



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TECNICA DE EDUCACION PARA EL
DESARROLLO

PROYECTO DE TITULACION PREVIO A LA OBTENCION DEL
TITULO DE INGENIERO EN ELECTRONICA EN
AUTOMATISMO Y CONTROL.

TEMA:

**“Generación de energía eléctrica mediante recurso eólico para
el Centro Nacional de Investigaciones Marinas (CENAIM)”.**

ALUMNO:

DIEGO FABRICIO MEJIA VITERI

DIRECTOR:

MSc. EFREN HERRERA

Guayaquil-Ecuador

2014



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TECNICA DE EDUCACION PARA EL
DESARROLLO

PROYECTO DE TITULACION PREVIO A LA OBTENCION DEL
TITULO DE INGENIERO EN ELECTRONICA EN AUTOMATISMO
Y CONTROL.

DECLARACION DE RESPONSABILIDAD

Yo, **DIEGO FABRICIO MEJIA VITERI**

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación “**Generación de energía eléctrica mediante recurso eólico para el Centro Nacional de Investigaciones Marinas (CENAIM)**”. Previa a la obtención del Título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de paginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del trabajo de titulación refererido.

Guayaquil, al 1 de septiembre del año 2014

EL AUTOR(A)

Diego Fabricio Mejia Viteri



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TECNICA DE EDUCACION PARA EL
DESARROLLO

PROYECTO DE TITULACION PREVIO A LA OBTENCION DEL
TITULO DE INGENIERO EN ELECTRONICA EN AUTOMATISMO
Y CONTROL.

AUTORIZACION

Yo, Diego Fabricio Mejia Viteri

Autorizo a la Universidad Católica de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Generación de energía eléctrica mediante recurso eólico para el Centro Nacional de Investigaciones Marinas (CENAIM)”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, el 1 de Septiembre de año 2104

AUTOR

Diego Fabricio Mejia Viteri



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TECNICA DE EDUCACION PARA EL
DESARROLLO

PROYECTO DE TITULACION PREVIO A LA OBTENCION DEL
TITULO DE INGENIERO EN ELECTRONICA EN AUTOMATISMO
Y CONTROL.

CALIFICACION

MSc. Efrén Herrera

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios Todopoderoso, por darme el valor para enfrentar las dificultades en el camino para alcanzar este éxito, el valor para superarlas y la humildad para aceptar el resultado.

A mis padres por ser mi inspiración y mi luz en la vida, ellos sacrificaron mucho para poder estar yo aquí.

A mis hermanos por ser siempre mi apoyo cuando más los necesite.

A todas las personas que gracias a su ayuda me ayudaron para seguir adelante.

DEDICATORIA

A DIOS por permitir culminar con éxito mi carrera.

A mis padres por ser personas maravillosas que supieron guiarme y enseñarme que nada es imposible con dedicación y esfuerzo todo lo que nos proponemos lo podemos lograr

A mis hermanos, gracias muchachos por tirar hacia adelante junto conmigo.

Amigos muchos de los cuales siempre recuerdo con cariño

A mis profesores de la carrera que supieron transmitir sus sabias enseñanzas hacia nosotros los alumnos.

RESUMEN

Este trabajo contiene la investigación de cuanto recurso eólico, disponemos en la península de Santa Elena, para generar Energía Eléctrica.

Nos enfocamos en el CENAIM más específicamente en el laboratorio de fitoplancton el cual tiene un consumo promedio de 5,52 KW.

Por lo cual utilizamos los datos recabados de fuentes como:

Atlas eólico del Ecuador

INOCAR (Instituto Nacional Oceanográfico de la Armada)

A través de estos datos vamos a determinar el mejor modelo de aerogenerador para obtener los mayores beneficios en cuanto a generación de energía eléctrica.

ABSTRACT

Is this the work of research wind resource how much we make at the Peninsula de Santa Elena create electrical energy.

We will focus more specifically on the location of the CENAIM in the lab of phytoplankton, power installed is the 5,52 KW. This load is entirely composing of lamps for lightning-

To make the determination of the wind resource, we have been based primarily on two sources.

Atlas Eolico Del Ecuador

INOCAR

Through the collected data we determined the most proper aero generators model to get the biggest profit as for generation of electric power.

Índice

1. Tema:.....	1
1.1. Introducción	1
1.3. Justificación	2
1.3. Planteamiento del problema	3
1.4 Hipótesis	6
1.5. Objetivos de la investigación.....	6
1.5.1. Objetivo General:.....	6
1.5.2. Objetivos específicos	6
1.6 Metodología.....	7
2. La formación del viento	8
2.1 Viento.	8
2.2 Circulación General.....	9
2.3 Regiones depresionarias y anticiclónicas	11
2.4 Influencia de los continentes	12
2.5 Fuerza de Coriolis.....	14
2.6 Dirección y velocidad del Viento.....	15
2.7 La velocidad de los vientos.	16
2.8 Medición del viento.....	17
2.9 Vientos en las costas ecuatorianas.....	18
2.9.1 En el día.....	18
2.9.2 En la noche	19
2.10 Vientos predominantes	20
3. Energía Eólica	21
3.1 Calculo del viento	23
3.2 Perfil vertical de viento	26
3.3 Ley de Betz.....	27

3.4 Distribución de Weibull.....	30
3.5 Producción de energía en el Ecuador.....	32
3.6 Proyectos de generación hidroeléctricos.....	33
3.7 Proyectos de generación termoeléctricos	33
3.8 Energía eólica en el Ecuador	35
3.9 Mapas y gráficos del viento en el Ecuador.....	37
3.10 Datos del viento en la ubicación del CENAIM	39
4. Equipos de Generación.....	43
4.1 Aerogeneradores de eje horizontal.	44
4.2 Aerogeneradores de eje vertical	45
4.3 Ventajas y desventajas en aerogeneradores según su eje.	46
4.4 Elección de aerogenerador	47
4.5 Análisis del aerogenerador elegido.....	49
4.6 Especificaciones del modelo AEOLOS-H 20 KW.....	51
4.7 Componentes del sistema del aerogenerador	53
4.7.1 Yaw Motor (Sistema de sobre velocidad)	53
4.7.2 Brake (Freno mecánico)	53
4.7.3 Hidraulic Motor (Motor hidráulico)	54
4.7.8 Rotor.....	54
4.7.9 Generador	54
4.8 Sistemas de control.....	54
4.9 Costos	55
5. Conclusiones y recomendaciones.....	57
5.1 Conclusiones.....	57
5.2 Recomendaciones.....	58
Bibliografía	59
Anexos	61

