6.4	4.1	10.3	6.2	3.0				
15:30	7.1	3.6	4.2	7.7	5.7	5.6	6.9	4.2	7.5	5.7	4.4	6.8	4.3	8.8	5.7	9.6	9.8	7.0	6.2	3.3	6.0	5.7	8.3	5.1	5.8	8.6	9.8	6.3	3.3				
15:40	6.5	4.6	6.3	7.7	7.0	4.5	7.3	6.3	5.9	7.0	4.7	5.7	6.4	4.9	9.2	10.2	9.4	7.1	3.3	5.7	7.0	7.0	7.6	4.1	5.6	10.7	10.7	6.6	3.3				
15:50	5.8	4.3	5.3	8.3	5.7	5.0	8.5	5.4	8.1	5.7	6.8	6.7	5.5	5.9	6.1	6.7	9.9	7															

Tabla 4.4 Distribución direccional del viento

DIRECCION	VELOCIDAD. MEDIA	FRECUENCIA
N	5,3	2,6
NNE	3,6	0,3
NE	4,8	3,4
ENE	5	0,2
E	3,4	2,4
ESE	2,9	1,2
SE	5,4	14,6
SSE	5,1	5,8
S	5	29,9
SSO	4,6	8,3
SO	4,7	15,7
OSO	4,6	2,3
O	4,3	6,0
ONO	3,2	0,4
NO	5,1	6,4
NNO	5	0,3

Tabla 4.5 Distribución de velocidades de viento

Velocidad.	Frecuencia.	Curva de Duración
0-1	3.93	100.0
1-2	8.08	96.1
2-3	11.78	88.0
3-4	15.53	76.2
4-5	16.53	60.7
5-6	12.15	44.2
6-7	10.64	32.0
7-8	10.00	21.4
8-9	5.25	11.4
9-10	3.20	6.1
10-11	1.28	2.9
11-12	0.64	1.6
12.-13	0.50	1.0
13-14	0.32	0.5
14-15	0.18	0.2
15-16	0.0	0.0

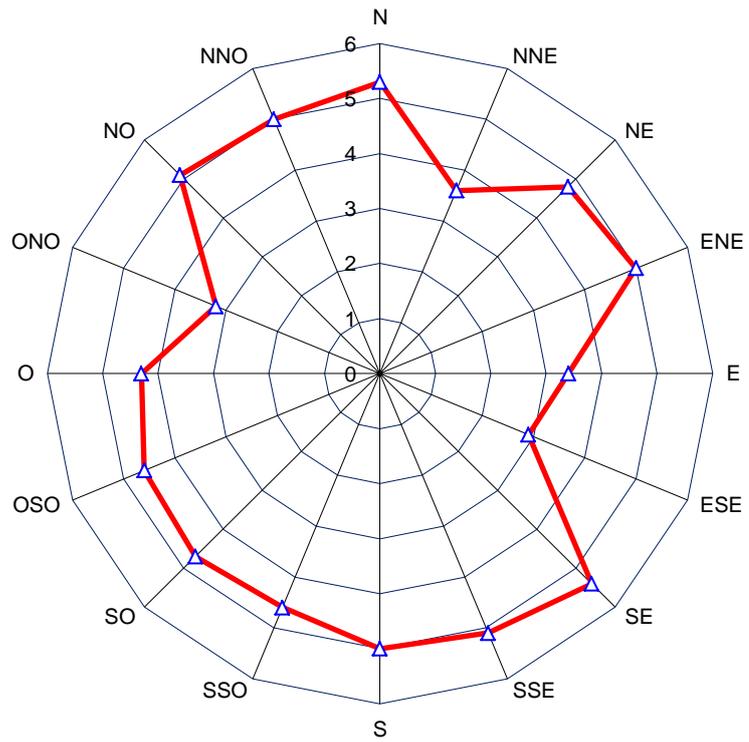


Figura 4.1 Rosa de viento – de velocidades medias (m/s)

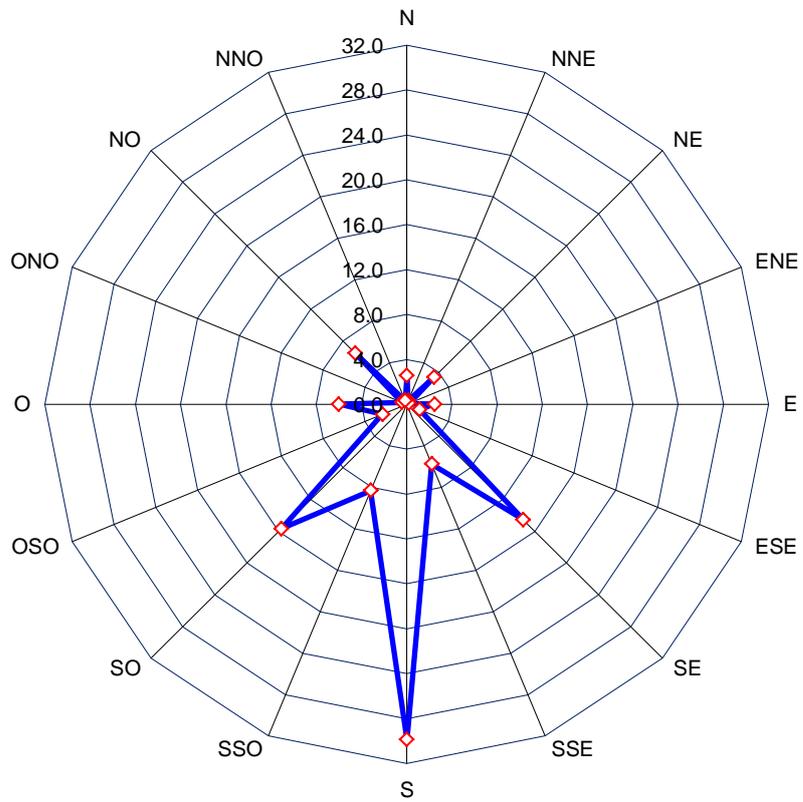


Figura 4.2 Rosa de viento –de frecuencias (%)

### 4.1.3 Tratamiento estadístico de los datos del viento

#### 4.1.3.1 Curvas de distribución de velocidades de viento.

De las evaluaciones de la distribución de velocidades de viento se determina la curva de duración de velocidades, tabla 4,6 y en seguida se elabora las figuras de distribución de frecuencias, y duración de velocidades, las mismas que se muestran en la figura 4.3 y figura 4.4

#### 4.1.3.2 Diagrama de duración de velocidades de viento

Este diagrama es el de mayor importancia dentro del proceso de cuantificación energética del viento en el lugar de influencia, el mismo que nos permitirá dimensionar el sistema de aerogeneración.

Dada las condiciones favorables del recurso eólico existente en la zona, provenientes de referencias históricas y por las evaluaciones eólicas realizadas durante tres meses, los resultados obtenidos se han extrapolado para un año medio. Por tanto, se obtiene que el diagrama de duración de velocidades de viento para un año medio en el emplazamiento, el mismo que se presenta en la figura 4.5

Tabla 4.6 Duración de velocidades de viento

Vel.		Frec.	C. Dur.
0-1	70	3,48	100,0
1-2	98	4,88	96,5
2-3	211	10,50	91,6
3-4	276	13,73	81,1
4-5	374	18,61	67,4
5-6	270	13,43	48,8
6-7	234	11,64	35,4
7-8	220	10,95	23,7
8-9	114	5,67	12,8
9-10	84	4,18	7,1
10-11	40	1,99	2,9
11-12	10	0,50	0,9
12.-13	5	0,25	0,4
13-14	3	0,15	0,2
14-15	1	0,05	0,0
15-16	0	0,00	0,0

2010

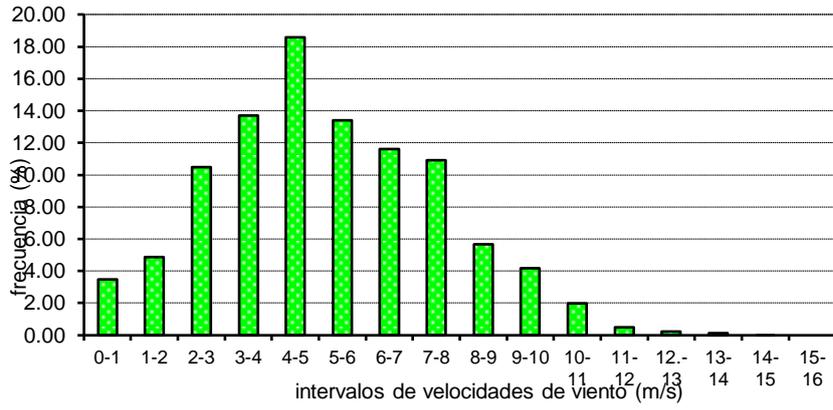


Figura4.3 Distribución de frecuencias de velocidades de viento

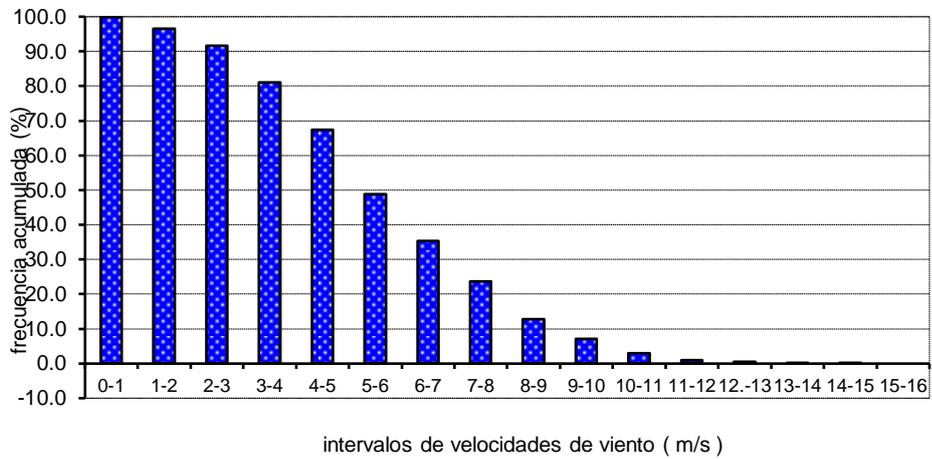


Figura4.4 Curva de duración de velocidades

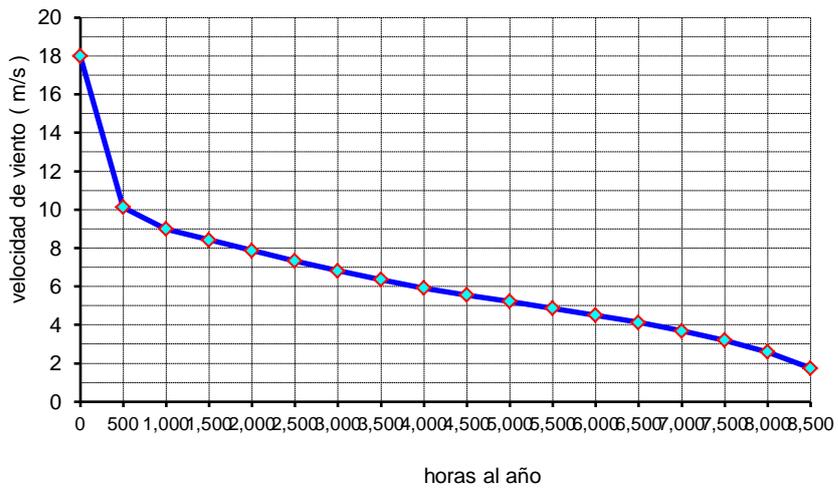


Figura4.5 Diagrama de duración de velocidades

#### 4.1.4 caracterización del potencial energético del viento

Los resultados de la caracterización del viento se presentan en las tablas 4.7 y 4.8 además se presentan los diagramas de Weibull característicos, representados en las figuras 4.7 y 4.8.