Índice de Figuras

Figura 2.1	El viento	8
Figura 2.2	Circulación del Viento	10
Figura 2.3	Depresionarias y anticiclónicas	12
Figura 2.4	Mapa anticiclones y depresiones enero a junio	13
Figura 2.5	Mapa anticiclones y depresiones julio a diciembre	13
Figura 2.6	Fuerza de Coriolis	15
Figura 2.7	Rosa de los vientos	15
Figura 2.8	Veleta Meteorológica	17
Figura 2.9	Anemómetro de cazoletas	18
Figura 2.10	Formación brisa marina	19
Figura 2.11	Brisa terrestre o terral.	20
Figura 2.12	Dirección y velocidad predominante en Sta. Elena	21
Figura 3.1	Flujo a través de un disco	24
Figura 3.2	Curva según Ley De Betz	30
Figura 3.3	Distribución de Weibull	31
Figura 3.4	Parque San Cristóbal	36
Figura 3.5	Parque Villanoco	36
Figura 3.6	Viento superficial	37

Figura 3.7	Velocidad media en Ecuador	38
Figura 3.8	Datos de potencia media, Santa Elena	39
Figura 3.9	Densidad de potencia Santa Elena	40
Figura 3.10	Velocidad de vientos, Enero 2014	40
Figura 3.11	Velocidad de vientos, Febrero 2014	41
Figura 3.12	Velocidades medidas y esperadas	42
Figura 4.1	Fuerzas que actúan sobre una pala.	44
Figura 4.2	Aerogenerador de eje Horizontal	45
Figura 4.3	Aerogenerador de eje Horizontal	46
Figura 4.4	Sistema hibrido de energía solar.	48
Figura 4.5	Curva de potencia vs velocidad	50
Figura 4.6	Curva de potencia vs velocidad	50
Figura 4.7	Aerogenerador AEOLOS-H 20 KW	52
Figura 4.8	Aerogenerador AEOLOS-H 20 KW	53
Figura 4.9	Control inteligente	54

Índice de Tablas

Tabla 1.1	Consumo del centro	5
Tabla 2.1	Escala de Beaufort	16
Tabla 3.1	Tabla de variaciones	26
Tabla 3.2	Tabla de Rugosidades	27
Tabla 3.3	Tabla de potencias instaladas fuente de generación	32
Tabla 3.4	Tabla de consumos de combustible para generación	35
Tabla 3.5	Velocidades de Enero a Julio	42
Tabla 4.1	Valor de maquinarias y equipos	55
Tabla 4.2	Valor de otros	56

1. Tema:

Generación de energía eléctrica mediante recurso eólico para el Centro Nacional de Investigaciones Marinas (CENAIM).

1.1. Introducción

En el año de 1990 se inauguró el Centro nacional de Investigaciones Marinas, con la finalidad de realizar estudios en diferentes campos de la biología marina con el fin de apoyar a la naciente industria de la acuicultura en el país. Este centro se encuentra ubicado en el Km. 40 de la vía “Ruta del Spondylus” a 5 m del mar contando con una excelente ubicación en lo que se refiere a dirección del viento que viene del mar. Basándonos en el atlas del viento del Ecuador elaborado por el MEER, establece que en el sector hay una media de la velocidad de 4.5 m/s, y utilizando equipos ofertados en el mercado internacional con tecnología para aprovechar las velocidades relativamente bajas dando una mayor eficiencia en lo que se refiere a generación eléctrica. Ya que la calidad de energía eléctrica suministrada por la empresa eléctrica es deficiente causando fallas de suministro de energía, lo cual significa que el centro deba producir su energía eléctrica mediante grupos electrógenos de combustión a diesel provocando las temidas emisiones de gases que afectan el medio ambiente, además de averías en los equipos en distintos laboratorios. Este estudio pretende demostrar que es posible generar la suficiente potencia eléctrica para alimentar uno de los principales laboratorios del centro como lo es el del cultivo de fitoplancton el cual mediante sistemas de iluminación cultiva distintas cepas de algas que sirven de alimento para las variadas especies que se cultivan y estudian en el centro.

1.2. Antecedentes

Siendo la energía eléctrica el motor y eje fundamental del desarrollo del país y coadyuvante principal del mejoramiento de la calidad de vida del ser humano, la generación de dicho recurso es vital. En el CENAIM hay presentes distintos tipos de sistemas tanto de cultivo como de apoyo para las diferentes especies que se estudian, todos estos son alimentados con energía eléctrica. Por lo tanto es de suma importancia asegurar su abastecimiento ya sea por la red comercial, generación basada en grupos electrógenos o también implementar un sistema de generación renovable y amigable con el ambiente.

1.3. Justificación

La falta de una energía eléctrica de calidad en el centro causa muchos problemas en la parte técnica del centro, por lo cual se plantea realizar este estudio para determinar la viabilidad de dicho proyecto, la utilización del recurso eólico para la generación de energía eléctrica mediante aerogeneradores de baja potencia con un alto rendimiento. Permitirá al centro disponer del suministro de energía, más confiable que el de la red pública.

Además de brindar un recurso de generación eléctrica más ecológico, del que posee el centro en cuanto a generación se refiere. Ya que el centro dispone de 3 grupos electrógenos con una potencia total de 120 KW/h, (dos de trabajo continuo y uno de respaldo), dando un dato aproximado de consumo de 0,29 litros de diésel por KW/h producido. Desde el punto de vista ambiental se lograra bajar el consumo de combustible a la hora de generar energía eléctrica permitiendo bajar las emanaciones de gases toxico que se producen al quemar diésel.

1.3. Planteamiento del problema

La calidad de suministro eléctrico proporcionado por la Empresa Eléctrica de Santa Elena en las instalaciones del CENAIM, es bastante inestable en el mejor de los casos. En lo que va del transcurso del año 2014 se han registrado 138 cortes de energía ya sea por variación del voltaje, hasta corte total del fluido eléctrico. Dando como consecuencia que el CENAIM genere su propia energía por medio de grupos electrógenos a diésel. Estos equipos suministran la energía para los distintos laboratorios pero presentan el inconveniente de que al prender los distintos equipos trifásicos, estos provocan picos de voltaje y corrientes causando averías a distintos equipos ya sea de laboratorio como a otros equipos menos sensibles como los antes mencionados entre los cuales anotamos los de iluminación.

En el centro se encuentran ubicados distintos laboratorios para realizar investigaciones de carácter científico orientados a diversas líneas de cultivos que existen en nuestro medio, entre ellas vale destacar los siguientes campos de investigación:

Laboratorios de cultivo de camarón, tanto en la etapa de maduración y cría.

Laboratorios para cultivos de ostras, para la etapa de maduración.

Laboratorios de análisis técnicos tanto para las muestras biológicas de animales y para el medio ambiente donde se desarrollan.

Además de esto tienen un laboratorio exclusivo para cultivos de fitoplancton el cual es la base para la alimentación de los cultivos y líneas de investigación que se desarrollan en el centro. Es en este laboratorio, nos vamos a basar para realizar el diseño de cargas que pueden ser alimentadas mediante

aerogeneradores. Este laboratorio debe de mantenerse con un margen de iluminación de 3000 lúmenes para el cultivo de cepas de algas, los cuales se consiguen empleando lámparas de tipo fluorescentes de potencia de 40 y 20 vatios, los cuales funcionan 24 horas al día y 365 días al año, teniendo en el centro una vida útil de aproximadamente 4 meses cuando lo normal sería de un año. Dando que deban ser reemplazadas más a menudo debido a la calidad de energía eléctrica.

El número de lámparas en este laboratorio son de:

44 paneles de lámparas de 2x40 vatios, una carga de 3520 vatios.

20 paneles de lámparas de 2x20 vatios, una carga de 800 vatios.

30 paneles de lámparas de 1x40 vatios, una carga de 1200 vatios.

Dando un total de 5520 vatios de potencia en lo que iluminación se refiere para el cultivo de diferentes cepas de algas, que sirven tanto para el consumo interno y para vender a distintos laboratorios ubicados en la provincia de Santa Elena.

Realizando los respectivos cálculos de consumo de potencia para este laboratorio nos arroja un consumo de 3974,4 KW/h al mes los cuales representa aproximadamente el 9 y el 10% del consumo total del centro.

A continuación presentamos en mayor detalle el consumo del centro en KW/h del CENAIM, por mes a partir del 2008 fecha en la cual paso a formar parte de la ESPOL.

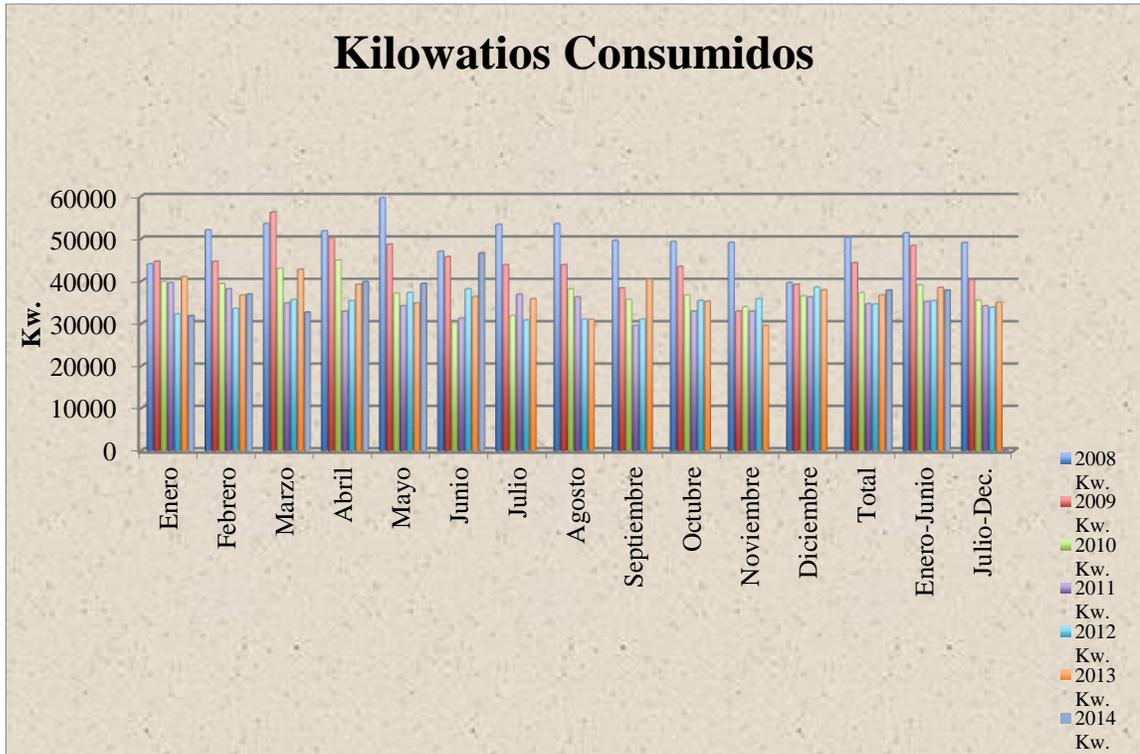


Tabla 1.1 Consumo del centro

Fuente: CENAIM, Informe anual de operaciones, 2014

Una vez teniendo los datos estimados del centro en cuanto al gasto de energía eléctrica se plantea la posibilidad de generar su propia electricidad mediante el recurso eólico disponible en las costas ecuatorianas y planear en base a distintos modelos y tecnología de aerogeneradores el mejor aprovechamiento del recurso eólico en el medio y de esta manera poder dar una alternativa al suministro eléctrico. Ya que el mismo es bastante deficiente de parte de la empresa eléctrica local, causando problemas en este y otros laboratorios.

1.4 Hipótesis

La cantidad de energía eléctrica que se puede producir mediante aerogeneradores accionados por la fuerza del viento es suficiente para dotar de fluido eléctrico a uno de los laboratorios en el CENAIM, en forma estable y rentable.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo General:

Generar energía eléctrica mediante aerogeneradores de baja potencia y su aprovechamiento eficiente para el laboratorio de cultivo de Fitoplancton del CENAIM, por medio de sistemas automatizados.

1.5.2. Objetivos específicos

- 1.- Investigar la cantidad de recurso eólico que se dispone en la localización península de Santa Elena, para su aprovechamiento en la generación de energía eléctrica para el CENAIM.
- 2.-Determinar el número de aerogeneradores necesarios para dotar de energía eléctrica a uno de los laboratorios del CENAIM
- 3.- Diseñar el sistema eléctrico mediante recursos automáticos para el manejo de las cargas, del laboratorio de cultivo de Fitoplancton del CENAIM.

1.6 Metodología

La metodología a emplearse en este proyecto va ser basada en datos obtenidos a través de la investigación documentada por medio de bibliografía, hemerografía y la archivística, que hay acerca de las velocidades relativas del viento existente en la costa ecuatoriana, estos datos van a ser tomados del Atlas Eólico del Ecuador, el cual presenta las velocidades del viento en la todo el Ecuador para el aprovechamiento de generación de energía eléctrica. Además de los datos tomados de la página web del INOCAR, en lo que se refiere a los promedios mensuales de velocidad del viento presente en la zona de la provincia de Santa Elena. En los cuales consta de datos promedios mensuales de la velocidad del viento y su dirección. A toda esta información obtenida a través de la investigación documental a través de la recopilación de datos velocidad del viento, gasto de energía del laboratorio, cargas instaladas.

2. La formación del viento

2.1 Viento.

Es el movimiento del aire, la ciencia que estudia este movimiento de masas de aire se le denomina Meteorología, la cual estudia sus movimientos horizontales como verticales. Según Nimbus Weather Services. (s.f.) El viento (cap. 7). Recuperado el 31 de agosto de 2014, de <http://nimbus.com.uy/weather/pdf/cap7.pdf>, los grandes movimientos verticales son los que caracterizan a los fenómenos atmosféricos locales, como son la formación de nubes de tormenta, las corrientes de aire etc.