Tabla 4.7 velocidades Acumuladas de datos representativos

Vi (m/s)	ln Vi	F. de clase	F. relativa	F ( Vi ) (acumulativo)	Yi
	Xi	ni	fi=ni/n		
1.000	0.000	31	0.015	0.015	-4.164
2.000	0.693	77	0.038	0.054	-2.896
3.000	1.099	179	0.089	0.143	-1.870
4.000	1.386	297	0.148	0.291	-1.069
5.000	1.609	416	0.207	0.498	-0.374
6.000	1.792	282	0.140	0.638	0.015
7.000	1.946	244	0.121	0.759	0.353
8.000	2.079	225	0.112	0.871	0.717
9.000	2.197	116	0.058	0.929	0.972
10.000	2.303	84	0.042	0.971	1.261
11.000	2.398	40	0.020	0.991	1.539
12.000	2.485	10	0.005	0.996	1.688
13.000	2.565	5	0.002	0.998	1.828
14.000	2.639	3	0.001	1.000	2.029
15.000	2.708	1	0.000	1.000	3.604

Xi	Yi
0.000	-4.164
0.693	-2.896
1.099	-1.870
1.386	-1.069
1.609	-0.374
1.792	0.015
1.946	0.353
2.079	0.717
2.197	0.972
2.303	1.261
2.398	1.539
2.485	1.688
2.565	1.828
2.639	2.029

Xpromedio =	<b>1.510</b>
Ypromedio =	<b>-0.705</b>
n =	<b>14</b>

Para tener la idea de la posible potencia de un aerogenerador se necesita mínimo 6 meses de datos y para conocer la potencia real se necesita como mínimo DE UN AÑO de mediciones. El tratamiento estadístico de los datos se hace mensualmente y después de tener los datos de 12 meses se tiene la capacidad de determinar la velocidad promedio y frecuencia anual del viento.

Todos los datos obtenidos son requeridos por todas las empresas fabricantes de aerogeneradores de la Comunidad Europea para el diseño y la construcción del generador y rotor respectivo para una zona específica. (Pazmiño,2007)

Calculo de los parámetros a y b

a	b
2,290	-4,164
2,681	-4,754
2,829	-4,978
2,930	-5,131
3,351	-5,768
2,563	-4,576
2,431	-4,378
2,501	-4,483
2,442	-4,395
2,482	-4,455
2,529	-4,526
2,456	-4,415
2,402	-4,334
2,423	-4,365

$$a = \frac{\sum_{n=1}^n xy - \frac{\sum_{n=1}^n x \sum_{n=1}^n y}{n}}{\sum_{n=1}^n x^2 - \frac{\left(\sum_{n=1}^n x\right)^2}{n}}$$

$$b = y - ax = \frac{\sum_{n=1}^n y}{n} - \frac{a \sum_{n=1}^n x}{n}$$

Promedios	
a	b
2,594	-4,623

Conocidos a y b entonces tenemos que los parámetros de weibull son :

K=a

K=2.59

c= 5.94

V<sub>p</sub>= 5.3

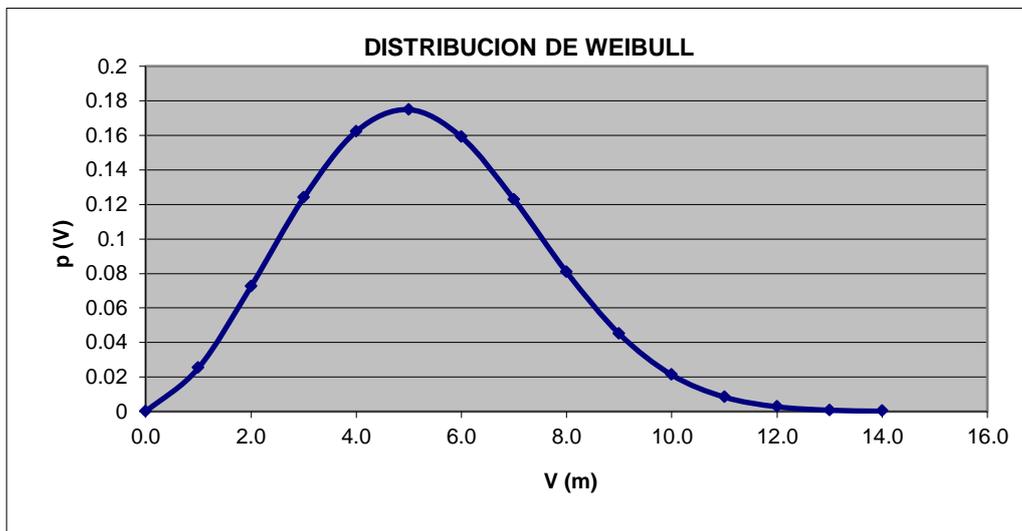


Figura4.6 Distribución de energía disponible para velocidad media del viento

Tabla 4.8 Hora de viento vs potencia

V ( m/s )	Horas Viento Mes	P (W/m2)	Horas viento Año	P (W/m2)
0	0,00	0,0	0,0	0,0
1	18,42	0,6	6072,0	0,6
2	52,90	5,2	9623,8	5,2
3	90,39	17,5	12143,9	17,5
4	118,44	41,4	14098,7	41,4
5	127,68	80,8	15695,8	80,8
6	116,05	139,6	17046,2	139,6
7	89,67	221,7	18215,9	221,7
8	58,94	331,0	19247,7	331,0
9	32,86	471,3	20170,6	471,3
10	15,47	646,5	21005,6	646,5
11	6,11	860,4	21767,8	860,4
12	2,01	1117,1	22469,0	1117,1
13	0,55	1420,3	23118,1	1420,3
14	0,12	1773,9	0,0	1773,9

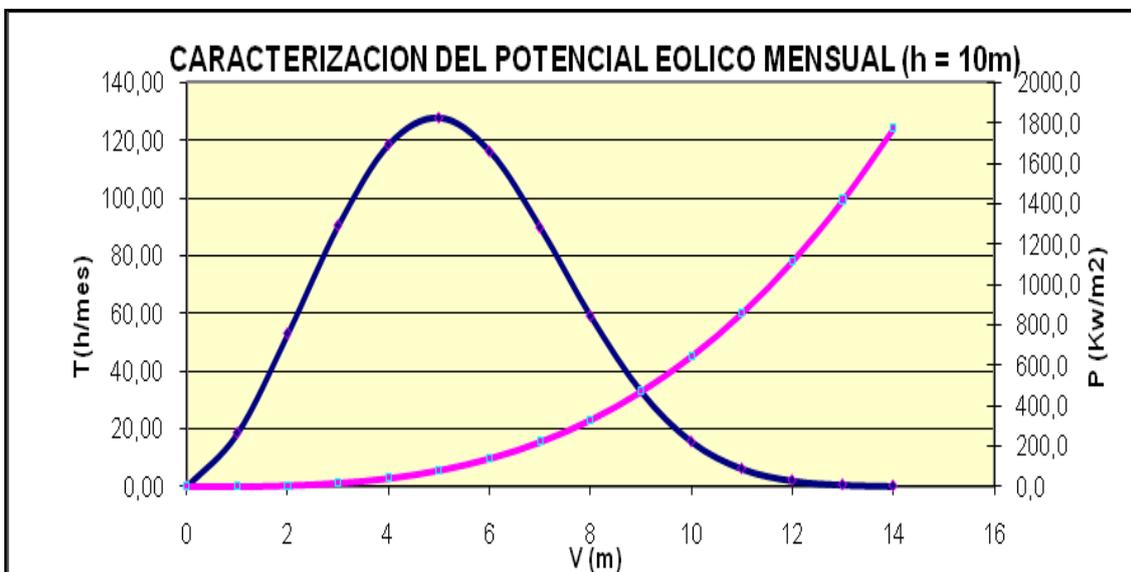


Figura 4.7 caracterización del potencial eólico

El grafico nos demuestra las horas de viento disponible mensual en función de la velocidad media del viento

## 4.2 Cálculo del sistema aerogenerador

### 4.2.1 Estimación de la velocidad de viento a la altura del eje del rotor

Para estimar la velocidad de viento a la altura del eje del rotor del aerogenerador, se procede a la extrapolación de los valores medios de las velocidades de viento obtenidas para una altura de 10 metros sobre el nivel del terreno. Usando la ley exponencial para velocidades.

$$V_z = V_a \left( \frac{Z}{Z_a} \right)^\alpha \quad \dots(4.1)$$

Siendo :

$v(z)$ : velocidad del viento a una altura  $z$

$v_a$  : velocidad medida a la altura  $z_a$ . Los valores medios de velocidades de viento fueron medidos a una altura de 10 metros sobre el nivel del terreno.

$\alpha$  : coeficiente que depende de la rugosidad superficial media y de la estabilidad atmosférica media en el lugar considerado. Para nuestro caso, según las características de rugosidad del terreno, la existencia de áreas arbóreas, este valor se asume en 0,27. energía eólica (Fernández, 2001)

Por tanto, la variación de velocidades de viento para tres posibles alturas del eje del rotor (15, 20 y 30 m.), se estiman y presentan en la tabla 4.9

Tabla 4.9 variación de velocidades de viento

VELOCIDADES MEDIAS DE VIENTO A LA ALTURA DEL EJE DEL ROTOR				
RUMBO	FRECUENCIA %	VELOCIDAD MEDIA A 15m m/s	VELOCIDAD MEDIA A 20m m/s	VELOCIDAD MEDIA A 30m m/s
N	2,6	5,9	6,4	7,1
NNE	0,3	4,0	4,3	4,8
NE	3,4	5,4	5,8	6,5
ENE	0,2	5,6	6,0	6,7
E	2,4	3,8	4,1	4,6
ESE	1,2	3,2	3,5	3,9
SE	14,6	6,0	6,5	7,3
SSE	5,8	5,7	6,1	6,9
S	29,9	5,6	6,0	6,7
SSO	8,3	5,1	5,5	6,2
SO	15,7	5,2	5,7	6,3
OSO	2,3	5,1	5,5	6,2
O	6,0	4,8	5,2	5,8
ONO	0,4	3,6	3,9	4,3
NO	6,4	5,7	6,1	6,9
NNO	0,3	5,6	6,0	6,7

#### 4.2.2 Orientación del rotor

Tanto de las tablas de distribución direccional del viento y la de velocidades medias a la altura de rotor, como de la comparación de las rosas de viento, se concluye que la orientación adecuada para la instalación del sistema de aerogeneración será en la dirección Sur-Este.