Figura 2.1 El viento

Fuente:<http://erenovable.com/el-viento-podria-abastecer-a-la-decima-parte-del-mundo/>

El desplazamiento del aire es provocado por las diferencias de temperaturas existentes a lo largo de la atmosfera de la tierra, ya que en las diferentes zonas

de la tierra se produce un desigual calentamiento. Las grandes masas de aire más caliente tiende a ascender, y el espacio que ocupaban tiende hacer ocupado por una igual cantidad de aire más frío que el que estaba anteriormente, este aire es mucho más denso que la masa de aire caliente.

Según Nimbus Weather Services. (s.f.) El viento (cap. 7). Recuperado el 31 de agosto de 2014, de <http://nimbus.com.uy/weather/pdf/cap7.pdf>, se conoce como viento a la corriente de aire que se desplaza en sentido horizontal, y a los desplazamientos de aire en sentido vertical se los denomina como corriente de convección. El viento depende de la distribución y evolución de los centros isobáricos; se mueve de los centros de alta presión hacia los de baja presión, estas dos condiciones toman los siguientes nombres:

Alta presión, anticiclones.

Baja presión, depresiones.

2.2 Circulación General

El aire presente en la atmósfera soporta unos cambios en su circulación de carácter general. Lo que determina la estacionalidad, climatología y evolución en los diversos sucesos meteorológicos a lo largo de la tierra.

La radiación solar, es la energía calorífica recibida del sol, esta atraviesa el gas atmosférico apenas calentándolo; en cambio calienta la superficie terrestre la cual por efecto de disipación acaba transfiriéndolo al aire atmosférico que está en contacto directo con ella. Se explica este fenómeno ya que tiene una enorme importancia para entender los procesos de circulación de aire que se estudia en la meteorología.

A pesar de que toda la tierra recibe la radiación solar, los polos que se encuentran en los extremos de la tierra no reciben igual cantidad de radiación que las zonas ecuatoriales del planeta. Por lo cual la superficie de la tierra no disipa de manera uniforme la cantidad de calor al aire que tiene sobre ella.

Según Nimbus Weather Services. (s.f.) El viento (cap. 7). Recuperado el 31 de agosto de 2014, de <http://nimbus.com.uy/weather/pdf/cap7.pdf>, el fenómeno de no percibir igual cantidad de radiación solar en toda la superficie de la tierra, da como resultado que se den intercambios térmicos entre las zonas más calientes y las más frías de grandes masas de aire. El aire caliente se desplaza hacia los polos y el más frío hacia el ecuador. Este intercambio de masas de aire establece los principios de circulación general del viento dando su velocidad y dirección del mismo.

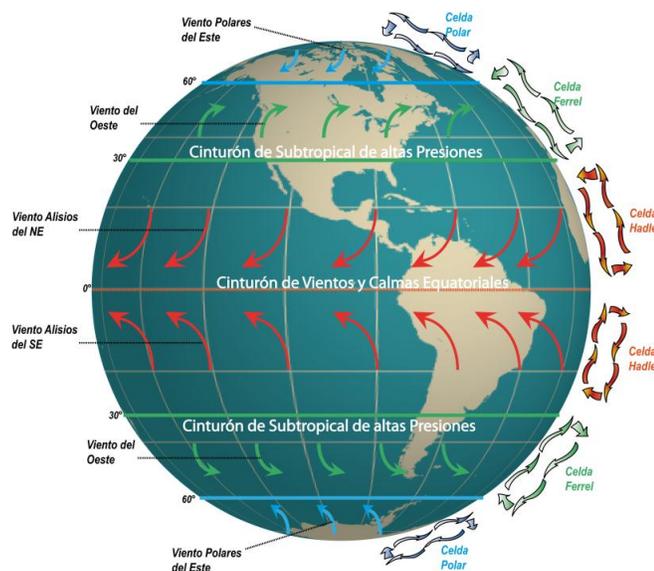


Figura 2.2 Circulación del Viento

Fuente: <http://escritura.proyectolatin.org/introduccion-al-estudio-de-fuentes-renovables-de-energia/formacion-y-circulacion-del-viento/>

2.3 Regiones depresionarias y anticiclónicas

Según Nimbus Weather Services. (s.f.) El viento (cap. 7). Recuperado el 31 de agosto de 2014, de <http://nimbus.com.uy/weather/pdf/cap7.pdf>, el aire presente en la zona ecuatorial es más ligero y tiende a elevarse, al subir se dirige por elevación hacia los polos del globo terráqueo. Al producirse este desplazamientos hacia los polos sufre la acción de la fuerza de Coriolis, esta fuerza genera una desviación hacia la derecha en el hemisferio Norte y hacia la izquierda en el hemisferio Sur.

Una vez que el aire se enfría este tiende a caer, ya en la superficie de la esfera terrestre vuelve al ecuador absorbido por las bajas presiones que se generan en la zona al ascender el aire caliente por el efecto de la dispersión de calor de la superficie. Durante este trayecto el aire vuelve a sufrir una desviación por la fuerza de Coriolis, de forma que al llegar a la zona subtropical es ya un viento del Noroeste en el hemisferio Norte, y del suroeste en el hemisferio Sur. A estos vientos son los denominados alisios.

En los polos tiene el efecto contrario, el aire frío y más denso por lo cual tiende a ser más pesado que el caliente se mueve desde la zona polar a bajas alturas (ras del suelo) en dirección hacia el ecuador. La fuerza de Coriolis, le da una desviación la noroeste en el Norte y hacia el suroeste en el Sur. Al descender de latitud el aire se calienta y vuelve a ascender, retornando a las zonas polares por arriba, absorbido por la depresión en altitud que genera el aire. Al llegar al polo este baja de temperatura y desciende para de esta manera cerrar el ciclo.