En la dirección Sur-Este de viento, las velocidades extrapoladas a la altura del eje del rotor del aerogenerador, propuesta en principio entre 15 y 30 metros, la velocidad del viento se estima entre 6 y 7 m/s. Esta situación es altamente favorable para un aprovechamiento eficiente y rentable en generación de electricidad conectada a la red.

#### 4.2.3 Estimación del número de horas equivalentes a condiciones de aprovechamiento

Una primera aproximación en la estimación del número de horas de viento aprovechable se determina a partir del diagrama de duración de velocidades de viento.

Así se obtiene que para velocidades de 5 a 6 m/s, valores medidos a la altura de 10 metros sobre el nivel del terreno, correspondientes a las direcciones de mayor frecuencia, el número de horas de viento aprovechable se estima alrededor de las 3500 a 5000 horas anuales, fig. 4.5

#### 4.2.4 Elección de la potencia a generar

Para realizar la elección de la potencia a generar, como también la marca y modelo del sistema de aerogeneración, se deberá tener en cuenta fundamentalmente las siguientes consideraciones:

- Los niveles de potencia eólica disponible del lugar y la potencia que se proyectara generar.
- La existencia de la tecnología de aerogeneración en el mercado competitivo, con niveles de potencia comercialmente estandarizados
- Disponibilidad en el mercado, de elementos componentes y repuestos del sistema de aerogeneración, para las marcas y modelos correspondientes
- Mejores condiciones de funcionamiento: alto rendimiento, vida útil, márgenes de operación
- Menor costo, referido a la potencia y a la energía generada por el sistema de aerogeneración
- Fomento a la aerogeneración: subvenciones, financiamiento, etc.

Dada la variedad de empresas dedicadas al comercio y a la fabricación de aerogeneradores, y además por la experiencia existente de plantas instaladas, las alternativas para determinar la capacidad de aerogeneración, quedan restringidas a las características propias del potencial energético eólico del lugar.

Como en nuestro caso se demuestra que existe potencial eólico en el lugar de estudio, en una primera etapa se pretende generar energía eléctrica para autogeneración, con unidades aerogeneradores correspondientes a potencias medias, esto es entre 225 kW y 750kW, que son valores mínimos de aerogeneradores que se encuentran actualmente en el mercado.

Por tanto, de las características de los diversos modelos y marcas de aerogeneradores obtenidas previamente, siguiendo las consideraciones para la elección del nivel de potencia, se opta por aquel sistema que, en principio, se ajuste mejor según el nivel de potencia en relación con los niveles de velocidad de viento a que están diseñados para su funcionamiento. En este caso resulta adecuada la unidad de aerogeneración de marca VESTAS de potencia nominal 225 kW.

La curva de potencia de este modelo se muestra a continuación (Figura 4.10).

Tabla. 4.10 Curva de potencia (densidad del aire 1225 kg/m<sup>3</sup>)

Velocidad de viento m/s	Potencia kW
3,5	1,5
4,0	4,5
5,0	16,0
6,0	31,8
7,0	52,5
8,0	82,4
9,0	114,5
10,0	148,3
11,0	181,0
12,0	205,0
13,0	217,6
14,0	225,0
15,0 - 25,0	225,0

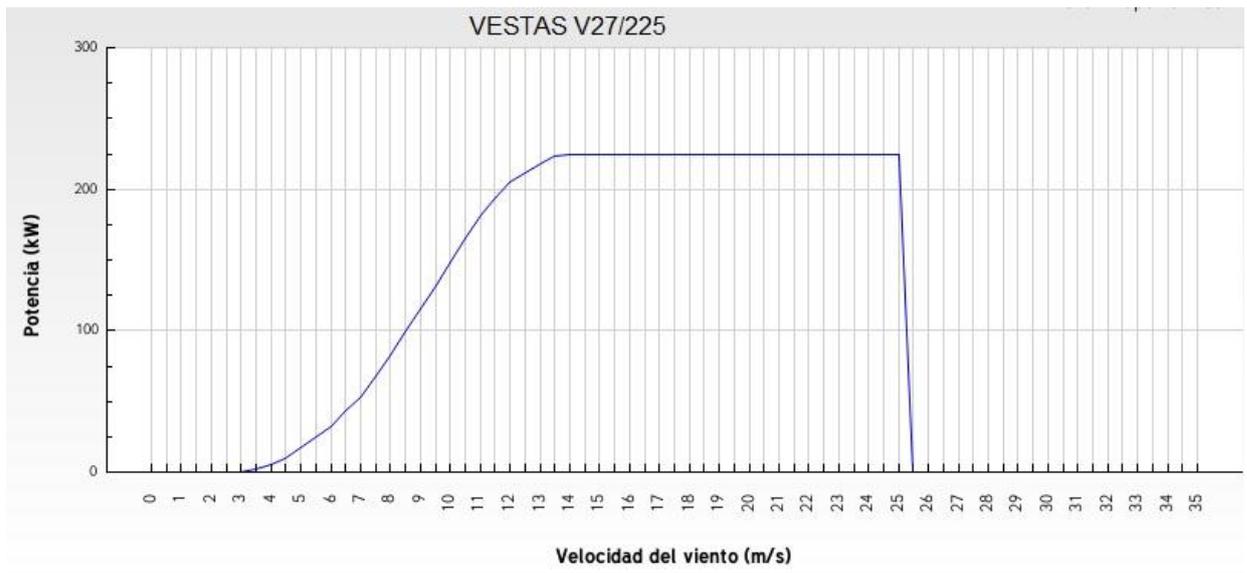


Figura 4.8 curva de potencia del aerogenerador seleccionado

#### 4.2.5 Características de funcionamiento del aerogenerador

Elegido el nivel de potencia a generar, la marca y modelo de unidad aerogeneradora, corresponde estimar y verificar las características de funcionamiento de dicho modelo dadas en sus catálogos técnicos. Ello se realiza mediante la estimación de la variación del coeficiente de potencia de la turbina y las condiciones nominales de funcionamiento. Así mismo, se procede al cálculo de la producción de electricidad de la unidad aerogeneradora de acuerdo a las características del recurso energético eólico del emplazamiento.

#### 4.2.6 Estimación del coeficiente de potencia de la turbina

El coeficiente de potencia es el parámetro indicador de la eficiencia con que el rotor de la turbina está transformando la energía contenida en el viento en energía mecánica. Normalmente este parámetro no es proporcionado por el fabricante; por tanto, lo que se tratará es de analizar su magnitud y comportamiento a lo largo del intervalo de trabajo de aerogenerador.

La estimación de la variación del coeficiente de potencia, para cada velocidad de funcionamiento de la unidad aerogeneradora, se ha evaluado mediante la siguiente expresión:

$$C_p(v) = \frac{8P(v)}{\pi \cdot \rho \cdot D^2 \cdot \eta \cdot v^3} \quad \dots(4.2)$$

Siendo:

$P(v)$  : Potencia en vatios del aerogenerador seleccionado. Obtenido a partir de la curva de potencia

$D$  : Diámetro del rotor. El modelo de aerogenerador Aeolos, tiene un diámetro de 27 m

$\rho$  : Densidad media del lugar de influencia (emplazamiento). Estimado en 1,225 kg/ m<sup>3</sup>

$\eta$  : Rendimiento del generador eléctrico y del tren multiplicador. Estimado en 89%

$v$  : Velocidad de viento, para cada condición de funcionamiento dentro del intervalo de trabajo del aerogenerador

Así se obtiene la curva del coeficiente de potencia, que se ilustra en la figura 4.9

### CURVA DEL COEFICIENTE DE POTENCIA ESTIMADO

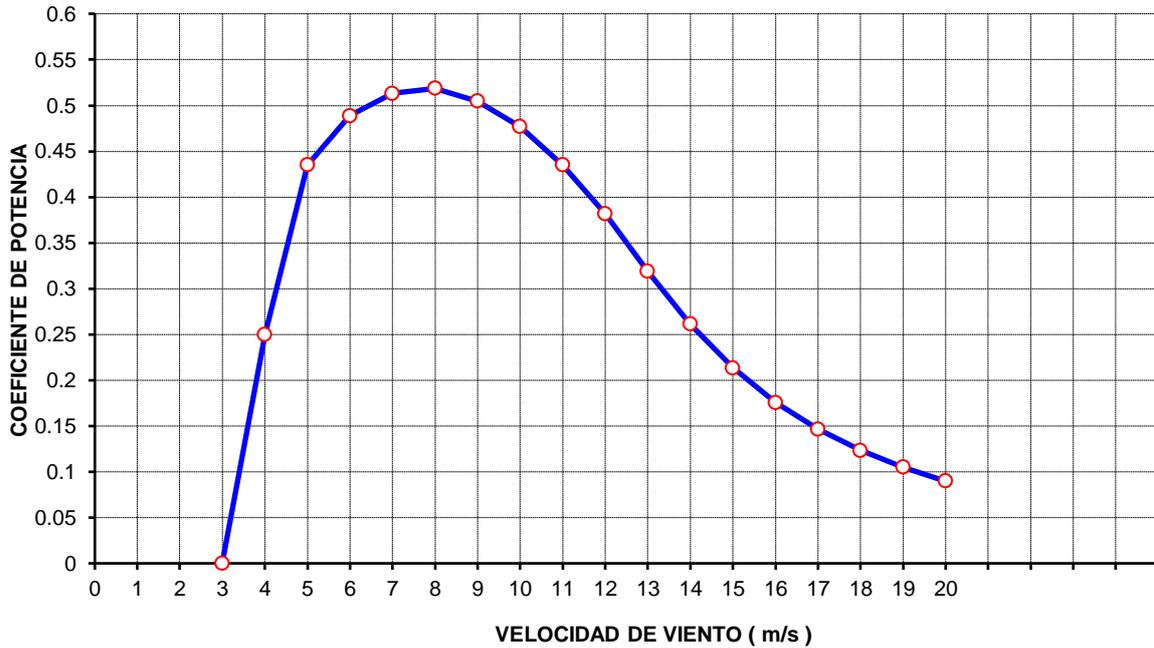


Figura 4.9 Curva de coeficiente de potencia estimado

#### 4.2.7 Estimación de la producción de electricidad

La producción de electricidad representa la cantidad de energía eléctrica que se puede generar mediante la unidad aerogeneradora elegida de acuerdo a las características del potencial eólico del emplazamiento. Es decir, se relaciona la capacidad del sistema de aerogeneración, expresado por su curva de potencia, con la disponibilidad eólica del lugar dada por su curva de duración de velocidades de viento a lo largo del año medio.