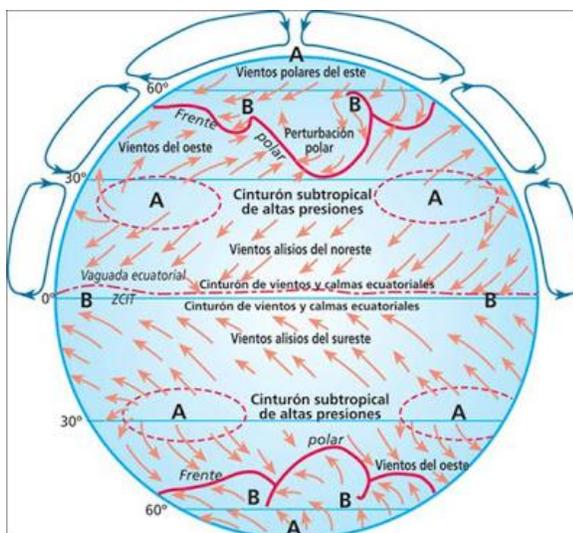


Figura 2.3 Depresionarias y anticiclónicas

Fuente: <http://cambioclimaticoenergia.blogspot.com/2010/12/la-circulacion-atmosferica-general.html>

2.4 Influencia de los continentes

Según Nimbus Weather Services. (s.f.) El viento (cap. 7). Recuperado el 31 de agosto de 2014, de <http://nimbus.com.uy/weather/pdf/cap7.pdf>, debido a la composición de la esfera terrestre, es decir la superficie de la tierra no tiene una superficie homogénea, esto significa que hay grandes masas de tierra y agua las cuales se calientan y enfrían de maneras diferentes. La mayor cantidad de las grandes masas continentales están presentes en el hemisferio Norte y en el hemisferio sur tienen mayor extensión de masas oceánicas. Por lo cual el modelo de circulación del aire experimenta variaciones en cada hemisferio. Además de que las respectivas extensiones, tanto de mar y tierra que hay en

cada hemisferio no tienen una distribución uniforme, dando como resultado que la distribución de las depresiones y anticiclones no sea igualada.

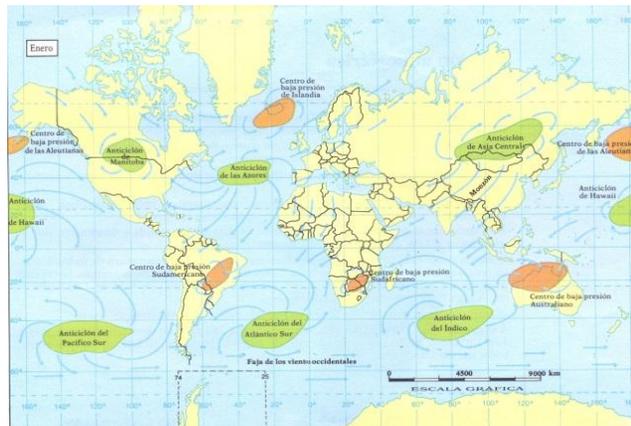


Figura 2.4 Mapa mundial de anticiclones y depresiones en enero a junio

Fuente: <http://iessonferrerdgh1e07.blogspot.com/2012/11/ccss-1-ud-5-tiempo-y-clima.html>

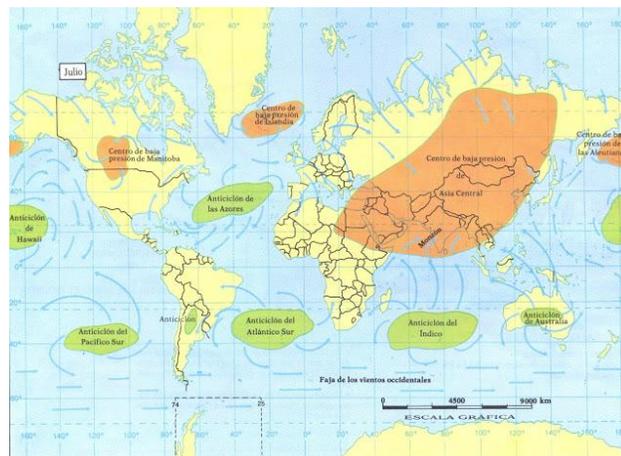


Figura 2.5: Mapa mundial de anticiclones y depresiones de julio a diciembre

Fuente: <http://iessonferrerdgh1e07.blogspot.com/2012/11/ccss-1-ud-5-tiempo-y-clima.html>

En el verano (enero para el hemisferio Sur, y julio para el hemisferio norte) la zonas anticiclónicas tiende a interrumpirse en los continentes debido a los a los calentamientos dados por la alta absorción de la radiación solar de la tierra que genera la aparición de depresiones denominadas térmicas. Las depresiones suramericana, sudafricana y australiana en el verano austral, la centroasiática y norteamericana, en el boreal.

El caso contrario para el invierno (enero para el hemisferio Norte, y julio para el Sur) la zona anticiclónica presenta mayor fuerza sobre los continentes al bajar la temperatura del aire sobre los mismos que en los océanos.

2.5 Fuerza de Coriolis

Según Nimbus Weather Services. (s.f.) El viento (cap. 7). Recuperado el 31 de agosto de 2014, de <http://nimbus.com.uy/weather/pdf/cap7.pdf>, la fuerza, que influye en todos los fenómenos, de translación que se realizan sobre la superficie de la tierra, se denomina Coriolis.

Esta fuerza es producida por el efecto del movimiento de rotación que realiza la tierra sobre su propio eje, causando que, en el hemisferio Sur, desvíe hacia el Este toda partícula en movimiento de Norte a Sur y hacia el Oeste a las que hacen de Sur a Norte.

Por lo tanto se concluye que dicha fuerza en el hemisferio Sur, desvié hacia la izquierda los movimientos de las masas de agua de aire y agua. Por el contrario en el hemisferio Norte se produce el efecto inverso, la desviación es hacia la derecha.

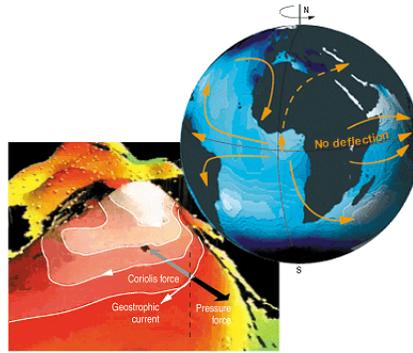


Figura 2.6 Fuerza de Coriolis

Fuente: <http://www.aviso.altimetry.fr/es/multimedia/outreach-material/posters-and-leaflets/la-observacion-de-los-oceanos-desde-el-espacio/clima-y-corrientes/corrientes/index.html>

2.6 Dirección y velocidad del Viento

Según Nimbus Weather Services. (s.f.) El viento (cap. 7). Recuperado el 31 de agosto de 2014, de <http://nimbus.com.uy/weather/pdf/cap7.pdf>, es el punto del horizonte del observador desde el cual sopla el movimiento del aire. En la actualidad, a nivel internacional se utiliza la llamada rosa del viento que es una figura dividida en 360°. Como se indica en la siguiente fig.

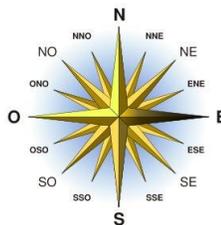


Figura 2.7 Rosa de los vientos

Fuente: <http://geografia.laguia2000.com/general/rosa-de-los-vientos>

2.7 La velocidad de los vientos.

Medida mediante la escala de Beaufort y en nudos, dicha escala está comprendida de 12 grados de intensidad del viento. Esta escala es aceptada ampliamente aunque varía de acuerdo en función del tipo de aguas donde se manifiesta el viento. Con la llegada de formas más modernas para realizar las mediciones de la variable de la velocidad, esta escala ha recibido una mayor exactitud en sus escalas.

Número Beaufort	Velocidad (km/h)	Denominación
0	<1	Calma
1	2 –5	Ventolina
2	6 –11	Flojito(Brisa muydébil)
3	12 –19	Flojo(Brisa débil)
4	20 –28	Bonancible(Brisamoderada)
5	29 –38	Fresquito(Brisafresca)
6	39 –49	Fresco(Brisafuerte)
7	50 –61	Frescachón(Viento fuerte)
8	62 –74	Temporal(Vientoduro)
9	75 –88	Temporalfuerte(Muyduro)
10	89 -102	Temporalduro(Temporal)
11	103 –117	Temporal muyduro(Borrasca)
12	>118	Temporalhuracanado (Huracán)

Tabla 2.1 Escala de Beaufort

Fuente: MEER, Atlas Eólico del Ecuador, 2013

2.8 Medición del viento

La herramienta utilizada para realizar las mediciones en lo que respecta la a su dirección es llamada veleta, es principalmente una guía, la cual se orienta en dirección que sopla el viento.



Figura 2.8 Veleta Meteorológica

Fuente: MEER, Atlas Eólico del Ecuador, 2013

El viento considerado matemáticamente es un vector de dos componentes, tanto vertical (eje y), horizontal (eje x), para en la práctica más se utilizan sus coordenadas polares, (modulo y dirección), estas se obtienen a través de una herramienta denominada anemómetro, el cual sus lecturas vienen dadas en el sistema internacional (m/s), este está compuesto de palas que al recibir la corriente de aire este provoca que gire para de esta manera por distintos medios realice la medición de la velocidad del viento.



Figura 2.9 Anemómetro de cazoletas

Fuente: MEER, Atlas Eólico del Ecuador, 2013

2.9 Vientos en las costas ecuatorianas.

El proceso de formación de brisas en la costa ecuatoriana se produce por el desfase que hay entre el proceso de calentamiento del mar y el de la tierra provocada por la radiación solar.

2.9.1 En el día

Según Ambientum.com. (s.f.). Enciclopedia Medioambiental (Atmosfera), La circulación general de la atmosfera, Recuperado el 10 de agosto de 2014 de http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/atmosfera/La-circulacion-general-de-la-atmosfera.asp a medida que el sol va despuntando al amanecer va calentando más rápido la tierra que el mar. Ha medida que esto sucede el aire en la masa continental tiende a calentarse más rápido que el del mar que tiene una temperatura más baja. Por lo tanto se forma un gradiente térmico, que da paso a un gradiente de presión el cual causa el desplazamiento

del aire de la zona de mayor presión (el del mar), al de menor presión (la masa continental). De esta manera se forma un viento de mar en dirección a tierra, llamado brisa marina o virazón.

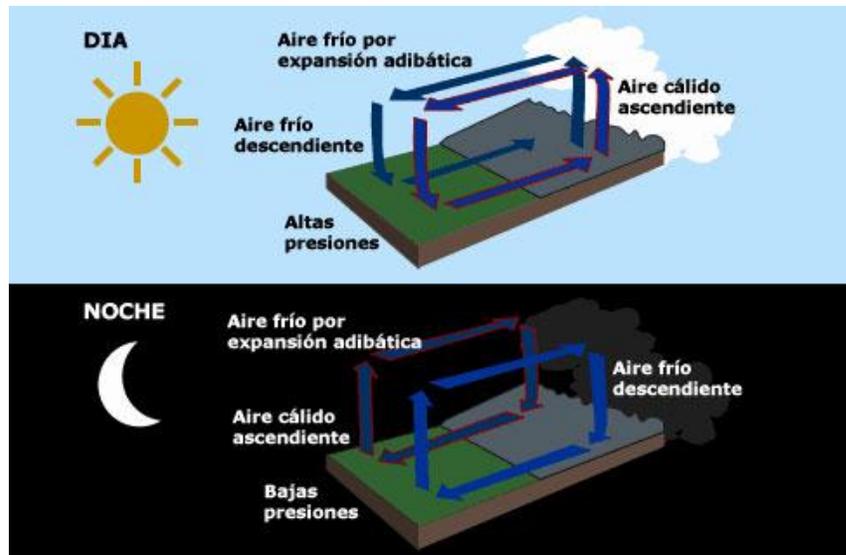


Figura 2.10 Formación brisa marina

http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/atmosfera/La-circulacion-general-de-la-atmosfera.asp

2.9.2 En la noche

Con la caída del sol, llegada de la noche. La radiación solar baja afectando de esta manera el calentamiento tanto del mar como de la masa continental, este provoca una caída en la temperatura de ambos cuerpos, tanto el mar como la tierra, pero el mar conserva por mayor tiempo la temperatura al contrario de la tierra, la cual pierde su temperatura con mayor rapidez lo que provoca el efecto de gradiente térmica, y por ende el de presión con lo cual al igual que en el día

provoca una circulación de aire pero en sentido inverso. La cual adquiere el nombre de brisa terrestre o terral.

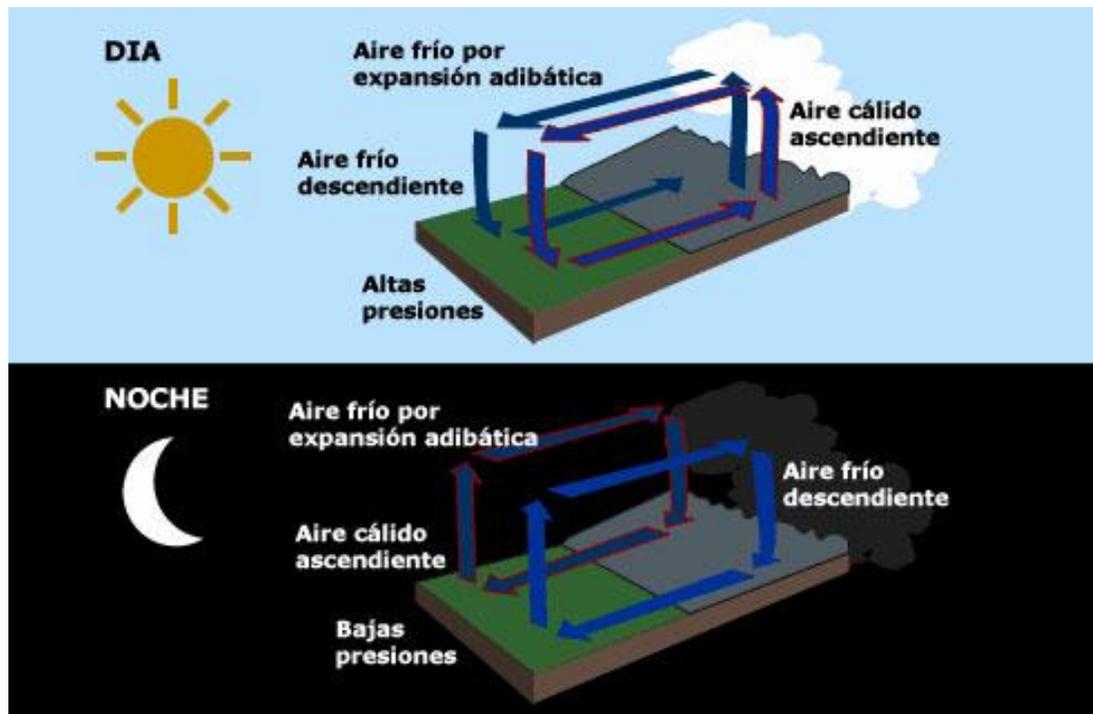


Figura 2.11 Brisa terrestre o terral.