El cálculo de la producción eléctrica, expresado por la curva de duración de potencia generada, se construye de la forma siguiente:

En primer lugar se procede a corregir la curva de duración de velocidades de viento, mediante la extrapolación de las velocidades medias medidas a 10 metros sobre el nivel del terreno, calcularlos para la altura del eje de la turbina (30 m.).

Obtenida la curva de duración de velocidades de viento a la altura de buje, y la curva característica de potencia del aerogenerador, se procede a calcular, a igualdad de velocidades de viento, la potencia eléctrica que genera la unidad seleccionada en el tiempo a lo largo del año medio.

Los valores calculados de la producción de electricidad y la curva de duración de potencia generada, se dan en la tabla 4.11, figura 4.11 y figura 4.12

Tabla 4.11 producción de electricidad y la curva de duración de potencia generada

<b>PRODUCCION DE ELECTRICIDAD</b>		
<b>HORAS DEL AÑO</b> h	<b>POTENCIA</b> kW	<b>ENERGIA PRODUCIDA</b> Kwh
0	225	112.500
500	225	112.500
1000	225	112.500
1500	225	112.500
2000	222	111.750
2500	205	106.750
3000	163	72.500
3500	127	56.000
4000	97	44.250
4500	80	35.000
5000	60	26.000
5500	44	18.500
6000	30	7.500
6500	19	4.000
7000	11	1.250
7500	5	<b>0</b>
8000	0	<b>0</b>
8500	0	<b>0</b>

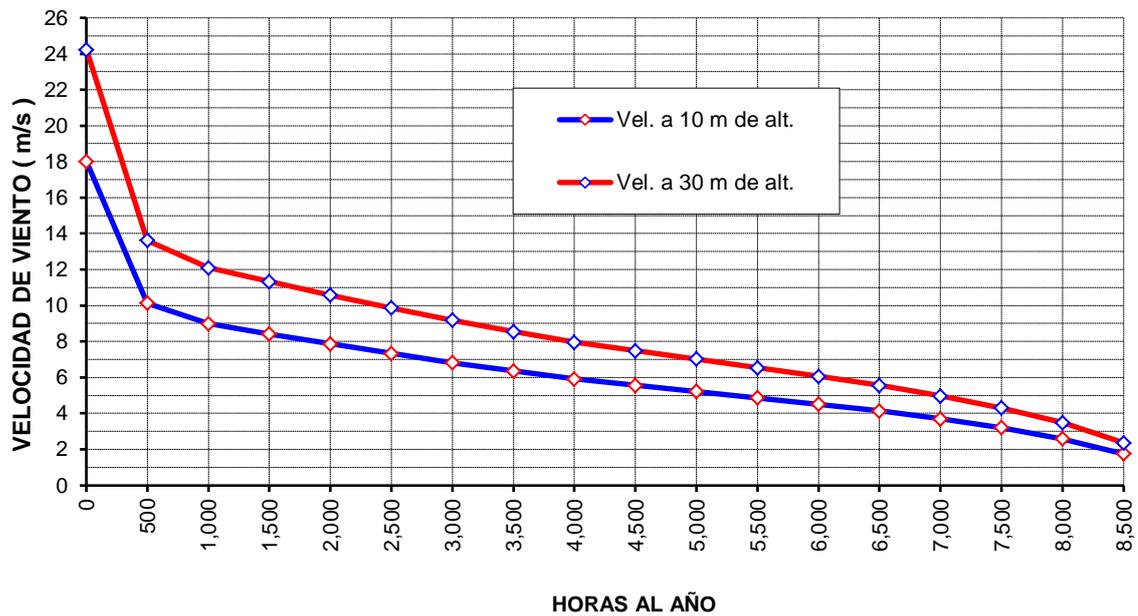


Figura4.10 Curva de duración de velocidades de viento

PRODUCCION ELECTRICA DEL AEROGENERADOR VESTAS27/225  
PARA EL EMPLAZAMIENTO ELEGIDO

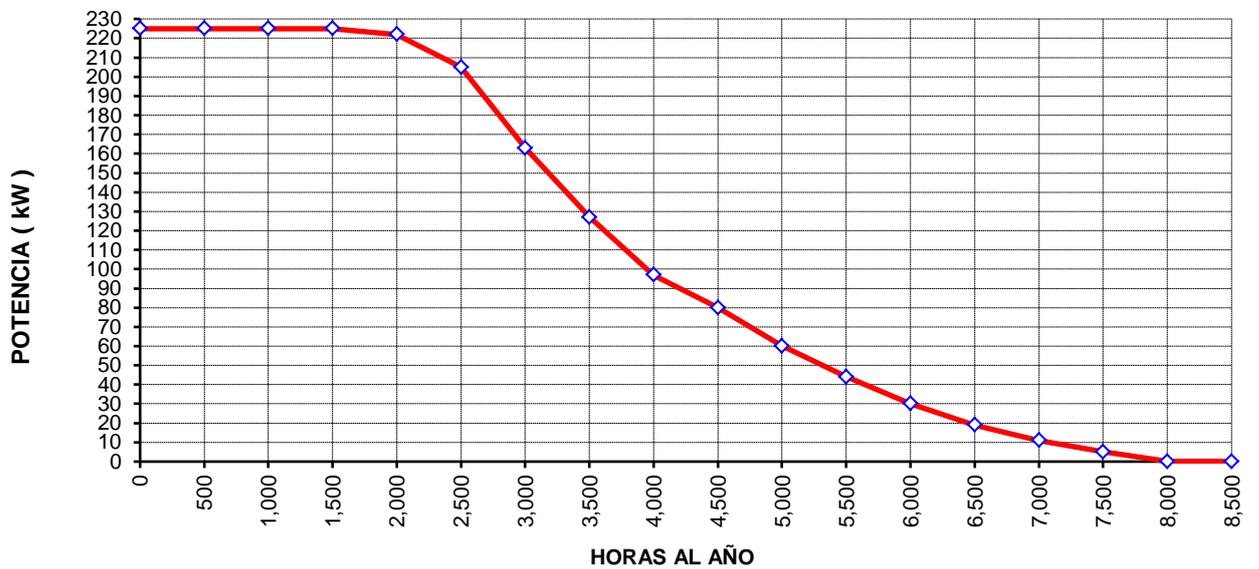


Figura4.11 Curva de producción electrica del aerogenerador seleccionado a la altura de 30m

#### 4.2.8 Selecciones de la tecnología del aerogenerador

##### **Datos generales**

- Fabricante : [Vestas](#) (Dinamarca)
- Turbina eólica : V27/225
- Potencia : 225 kW
- Diámetro : 27 m
- Modelo antiguo
- Compatible offshore : no
- Área de barrido : 573 m<sup>2</sup>
- Densidad de potencia : 2.55 m<sup>2</sup>/kW
- Número de palas : 3

##### **Masas**

- Masa de la góndola : 7,9 toneladas
- Masa de la torre : 9 - 12 toneladas
- Masa del rotor : 2,9 toneladas
- Masa total : 19,8 - 22,8 toneladas

##### **Rotor**

- Velocidad máxima del rotor : 43 vuelta/min
- Velocidad mínima de arranque : 3,5 m/s
- Velocidad nominal : 14 m/s
- Velocidad de corte de salida : 25 m/s

##### **Caja de cambios**

- Caja de cambios : Si
- Niveles : 2
- Ratio 1:25

##### **Generador**

- Tipo : ASYNC
- Número : 1
- Velocidad de salida máxima del generador : 1008 vuelta/min
- Tensión de salida : 400 - 480 V
- Fabricante : Siemens, AEG, ABB

##### **Torre**

- Altura de la góndola : 31 m

#### 4.2.9 Elección del aerogenerador según potencia unitaria y costos específicos

El aerogenerador es el elemento principal de cualquier instalación de aerogeneración. Sus precios varían según las marcas, modelos y los niveles de potencias unitarias; los costos específicos (precio/ kW), se reducen a medida que las capacidades de generación aumentan.

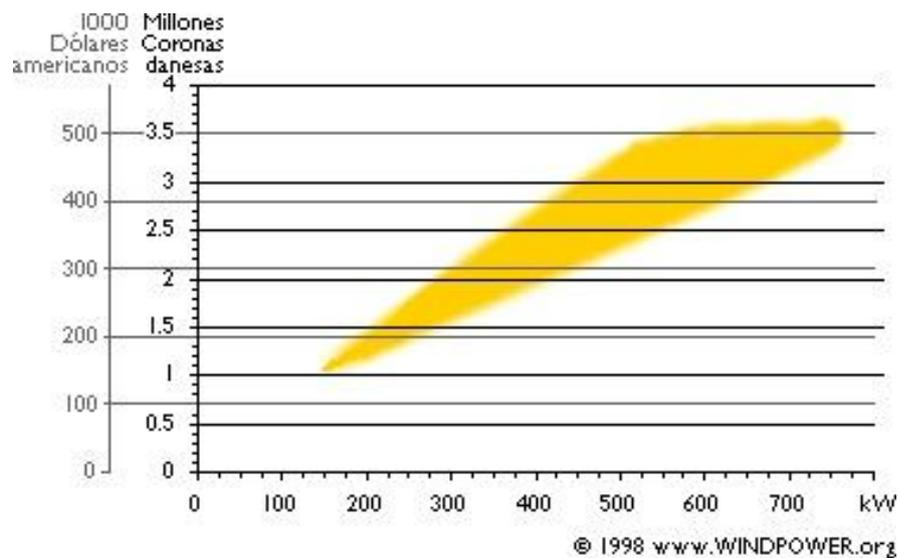


Fig.4.12 rango de precios de aerogenerador Danes

La figura 4.12 nos da una idea del rango de precios de los aerogeneradores daneses modernos conectados a red, en febrero de 1998. Como puede ver, los precios varían para cada tamaño de aerogenerador. Los motivos son, p.ej., las diferentes alturas de las torres y los diferentes diámetros de rotor. Un metro extra de torre le costará aproximadamente 1.500 dólares americanos. Una máquina especial para vientos suaves con un diámetro de rotor relativamente grande será más cara que una máquina para vientos fuertes con un diámetro de rotor pequeño.