Fuente: http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/atmosfera/La-circulacion-general-de-la-atmosfera.asp

2.10 Vientos predominantes

Basándonos en el estudio realizado por Gálvez y Regalado (2007) acerca de las condiciones climáticas de la costa ecuatoriana, los vientos predominantes en la zona de La libertad es de vientos de intensidad promedio 4 m/s en la dirección NW.

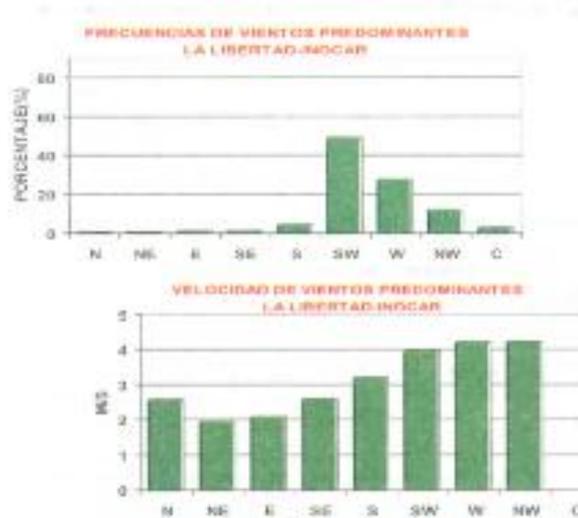


Figura 3.4. Dirección y velocidad del viento predominante en La Libertad

Figura 2.12 Dirección y velocidad predominante en la Península de Santa Elena.

Fuente: Gálvez, Regalado; Acta oceanográfica del Pacífico, 2007

3. Energía Eólica

Como estudiamos anteriormente el viento se origina por la diferencias de presión creadas a partir de las radiaciones solares; estudiadas en el anterior capítulo.

Del movimiento del desplazamiento de las grandes masas de aire podemos obtener energía cinética la cual a su vez empleando las maquinas adecuadas la transformamos en energía mecánica con lo cual se pueda generar electricidad.

Esta energía obtenida por el desplazamiento del aire se la denomina como energía eólica. Para aprovechar la energía eólica es de vital importancia

conocer las distintas variables diurnas, nocturnas y estacionales de los vientos, además de la altura de la torre en que se va a instalar el aerogenerador. Además de los datos promedios para poder obtener cálculos de las potencia que se pueden generar mediante este recurso.

Eólico viene de la palabra en latín Aeolicus, que se deriva de Eolo, deidad griega de los vientos. Desde el principio de la civilización como tal, esta fuerza de la naturaleza se ha aprovechado para la navegación, por medio de los barcos con velas o para mover maquinarias con molinos de vientos.

La energía eólica, en los tiempos modernos es aprovechada principalmente para generar electricidad mediante maquinarias conocidas como aerogeneradores. A comienzos del siglo 21 la necesidad de encontrar nuevas formas de energías que no estén basadas en recursos no renovables como lo son:

- ✓ Los combustibles de origen fósil (Petróleo y sus derivados)
- ✓ Carbón
- ✓ Energía Nuclear

A nivel mundial, la producción de energía eléctrica que está basada en la energía eólica es solamente el 1% a escala global, de los cuales los países que se basan mayormente en este elemento para abastecer su consumo de electricidad son:

1. Dinamarca con el 19%
2. España con 9%
3. Alemania e Irlanda ambos con el 6%

Para nombrar alguno de los países, líderes en estas innovaciones para el consumo de electricidad, que están aprovechando este recurso que es

abundante y prácticamente inagotable en la naturaleza, al contrario de las termoeléctricas que utilizan recursos no renovables.

El desplazamiento de grandes masas de aire, es aprovechado mediante el uso de máquinas eólicas (aeromotores), capaces de transformar la energía del viento que se produce por su desplazamiento en energía mecánica mediante la rotación, ya sea para accionar en forma directa las maquinas en distintos procesos o para la producción de energía eléctrica. Para producir electricidad se utiliza un sistema de conversión, un alternador eléctrico con sus sistemas de control y de conexión a la red, a este sistema de maquinarias acopladas se le conoce como aerogeneradores.

Aunque este recurso es abundante en la naturaleza, su baja densidad, es decir energía eólica por unidad de superficie, tiene inconvenientes. Este detalle conlleva que para producir energía suficiente debemos utilizar un gran número de máquinas. El ejemplo más claro de este inconveniente es de los parques eólicos existente en el mundo. Los parques eólicos reciben este nombre por el número de maquinarias instaladas en un mismo lugar para producir una determinada potencia y conectadas a una red local o nacional.

En estos parques las maquinarias instaladas son sistemas que comprenden grande hélices accionadas por el viento y mediante un sistema mecánico se transmite esta energía mecánica hacia a un alternador.

3.1 Calculo del viento

El viento puede aprovecharse para la producción de electricidad, por la energía cinética que contiene.

Para realizar un cálculo tomemos un flujo de viento con una velocidad U determinada que pasa por un volumen de longitud diferenciada y sección transversal.



Figura 4. Flujo a través de un disco

El flujo que atraviesa el disco por unidad de tiempo, dm/dt , según la ecuación de continuidad es:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho V)}{dt} = \rho A \frac{dx}{dt} = \rho A U , ,$$

Figura 3.1 Flujo a través de un disco

Fuente: MEER, Atlas Eólico del Ecuador, 2013

El flujo que atraviesa el disco por unidad de tiempo, dm/dt , según la ecuación de continuidad es:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho * V)}{dt} = \rho * A * \frac{dx}{dt} = \rho * A * U$$

Donde ρ es la densidad del aire. Por otra parte la potencia o energía cinética por unidad de tiempo será.

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = \frac{1}{2} U^2 dm/dt$$

Sustituyendo en la expresión anterior queda.

$$P = \frac{1}{2} \rho * AU^3$$

A continuación se define una nueva unidad de potencia por unidad de la sección transversal.

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho * AU^3$$

De estos resultados se extraen las siguientes conclusiones:

La densidad de potencia es proporcional a la densidad del aire, en general a mayor altitud menor la energía disponible con igual densidad de aire.