El precio medio para los grandes parques eólicos modernos está alrededor de 1.000 dólares americanos por kilovatio de potencia eléctrica instalada. Para turbinas individuales o pequeños grupos de turbinas, los costes estarán normalmente algo por encima.

A continuación se muestra una comparación de los precios actuales de unidades aerogeneradores de tres marcas conocidas, en donde se incluye la unidad aerogenerador elegida.

Tabla 4.12 Precios de aerogeneradores

MARCA, MODELO	POTENCIA NOMINAL kW	PRECIO DEL AEROGENERADOR dólares	PRECIO UNITARIO Dólar /kW
VESTAS, V27	225	224500	998
ECOTECNIA 28-225kw	225	245000	1090
ACSA 225kW	225	223875	995

Estos precios también varían según la distancia de transporte requerida, la dificultad en su instalación, y, por supuesto, según la capacidad de negociación de los promotores y de los fabricantes.

#### *Costos de explotación*

Son los costos anuales que se han de realizar a lo largo de la vida de operación del sistema aerogenerador; comprenden:

- Costos de operación y mantenimiento
- Gastos de personal
- Costos financieros
- Costo de reparaciones y sustituciones de los equipos
- Alquiler de terrenos

Estos costos varían entre el 2 % y el 4 % de la inversión inicial.

La utilización del recurso eólico para generación de electricidad asociada a plantas industriales o grandes centros comerciales que disponen de un potencial eólico explotable se presenta como una alternativa técnica y económicamente viable. Los generadores se conectan a la red nacional y son vistos por ésta como auto-productores que comercializan sólo los excedentes de energía..(cataldo,2006)

### **4.3 Cálculo económico del proyecto para la instalación de un aerogenerador de 225kw**

Al no contar aun en el Perú un parámetro para cálculo de energía renovable, vamos a tomar algunas referencias de otros países donde se han realizado ya estudios, tal el caso del estudio realizado para determinar el costo del kwh; (Avila,2010) “Los costes de producción del kW h eólico generado a partir de los potenciales eólicos existentes en la región seleccionada y una inversión de 1400 \$/kW eólico instalado se encuentran entre los 4,6 y los 6,0 centavos dólar”

La utilización del viento para generar energía eléctrica a gran escala, es un tópico a ser analizado detalladamente para cada esquema de negocio y cada zona específica se deben cumplir una variedad de factores para que esta fuente sea económicamente atractiva, o en su defecto sea necesario aplicar subvenciones para instalación de potencia eólica (MIEMDNE,2011)

Para nuestro caso, vamos a tomar el modelo Español. La promoción de energía eólica en España se realiza a través de dos vías, el plan de ahorro y eficiencia de la energía (PAEE), y el real decreto 2366/94de energía

#### **4.3.1 Facturación total y precio medio de la energía**

Para nuestro proyecto se tienen los siguientes datos:

-Potencia a facturar. Obtenido del producto entre la potencia nominal y el factor de capacidad. El factor de capacidad se obtiene de las horas anuales equivalentes trabajando a potencia nominal, las mismas que se calculan de la curva de producción de electricidad. Valoradas en nuestro caso en 4250 horas al año. Por tanto el factor de capacidad es de 0,49.

$$P_f = 225 \times 0.49 = 110 \text{ kW}$$

-Energía cedida: Obtenido de la curva de producción de electricidad

$$E_c = 225 \times 4250 = 956250$$

Considerando el supuesto que nuestro sistema de aerogeneración se acoge al régimen de discriminación horaria tipo II, sin garantía de potencia, el término AI se hace nulo. También se supone un factor de potencia de 0,99 y que el sistema trabaja a plena disponibilidad.(Gonzales,2009)

$$F_T = (PF \cdot T_p + E_c \cdot T_e \pm DH \pm ER) k_c k_p - AI$$

en la que:

FT = Facturación en pesetas.

PF = Potencia a facturar expresada en kW

T<sub>p</sub> = Término de potencia (para la energía eólica 344ptas/kw.mes).

E<sub>c</sub> = Energía cedida en kWh.

T. = Término de energía (para la energía eólica 11,47ptas/kw.mes)..

DH = Complemento por discriminación horaria.

ER = Complemento por energía reactiva.

k<sub>c</sub> = coeficiente de costes incluidos en tarifas no evitados (para la energía eólica es 0,85)

k<sub>p</sub> = coeficiente de aportación a la política energética ( para la energía eólica es 1,09)

AI = Abono por incumplimiento de potencia.

Remplazando

$$FT = 11\,848\,764,38 \text{ ptas} \cong \$ 95554.55$$

Luego el precio medio de la energía generada por un sistema eólico será:

$$\text{Precio medio} = FT/EC$$

$$\text{Precio medio} = \$ 0,0999/\text{kwh}$$

#### 4.3.2 cálculo de los índices económicos

Datos económicos del proyecto:

- Costos totales de inversión: \$ 350000 (considerando el costo de unidad generadora 245000).
- Subvención: Se supone una inversión por parte del Gobierno regional del 20% de la inversión total.
- Los costos anuales de explotación se han estimado en un 3% de la inversión.
- Los costos anuales de explotación se han estimado en un 3% de la inversión.
- Vida útil del sistema de aerogeneración: 20 años.
- El crédito financiero obtenido es del 60 % de la inversión total. El tipo de interés del crédito es 12% y el plazo de amortización es 10 años.

Para el cálculo de los índices económicos, se tienen en cuenta las Siguietes consideraciones:

- Para la actualización de los flujos de caja, se considera un tipo de interés nominal del 7% y una inflación del 3%, lo que resulta una tasa de descuento real del 4 %.
- No se considera inflación en los costos ni en los ingresos
- En el año en que se realiza la inversión, año cero, se produce el total de ésta, recibándose a su vez el importe del préstamo y la subvención concedida
- A partir del año uno se realiza la producción de energía, por lo que se producirán ingresos; y los gastos incluyen los costos de explotación y la amortización del préstamo.
- Para el cálculo del costo normalizado de la energía CNE se consideran, además de la inversión neta, solamente los costos de explotación y los intereses del crédito financiero. No se consideran los costos de reparaciones ni de desecho.

Los datos de entrada para el cálculo económico y el flujo de entrada de nuestro proyecto se muestran en la tabla 4.13

Tabla 4.13 Datos de entrada para el cálculo Económico

Datos de entrada para la evaluación económica		
Inversión total	Dólares	350000
Subvenciones	Dólares	70000
Costos de explotación	Dólares	10500
Precio de energía facturada	Dólares/kWh	0,1
Potencia nominal	kW	225
Horas anuales	h	4250
Energía eléctrica generada	kWh	956250
Crédito financiero	Dólares	210000
Tasa de interés del crédito	%	10
Plazo de amortización	años	10
Factor de amortización anual		2
Tasa de descuento real	%	4
Vida útil del proyecto	años	20

Los flujos de caja del proyecto y la distribución anual de costos del proyecto y energía generada, a lo largo de la vida útil, se muestran en las tablas 4.14 y 4.15 respectivamente.

De estos resultados se obtiene:

Valor Actual Neto, VAN: \$ 809674

Tasa Interna de Retorno, TIR: 73%

Período de Retorno, PR: 6 años

Costo Normalizado de la Energía, CNE: \$ 0.041/kWh

Por tanto, se concluye que el proyecto es altamente rentable, dado que presenta un VAN positivo y alto, una TIR muy por encima del tipo de interés del mercado, un PR significativamente breve y un CNE que se encuentra muy por debajo del precio de la energía facturada.

Con la finalidad de analizar la influencia de la velocidad media de viento del lugar de emplazamiento, en los gráficos mostrados a continuación se expresa la sensibilidad para el VAN, la TIR y el CNE cuando varía la velocidad media de viento.

Tabla 4.14 Flujo de caja del proyecto aerogenerador de 225 kW

Año	Inversión (\$)	Ingresos (\$)	Costes. Explotación (\$)	Amortización (\$)	Flujo de caja (\$)	VAN (\$)	
0	280,000	210,000			-70,000	-70,000	
1		95,625	10,500	34,177	50,948	48,989	
2		95,625	10,500	34,177	50,948	47,105	
3		95,625	10,500	34,177	50,948	45,293	
4		95,625	10,500	34,177	50,948	43,551	
5		95,625	10,500	34,177	50,948	41,876	
6		95,625	10,500	34,177	50,948	40,265	
7		95,625	10,500	34,177	50,948	38,717	
8		95,625	10,500	34,177	50,948	37,228	
9		95,625	10,500	34,177	50,948	35,796	
10		95,625	10,500	34,177	50,948	34,419	
11		95,625	10,500			85,125	55,296
12		95,625	10,500			85,125	53,169
13		95,625	10,500			85,125	51,124
14		95,625	10,500			85,125	49,158
15		95,625	10,500			85,125	47,267
16		95,625	10,500			85,125	45,449
17		95,625	10,500			85,125	43,701
18		95,625	10,500			85,125	42,020
19		95,625	10,500			85,125	40,404
20	95,625	10,500			85,125	38,850	
					VAN =	809,674	

Tabla 4.15 Distribución anual de costes del proyecto aerogenerador 225kW

Año	Inversión (\$)	Costes Intereses (\$)	Costes Explotación (\$)	Costes Anuales (\$)	Energía Generada (\$)	COSTE i (\$)	ENERGIA i (\$)	
0								
1	280,000	21,000	10,500	31,500	956,250	30,288	919,471	
2		19,682	10,500	30,182	956,250	27,905	884,107	
3		18,233	10,500	28,733	956,250	25,543	850,103	
4		16,639	10,500	27,139	956,250	23,198	817,407	
5		14,885	10,500	25,385	956,250	20,864	785,968	
6		12,956	10,500	23,456	956,250	18,537	755,738	
7		10,834	10,500	21,334	956,250	16,212	726,671	
8		8,499	10,500	18,999	956,250	13,883	698,723	
9		5,931	10,500	16,431	956,250	11,545	671,849	
10		3,107	10,500	13,607	956,250	9,192	646,008	
11				10,500	10,500	956,250	6,821	621,162
12				10,500	10,500	956,250	6,558	597,271
13				10,500	10,500	956,250	6,306	574,299
14				10,500	10,500	956,250	6,063	552,211
15				10,500	10,500	956,250	5,830	530,972
16				10,500	10,500	956,250	5,606	510,550
17				10,500	10,500	956,250	5,390	490,913
18				10,500	10,500	956,250	5,183	472,032
19				10,500	10,500	956,250	4,984	453,877
20				10,500	10,500	956,250	4,792	436,420
						534,702	12,995,750	
						CNE =	0.041	

## **4.4 Evaluación económica de un Bosque eólico de 5 MW**

### **4.4.1 Motivación del estudio**

La motivación de este estudio es evaluar económicamente un hipotético bosque eólico genérico de 5MW, analizando la viabilidad y alternativas de un emprendimiento de este tipo.

La instalación del Parque Eólico generaría grandes beneficios sobre la socioeconomía, creándose una gran cantidad de puestos de trabajo, tanto directos como indirectos, que contribuirían al desarrollo regional. Permitiría el desarrollo sostenible de la zona, debido a la generación de energía limpia, sin emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que mejoraría la calidad del aire y evitaría el consumo de energías convencionales (contaminantes). A nivel global, contribuiría a la reducción del efecto invernadero.(miranda,2008)

Ya se han realizado otros estudios referidos al potencial eólico por citar se realizó evaluación del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el estado de veracruz, con los valores encontrados se podrían ahorrar 6,188,646 litros de gasolina y una reducción anual bruta de emisiones GEI equivalentes a 28,806.1 toneladas de CO<sub>2</sub> (tCo<sub>2</sub>). (Hernandez,2011)

### **4.4.2 Hipótesis**

El bosque eólico de 5 MW se supone interconectado a la red y compuesto por 7 aerogeneradores de 750 kW de potencia cada uno. La interconexión a la red se plantea mediante una línea de 15 km de 60 kV. Este nivel de tensión permitiría una eventual expansión futura del bosque.

Se supone que el proyecto obtendría:

- Exoneraciones impositivas y arancelarias máximas como resultado de su carácter de interés nacional: exoneración de impuesto a la importación, de impuesto al patrimonio, y depreciación acelerada en 10 años.

- El proyecto podría obtener el apoyo de fondos mundiales destinados a la mejora del medio ambiente por los beneficios ambientales que el proyecto produce, por la reducción de emisiones gaseosas, en una magnitud de 5 US\$ por tonelada de CO<sub>2</sub> evitado.

Adicionalmente se ha evaluado la sensibilidad de los resultados ante la existencia de un subsidio de otro origen, como por ejemplo aportes directos del Gobierno, basados en una política energética de fomento a las fuentes de energía de origen renovable.

En cuanto a los subsidios oficiales aplicados por las autoridades energéticas en otros países, cabe indicar que en los países con mayor proporción de potencia eólica instalada, se establecen tarifas especiales para remunerar estos emprendimientos. En Alemania se establece por Ley un pago igual al 90% de la tarifa de venta de la empresa eléctrica. En España, se paga una prima a la producción de electricidad con energías renovables, que es de 5 ptas/kWh (unos 27 US\$/MWh). Brasil ha establecido un mecanismo por el cual las empresas distribuidoras pueden trasladar a tarifas un mayor costo de contratos de compra de energía de origen renovable (45 US\$/MWh contra 36 US\$ de fuentes convencionales). En Argentina, la Ley dispone se remunere 10 US\$/MWh.

Tomando como referencia lo aplicado en Argentina, se analiza como posibilidad un subsidio de 10 US\$/MWh.

#### 4.4.3 Reducción de emisiones

Se estima la reducción de gases de efecto invernadero, a través de la cuantificación de la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> por el desplazamiento de energía de origen térmico por la de generación de origen eólico.

Se toma como referencia un coeficiente de emisión incremental de **312 gr de CO<sub>2</sub>/kWh** y se valoriza a **5 US\$/ton CO<sub>2</sub>**.

Tabla 4.16 Beneficios de comercialización de CO2 para 20 años de proyecto

Factor de performance	Energía desplazada por año (GWh)	Reducción de emisiones acumuladas de CO2 (toneladas)	Beneficio por comercialización de CO2 (MUS\$)
0.4	17.5	191688.8	1.0
0.5	21.9	239586.0	1.2

Esta tabla nos muestra que a los valores considerados de beneficio por comercialización de CO2 van de 1.0 a 1.2 MU\$S para los 20 años del proyecto.

#### 4.4.4 ubicación supuesta para el parque eólico

La selección del sitio para la ubicación del Parque Eólico depende entre otros elementos del potencial eólico (velocidad media del viento), de la cantidad de aerogeneradores a instalar (área a utilizar), de las características circundantes de actividad humana y de producción, de la distancia a las líneas del sistema eléctrico nacional y de la facilidad de acceso al predio.

Buscando reflejar un caso vinculado a la experiencia concreta disponible, la ubicación supuesta fue en el campus 2 de la universidad nacional del santa en nuevo Chimbote (Dpto. de Ancash) a 10 Km de Chimbote que fue seleccionada a partir de los resultados obtenidos del estudio, Cuantificación del potencial eólico nacional aplicable a la generación eléctrica y donde estaría emplazado el primer generador eólico piloto de 225 kW).

Esto hace pensar que sobre la base de un nuevo estudio de vientos a realizar, se podría pensar en otros posibles lugares para la instalación del parque propuesto, teniendo en cuenta que con las nuevas tecnologías se han desarrollado equipos que trabajan con velocidades de viento inferiores, más eficientes y con potencias mayores, donde se compensaría la elección de un lugar más accesible para su montaje con un aprovechamiento del viento inferior, comparado con un lugar de difícil montaje con un buen aprovechamiento del viento. Esto se puede lograr gracias al constante avance tecnológico que tienen los generadores eólicos.

El área necesaria de terreno aproximada para cada aéreo generador es de 3.5 há lo que da unas 25 há.

No se considera el costo del predio en los costos del proyecto, ni la servidumbre donde se emplazarán los generadores. La distancia de la zona hipotética utilizada como base para emplazar la Central eólica a ruta nacional más próxima es de aproximadamente 10 km y la distancia a las líneas del sistema eléctrico nacional es de 15 km en promedio.

#### 4.4.5 Costos

##### 4.3.5.1 COSTOS DE INVERSIÓN

Para definir el costo unitario de la turbina se tomaron como referencia valores sugeridos por alguna de las empresas fabricantes y valores publicados en revistas especializadas. El costo de inversión se supuso distribuido en un 20% para el primer año y 80% para el segundo, se considera una vida útil del proyecto de 20 años y una tasa de reajuste de los precios de compra y venta de 2% anual.

Como referencias documentadas para los costos de inversión se consideró el artículo técnico sobre energía eólica en América Latina de la revista Potencia del 2000. Allí se presentan valores comprendidos entre 900 y 1200 U\$/kW, sin especificar si estos valores incluyen algún período de garantía y los costos de operación y mantenimiento del sistema.

En su estudio Gonzales, et al (2205) indican que el costo de inversión en la producción de energía eléctrica por las diferentes formas de producción resulta menor cuando ésta es producida por centrales eólicas y geotérmicas, si se compara con las formas convencionales de producir energía. En la Tabla I se comparan los costos de inversión de las diferentes formas de producción de electricidad en México.

Tipo de central eléctrica	Costo (peso/kw)
Eólica 14325	14325
Geotérmica 13944	13944
Carboeléctrica 18345	18345
Hidroeléctrica 22927	22927
Termoeléctrica 14325	14325
Núcleoeléctrica 32934	32934

Fuente: CFE (2004) *El futuro de la energía renovable*. Comisión Federal de Electricidad. CONAE. México.

Por otra parte se hicieron consultas; de estas se obtuvo que sobre la base de instalaciones ejecutadas en Argentina y Costa Rica, se maneja un costo unitario para plantas con potencias comprendidas entre 7 y 24 MW entre 1000 y 1280 US\$/kW, que incluyen el costo de operación y mantenimiento con un período de garantía de 5 años, 4 km de línea de MT para su conexión a la red y algunos cambios en la subestación existente. Si se deducen los montos correspondientes para obtener el costo de instalación del aerogenerador se tiene un valor del orden de los 900 US\$/kW.

Teniendo presente estos valores, se adoptó como valor de base un costo unitario de 900 US\$/kW para el análisis de la inversión, considerando en forma separada los costos de operación y mantenimiento, los que corresponden a la línea de conexión a la red y la subestación correspondiente y los costos de internación en el país. Como alternativa de sensibilidad se toma un valor de 700 US\$/kW.

En las tablas siguientes se presenta un desglose de las inversiones, para ambos casos de costo unitario del aerogenerador.

Tabla 4.17 Presupuesto de inversión para 900 US\$/kW

Tasa de costos de introducción sobre FOB	6,90%
Tasa de cargas sociales sobre caminos transporte y montaje	5%
Tasa de imprevistos sobre llave en mano	5%
Costo unitario de aerogenerador	<b>900</b> US\$/kW.inst
Compra de aerogeneradores	4,50 MUS\$
Terreno y accesos	0,16 MUS\$
Instalación eléctrica excepto línea	0,23 MUS\$
Línea de conexión	0,14 MUS\$
Transporte interno y grúas	0,08 MUS\$
Montaje	0,04 MUS\$
<b>Subtotal sin impuestos, aranceles ni cargas sociales</b>	<b>5,13</b> MUS\$
Costos de desarrollo y puesta en servicio del proyecto	0,08 MUS\$
Capital de trabajo	0,04 MUS\$
Costos de introducción de equipos (Brou y Aduana)	0,31 MUS\$
Aranceles	0,00
IVA a la importación	0,00 MUS\$
Cargas sociales cobre caminos, transporte y montaje	0,26 MUS\$
Imprevistos	0,29 MUS\$
Total inversiones con aranceles y cargas sociales sin IVA	<b>6,10</b> MUS\$

Tabla 4.18 Presupuesto de inversión para 700 US\$/kW

Tasa de costos de introducción sobre FOB	6,90%
Tasa de cargas sociales sobre caminos transporte y montaje	5%
Tasa de imprevistos sobre llave en mano	5%
Costo unitario de aerogenerador	<b>700</b> US\$/kW.inst
Compra de aerogeneradores	3,50 MUS\$
Terreno y accesos	0,12 MUS\$
Instalación eléctrica excepto línea	0,18 MUS\$
Línea de conexión	0,11 MUS\$
Transporte interno y grúas	0,06 MUS\$
Montaje	0,03 MUS\$
<b>Subtotal sin impuestos, aranceles ni cargas sociales</b>	<b>3,99</b> MUS\$
Costos de desarrollo y puesta en servicio del proyecto	0,06 MUS\$
Capital de trabajo	0,03 MUS\$
Costos de introducción de equipos (Brou y Aduana)	0,24 MUS\$
Aranceles	0,00 MUS\$
IVA a la importación	0,00 MUS\$
Cargas sociales cobre caminos, transporte y montaje	0,20 MUS\$
Imprevistos	0,23 MUS\$
Total inversiones con aranceles y cargas sociales sin IVA	<b>4,75</b> MUS\$

El análisis económico muestra el requerimiento de una elevada inversión inicial, característica de los proyectos de energía renovable, pero asimismo una rápida recuperación de la inversión en condiciones de precio adecuadamente pautadas.

En cuanto a posibles impactos, los mismos resultan temporales en la primera etapa constructiva mientras que los producidos en la fase de operación del parque (contaminación sonora, lumínica y visual), si bien son permanentes, resultan de escasa magnitud debido a la distancia que existe entre el parque y la localidad.

Como efectos asociados, se visualiza una importante creación de puestos de trabajo y la instalación de empresas de servicios relacionados, y la reducción de emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero. Paralelamente se prevé una reducción de gastos en combustible, y una mayor diversificación en la matriz energética local y provincial. (oliva,2009)

#### 4.3.5.2 Costos de operación y mantenimiento

Se supone un costo anual de operación y mantenimiento, que en dólares constantes es de 270 000 dólares anuales.

Adicionalmente, se supone un pago de peajes por el uso del sistema de transmisión de 248 000 dólares anuales.

#### 4.4.6 Precio de la energía

Se tomaron precios de referencia de 35, 37 y 39 US\$/MWh para el mercado peruano.

##### 4.4.6.1 Remuneración adicional en otros países

La remuneración supuesta para el proyecto operando en Perú se simuló a través de tres componentes. En primer término, el precio medio de mercado que recibiría una planta de generación eólica. En segundo lugar, un ingreso adicional proveniente de la venta de certificados por reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Por último, se consideró la posibilidad de contar con un subsidio explícito de carácter gubernamental, basado en una política energética de fomento de uso de fuentes renovables.

El tercer elemento mencionado es utilizado ampliamente en distintos países, particularmente, en aquellos que han logrado importantes porcentajes de instalación de potencia de origen renovable.

En Alemania, según informaciones del Instituto Fraunhofer, del Ministerio Federal Alemán para el Medio Ambiente, Conservación Natural y Seguridad Nuclear, el marco legal establece que un productor que provea a la red interconectada energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables, cobrará el 90% del precio de venta de la empresa eléctrica de la zona.

En España, los subsidios reciben el nombre de “prima a la producción de electricidad con energías renovables”, con un monto de 5 ptas/kWh (unos 27 US\$/MWh).

Brasil ha establecido un mecanismo por el cual las empresas distribuidoras pueden trasladar a tarifas un mayor costo de contratos de compra de energía de origen renovable que los costos que pueden trasladar de energías convencionales. En febrero de 2001, ANEEL emitió resolución donde establece un valor normativo de 45 US\$/MWh para energía eólica contra 29 US\$/MWh para centrales a gas. A raíz del plan emergencial, en julio el valor normativo a considerar para las centrales a gas pasó a 36 US\$/MWh.

En Argentina, la Ley dispone se remunere 10 US\$/MWh adicionales a la generación eólica, además de permitir diferir el pago de IVA a las inversiones de capital.

#### 4.4.7 Características técnicas de la turbina eólica.

Si bien el estudio no se refiere a un proyecto concreto, se tomó como base para el cálculo los datos generales del equipamiento de una turbina de 750 kW que es una de las más usadas en el mercado, cuyas características técnicas son las siguientes:

Potencia nominal: 750kW  
Velocidad nominal viento: 16 m/s  
Diámetro del rotor: 48.2 m  
Número de palas: 3  
Área barrida: 1824 m<sup>2</sup>  
Revoluciones del rotor: 22/15 rpm  
Voltaje nominal: 690 V  
Frecuencia nominal: 60 Hz  
Altura al centro: 45/50/55/60/70 m  
Control remoto: por modem

Factor de performance

Se estima un factor de performance de 0.4, basado en el desempeño de la planta piloto existente. Se incluye además en el análisis una sensibilidad a la variación de este factor utilizando el 0.5.

#### 4.4.8 Conexión a la red

Se planteó para la conexión a la red una línea de 15 km, 60 kV y un transformador elevador de 60/138kV, para poder asegurar una conexión confiable y segura desde el parque a la red. El nivel de tensión de 60 kV permite futuras expansiones, a la vez que puede operarse inicialmente en 30 kV. Alternativamente, podría considerarse una interconexión en 30 kV, la que podría transmitir del orden de 20 MW utilizando el mayor conductor normalizado.

Las líneas, los transformadores, las protecciones y secciones de maniobra de son cargadas al proyecto como instalaciones adicionales necesarias. No se trata de un costo menor por lo que corresponde su inclusión en la valorización completa.

En muchos proyectos concretos, la oferta de los fabricantes sólo alcanza las obras de generación quedando la conexión a cargo del interesado.

#### 4.4.8.1 Camino de acceso

Las obras de cominería consisten en mejorar los caminos existentes a fin de permitir la circulación de los vehículos destinados al transporte e izaje de los componentes hasta el predio del Parque Eólico. También se considera la realización de los tramos finales a cada uno de los aerogeneradores donde no existe camino

#### 4.4.9 Impuestos

Para la evaluación del proyecto se supuso que la inversión en el mismo, está sujeta a las tasas de la Dirección Nacional de Aduanas, para los equipos importados (las que constituyen un 6.9% del valor FOB), pero está exento de IVA (impuesto al valor agregado) a la importación de equipos. El proyecto está exento de impuesto al patrimonio, deprecia sus inversiones en 10 años y está gravado por el IRIC (Impuesto a la Renta de Industria y Comercio). Las pérdidas eventuales del proyecto, derivan en una reducción del monto imponible del IRIC de la empresa que ejecuta el proyecto.

#### 4.4.10 consideraciones ambientales e ingreso por concepto de reducción en las emisiones de co2.

Si bien el proyecto presenta cierto impacto visual debido a la extensión, se trata de una zona, con escasa utilización de la porción de tierra allí ubicada y localización distante del paso de flujo turístico. Además los aerogeneradores no requieren desafectar el uso del suelo, pudiendo continuarse la actividad a su alrededor. Los valores adicionales que se surgen por las consideraciones ambientales son los siguientes:

Precio por CO2 evitado 5 US\$/ton

CO2 evitado por MWh generado 0.312 ton/MWh

Ingreso por CO2 evitado 1.56 US\$/MWh

Es decir que el proyecto percibe un ingreso de 1.56 US\$/MWh generado por concepto de su contribución a la reducción de emisiones, sin perjuicio de un subsidio adicional de otro origen.

## 4.5 Análisis económico desde el punto de vista ambiental

Los beneficios ambientales del proyecto objeto del estudio, se centran básicamente en la reducción de emisiones gaseosas al ambiente, siendo éstas de dos tipos principales: de efecto global (CO<sub>2</sub>) y de efecto local (CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>).

Dentro de las emisiones de efecto global se encuentra el dióxido de carbono, el cual es uno de los denominados “gases de efecto invernadero”, cuyo aumento de concentración provoca una mayor retención de la radiación emitida por la superficie del planeta con consecuencias en el régimen térmico de la atmósfera.

Dentro de las emisiones de efecto local, se encuentran el SO<sub>2</sub>, CO y el NO<sub>x</sub>, los cuales más allá de los efectos locales conocidos, tal como el de la lluvia ácida, contribuyen en forma indirecta al efecto invernadero. La preocupación internacional por el fenómeno del cambio climático y por tomar acciones tendientes a detener la concentración de los gases de efecto invernadero, se plasma en iniciativas tales como el **Fondo de Medio Ambiente Mundial (GEF)** y el **Protocolo de Kyoto**.

Los objetivos fijados por el protocolo de Kyoto están fomentando la instalación de energías renovables. Para que todo esto sea viable debe estar amparado mediante una legislación que asegure la rentabilidad de estas instalaciones y así hacer de la energía renovable una inversión atractiva económicamente fomentando la participación de particulares y empresas pequeñas y medianas a invertir en el sector eléctrico.(Miranda,2008)

El Fondo de Medio Ambiente Mundial es financiado por un conjunto de gobiernos y administrado por el Banco Mundial. Este fondo está destinado a promover proyectos que no son económicamente rentables pero que podrían llegar a serlo en función de los beneficios ambientales globales que producen. La forma de apoyo a estos proyectos es la donación.

En el Protocolo de Kyoto los países industrializados incluidos en el Anexo I de la Convención Marco de Cambio Climático, ahora Anexo B del Protocolo, se comprometieron a una reducción de 5.2% en las emisiones de gases de efecto invernadero lo que sentaría las bases para el establecimiento de un sistema internacional de comercio de permisos de emisión.

La unidad comercializable que parecería ser la más ampliamente aceptada es la tonelada de carbono como CO<sub>2</sub>. Diversas estimaciones sitúan el precio de la tonelada de carbono entre US\$ 10 y 70 lo que es equivalente a la tonelada de CO<sub>2</sub> entre US\$ 3 y 20. Para el análisis se toma 5 US\$, pues el mercado de los certificados no está suficientemente desarrollado.

#### 4.5.1 Valorización de la reducción de emisiones por sustitución de generación térmica por eólica.

EN BASE AL PROTOCOLO DE KYOTO

##### **Calculo del factor de emisiones de CO<sub>2</sub> de la red eléctrica peruana 2007**

En el marco del programa mencionado se tomaron para cuantificar la emisiones de la generación eléctrica un coeficiente que resulta del orden de los 0.547t CO<sub>2</sub>/kWh. Se destaca que este coeficiente fue calculado para el 2007 por FONAM con el apoyo del Banco Mundial.

Se entiende por esto que cuando aumenta la generación para satisfacer la demanda se emitirán 0.547t CO<sub>2</sub> por kWh

##### **Valorización económica del ahorro de misiones de CO<sub>2</sub>**

Para el parque eólico considerado de 5 MW la energía generada anualmente sé calcula para dos casos en función del factor de planta considerado 0.4 y 0.5.

Tabla 4.19 Energía generada por año en Gwh

Potencia instalada (Mw)	Factor de planta	Energía generada por año (GWh)	venta de energía (MUS\$)
5	0,4	17,5	0,4
5	0,5	21,9	0,5

Reducción de emisiones por el desplazamiento de energía eléctrica por generación eólica en toneladas por año para el coeficiente de 547T **CO2/MWh**

Tabla 4.20 Beneficio anual de comercialización de CO2

Factor de performance	Energía desplazada por año en (GWh)	Reducción de emisiones acumuladas de CO2 (toneladas)	Beneficio por comercialización de CO2 (US\$)
0.4	17.5	9583.4	47917.2
0.5	21.9	11979.3	59896.5

Para la evaluación económica del ahorro de emisiones de CO2 se toma el valor de **5 US\$/ton de CO2** que es valor de comercialización más utilizado internacionalmente. Valorizado a 5 US\$/ton de CO2

Tabla 4.21 beneficio económico del ahorro de emisiones

Factor de performance	Energía desplazada por año en (GWh)	Reducción de emisiones acumuladas de CO2 (toneladas)	Beneficio por comercialización de CO2 (US\$)
0.4	17.5	9583.4	47917.2
0.5	21.9	11979.3	59896.5

Tabla 4.22 Beneficio económico, ahorro de emisiones, vida útil del proyecto 20 años.

Factor de performance	Energía desplazada por año en (GWh)	Reducción de emisiones acumuladas de CO2 (toneladas)	Beneficio por comercialización de CO2 (US\$)
0.4	17.5	191668,8	1.0
0.5	21.9	239586,0	1.2

Por lo tanto el beneficio por la comercialización del CO2 por la implantación de un Parque eólico de 5 MW con un factor de utilización del 0.40 es del orden de los 1 MUS\$. Esta cifra no alcanza a compensar los 10.3 MUS\$ requerido para rentabilizar el proyecto pero es significativa.

La construcción y explotación del Parque Eólico ocasiona impactos adversos sobre el medio físico y biótico, pero son, en todos los casos, de magnitud inferior al umbral aceptable (no hay impactos críticos), por lo que no ocasionan una pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales de la zona en la que se desarrolla el parque, y pueden ser asimilados por el entorno a corto plazo, debido a las medidas correctoras y protectoras. Pero las repercusiones socioeconómicas en la zona son, en su mayoría, positivas por la creación de puestos de trabajo directos e indirectos. La mayor parte posible de trabajos de montaje, instalación y mantenimiento se realizan mediante contratos y acuerdos con empresas locales.(Alvarez,2009)

Las barreras para el desarrollo de la energía eólica la constituyen: la falta de un marco legal y normativo; la inexistencia de institucionalidad orientada a incentivar la actividad en este campo; las políticas gubernamentales imprecisas, poco específicas; la pobre Información y documentación diseminada: los registros poco confiables de recursos energéticos renovables; la reducida población profesional con las competencias necesarias para el desarrollo en el campo y; la poca promoción de estas tecnologías en la población.(Baldovino,2007)

La energía eólica en el campus universitario, reúne condiciones favorables para su aprovechamiento, pero podemos decir al similar a lo concluye Muciño, 2009 “Para su aprovechamiento es recomendable un sistema que contemple otras fuentes renovables, para garantizar la continuidad del suministro eléctrico. Así, la energía eólica asume el rol de complementar a una fuente primaria. Queda como tarea futura caracterizar el recurso solar para su explotación”

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- En relación al potencial eólico de la zona se han realizado mediciones en el año 2010 en los meses; febrero 4.3m/s, abril 5.4m/s y junio 5.3m/s determinando una velocidad promedio de 5 m/s a 10 m de altura.
- El tratamiento estadístico de los datos mediante la distribución Weibull, ha permitido hallar los parámetros correspondientes  $K= 2.59$  y  $c= 5.94$
- Las direcciones predominantes del viento en la zona son de componente sureste y sursureste, siendo estas las más energéticas con velocidades entre 5 y 5.4 m/s
- En cuanto a la selección de dicho emplazamiento se ha tenido en cuenta la viabilidad técnica, y las afecciones medioambientales del parque entre otras y se ha determinado que el campus 2 de la UNS reúne las condiciones técnicas para este fin.
- Se ha elegido el aerogenerador Vestas 225kw, el cual será un generador piloto para el proyecto final de un parque eólico de 5Mw.
- Se ha determinado 4250h/año de utilización del aerogenerador, el cual entregara 956250Wh/año de energía el cual podrá utilizarse para las necesidades del campus universitario.

- La energía eléctrica generada por el generador piloto en el campus UNS si bien es cierto no podrá reemplazar la demanda total del campus universitario servirá para la proyección definitiva de un parque eólico de 5Mw.
- En el análisis económico, para el generador piloto, para una inversión total de \$280000 US, se ha encontrado un VAN de \$ 809674, un TIR de 73% y un numero de periodo de recuperación de 06 años
- La principal conclusión, del estudio del hipotético parque eólico, es que, si se lograra un factor de performance de 0.5, un pago por reducción de emisiones de CO2 razonable y la inversión fuese del orden de 700 US\$/kW, alcanzaría un subsidio del orden de 10 US\$/MWh, para hacer rentable el proyecto a la tasa del 12% nominal (subsidio del orden del que se concede en la región a las energías renovables).
- Asimismo debe tenerse en cuenta que, si el nivel de inversión alcanzado fuera de 900 US\$/kW y el factor de performance de 0.4, aun contando con ingresos adicionales por reducción de emisiones de CO2 y por subsidio explícito, la rentabilidad del proyecto resulta de 7%.
- El análisis de sensibilidad muestra la influencia del factor de performance en los resultados obtenidos. El entorno de valores de 0,4 a 0,5 surge de considerar los registros del aerogenerador piloto de la UNS. Es importante destacar que, aunque los cambios tecnológicos tiendan a mejorar el desempeño de los generadores, un eventual cambio de localización que optimice la conexión a la red podría afectar el valor de factor de performance a obtener.
- Las barreras para el desarrollo de la energía eólica la constituyen: la falta de un marco legal y normativo; la falta de incentivos a la actividad en este campo; las políticas gubernamentales poco específicas; la poca Información y documentación diseminada: la reducida población profesional con las competencias necesarias para el desarrollo en este campo y; la poca promoción de esta tecnología en la población.

## 7.2 RECOMENDACIONES

De las consideraciones realizadas puede concluirse que las posibles líneas de acción a seguir serían:

- Generar un marco legal y normativo de promoción de este tipo de energía
- Profundizar en la obtención de ofertas firmes de proveedores, para verificar si es factible un nivel de costos de aerogeneradores del orden de 700 US\$/kW.
- Avanzar, con apoyo especializado externo, en la realización de ensayos y actualización de estudios, para la selección de un sitio que optimice tanto las características de viento como los costos conexos, y cuyo factor de performance no sea muy inferior a 0.5.
- Realizar gestiones con el Poder Ejecutivo, con el fin de obtener subsidios no menores a 10 US\$/MWh a la energía eólica generada, así como gestiones con organismos internacionales para analizar la factibilidad y los procedimientos de recibir un pago por reducción de emisiones.
- Crear un plan nacional de explotación de energía eólica que incentive la participación del sector privado.
- Fortalecer las instituciones que trabajen y promuevan el uso de la energía eólica otorgándole los recursos necesarios.
- Promover la formación de profesionales capaces de asumir estos retos de desarrollo en las diferentes regiones del país.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADINELSA. (2004). *Informe Técnico Central Piloto Malabrigo*. Lima.
- AEE. (2011). *Eolica. Asociacion empresarial eólica*, 143.
- Alvarez, N. (2009). *Proyecto de diseño, construcción y Explotación de un Parque Eólico*. Madrid.
- Avila, D. A. (2010). Coste del kWh eólico generado en Cuba, a partir de datos de viento de una region de buenos potenciales eólicos. *Ingeniería Mecánica*, 38-45.
- Baldovino, E. (2007). *Propuesta estrategica para el desarrollo de la Energía Eolica en el Perú*. Lima.
- Bayas, L. J. (2009). La tarifa horaria en el Ecuador como incentivo de eficiencia energetica. *revista politecnica*, 68.
- Bayón, .. C. (2009). *Diseño de un parque eólico de 6MW*. la coruña.
- Caballero, A. (2009). *Innovaciones en las guías metodologicas para los planes y tesis de maestria y doctorado*. Lima: Alen Caro.
- Cataldo, J. N. (2006). Metodología de evaluación del potencial eólico para la instalación de Aerogeneradores en plantas industriales y analisis de la sensibilidad de la factibilidad. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 6-46.
- Ciudadania y valores . (2010). *Energias renovables America Latina* . Madrid.
- Coronado, J. (2010). <http://cidt.files.wordpress.com/2010/02/apeger-juan-coronado-energia-eolica-en-la-matriz-electrica-del-peru.pdf>. Recuperado el 20 de setiembre de 2012, de <http://cidt.files.wordpress.com/2010/02/apeger-juan-coronado-energia-eolica-en-la-matriz-electrica-del-peru.pdf>
- Escudero, L. (2004). *Manual de Energía Eólica*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Fernandez, P. (2007). *Energia Eolica*. Cantabria: Departamento de ingenieria electrica y energetica.
- FONAM. (2007). Modelo de cálculo del factor de emisiones CO2 de la red eléctrica Peruana. *Fonam*.
- Gamio, P. (2010). Matriz Energetica en el Perú y Energias Revovables. *Fundación Friedrich Ebert*, 41.
- Gomez, M. (2009). *Determinación de la Capacidad Máxima de Generación Eólica en el SEIN*. Italia: Esc.
- Gonzales, M. M. (2006). Potencial de aprovechamiento de la Energia Eolica para la Generación de energia electrica en zonas rurales de Mexico. *Interciencia* , 240-245.
- Gonzales, S. (1998). *Aerogeneración una fuente energetica competitiva*. España: ISBN.

- Group, T. B. (2011). Evolución tecnológica y prospectiva de costes de las energías renovables. *IDAE*, 232.
- Hernandez, Q. F. (2011). Evaluación del potencial Eólico para la generación de Energía Eléctrica en el estado de Veracruz México. 7.
- Lysen, E. (1982). *Introduction to Wind Energy*. The Netherlands : SWD.
- Maldonado, D. (2008). *Ubicación de un Parque de Energía Eólica en la Costa Ecuatoriana*. Quito.
- Ministerio de Energía y Minas . (2009). *Plan Referencial el Uso Eficiente de la Energía* . Lima: MEM.
- Ministerio de Energía y Minas. (2008). *Atlas Eólico del Perú*. Lima.
- Miranda, G. (2008). *Estudio y planificación de un parque Eólico*. Madrid.
- Miranda, J. (2008). *Estudio y Planificación de un Parque Eólico*. Madrid.
- Montgomery, D. R. (2005). *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. Mexico: Limusa.
- Mosto, P. I. (2001). *Evaluación económica de un Parque Eólico de 20 MW*. Uruguay.
- Muciño, D. (2009). *Evaluación del Recurso Eólico en Ciudad Universitaria*. Mexico.
- Oliva, R. J. (2009). Consideraciones de Diseño para un Parque Eólico Piloto en Puerto San Julian, Santa Cruz. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 8.
- ondarza, R. (2011). *Salvemos la tierra*. Mexico: trillas.
- Organización Latinoamericana de Energía. (2007). Eficiencia Energética: recurso no aprovechado. 25.
- P. Box, G. S. (2008). *Estadística para investigadores*. España: Reverte.
- Pazmiño, M. R. (2007). Medición del Potencial Eólico para Construcción del Futuro parque eólico en el campus Prosperina. *ESPOL*, 123-130.
- The Boston Consulting Group. (2003). Nuevos vientos para el desarrollo sostenible. *Plataforma empresarial eólica*, 38.
- Velasquez, J. (2010). Parque Eólicos como Proyectos de Inversión/Experiencia en el Perú. *ADINELSA*.
- Villarubia, M. (2012). *Ingeniería de la energía Eólica*. Barcelona : Marcombo.

# ANEXOS