La energía que se puede extraer es directamente proporcional al área de barrido por el rotor.

La densidad de potencia es proporcional al cubo de la velocidad del viento.

Las unidades de la densidad de potencia son de potencia sobre unidad de superficie. En el sistema internacional la unidad es W/m²

A continuación se presenta una tabla de densidad, temperatura y presión con la altitud de una atmosfera estándar.

Tabla 2. Variación de la densidad, temperatura y presión con la altitud en una atmósfera estándar

Altitud (m)	Temperatura (°C)	Presión (hPa)	Densidad (kg/m³)
0	15.0	1013.2	1.225
100	14.3	1001.3	1.213
200	13.7	989.5	1.202
300	13.0	977.73	1.190
400	12.4	966.11	1.179
500	11.7	954.6	1.167
1000	8.5	898.7	1.112
2000	2.0	794.9	1.007
3000	-4.5	701.1	0.909
4000	-11.0	616.4	0.819
5000	-17.5	540.2	0.736

Tabla 3.1 Tabla de variaciones

Fuente: MEER, Atlas Eólico del Ecuador, MIEES, 2013

3.2 Perfil vertical de viento

Se entiende la variación de la velocidad del viento horizontal con la altura del suelo. Pero terrenos con orografía simple y en condiciones simples y en condiciones de estabilidad neutra, el perfil logarítmico proporciona una buena aproximación al perfil vertical.

$$V_2 = V_1 \frac{\ln\left(\frac{h_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_1}{z_0}\right)}$$

Donde V_1 , es la velocidad del viento a la altura h_1 , V_2 es la velocidad del viento a la altura h_2 y z_0 es la longitud de rugosidad (o rugosidad del terreno). El parámetro de rugosidad varía con el tipo de suelo, y refleja el hecho experimental e incluso intuitivo de la disminución de la velocidad horizontal del

viento a medida que nos aproximamos a la superficie se produce a ritmos diferentes según si estamos sobre el océano, una pradera, etc. A continuación tablas de terreno con diferente rugosidad.

Tabla 3. Clases y longitudes de rugosidad

Clase de rugosidad	Longitud de rugosidad z_0 (m)	Usos del suelo
0	0.0002	Superficie del agua en calma.
0.5	0.0024	Terreno abierto con superficie lisa: pistas de hormigón en los aeropuertos, césped cortado, etc.
1	0.03	Área agrícola abierta sin cercados ni setos y con edificios muy dispersos.
1.5	0.050	Terreno agrícola con algunas casas y cercados de hasta 8 m de altura separados por más de 1 km.
2	0.1	Terreno agrícola con algunas casas y cercados de hasta 8 m de altura separados por aproximadamente 500 m.
2.5	0.2	Terreno agrícola con varios árboles, arbustos y plantas, o cercados de hasta 8 m de altura separados por aproximadamente 250 m.
3	0.4	Ciudades, villas, terreno agrícola con muchos cercados o muy altos, bosques.
3.5	0.6	Grandes ciudades con edificios altos.
4	1.0	Ciudades muy grandes con edificios altos y rascacielos.

Tabla 3.2Tabla de Rugosidades

Fuente: MEER, Atlas Eólico del Ecuador, 2013

3.3 Ley de Betz

Si se intenta extraer con un aerogenerador la energía del viento, se verá que su velocidad disminuye a traspasar la máquina, dado que el rotor de la turbina eólica debe frenar el viento para transformar su energía cinética en rotacional. Dado que la cantidad de aire que pasa a través del área de barrido por el rotor por la unidad de tiempo debe ser igual a la que abandona el área del rotor al otro lado, el aire ocupará una mayor sección transversal detrás del rotor.

Si se intenta extraer toda la energía del viento, el aire saldrá con una velocidad nula, el aire no podrá abandonar la turbina. Al darse este cuadro no se extraería ninguna energía, ya que no impediría la entrada de aire al aerogenerador. Otro ejemplo extremo el viento puede pasar sin que nada impida el paso, sin que se pueda extraer la energía.

Albert Betz formulo un teorema para extraer la energía con la mayor eficiencia. A continuación se detalla:

Se considera que la velocidad promedio del viento que pasa a través del área de un rotor es el promedio de la velocidad del viento sin perturbar antes de la turbina eólica, V_1 y la velocidad del viento después, de su paso por el plano del rotor V_2 , esto es $(V_1 + V_2)/2$. Siguiendo las formula deducidas se obtiene que la masa por unidad de tiempo que atraviesa el rotor es:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho * V)}{dt} = \rho * A \frac{dx}{dt} = \rho * A * \frac{v_1 + v_2}{2}$$

Y la potencia extraída por el rotor es:

$$P = \frac{dE_0}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = \frac{1}{2} (v_1^2 - v_2^2) \frac{dm}{dt}$$

Que sustituyendo la expresión anterior daría una potencia extraída de:

$$P = \frac{1}{4} \rho * A(v_1^2 - v_2^2) * (v_1 + v_2)$$

La potencia del viento incidente sobre el rotor, a la que se denomina P_0 sería:

$$P = \frac{1}{2} \rho * Av_1^3$$

Si se compara los dos valores, se obtiene la siguiente función:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 \right) \left(1 + \frac{v^2}{v^1} \right)$$

Esta función, como se aprecia en la siguiente figura tiene un máximo $\frac{V_1}{V_2} = 1/3$.

El valor máximo de la potencia extraída del viento es entonces de 16/27 o aproximadamente 0.59 veces la potencia del viento.

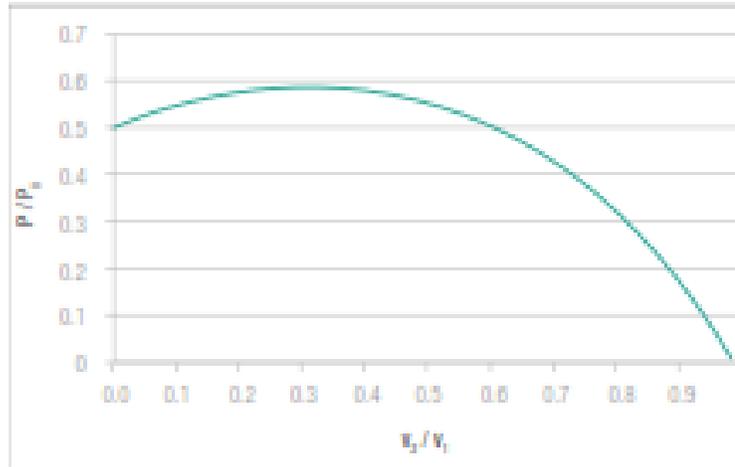


Figura 6. Energía extraíble del viento, según la ley de Betz

Figura 3.1 Curva según Ley De Betz

Fuente: MEER, Atlas Eólico del Ecuador, MIEES, 2013

3.4 Distribución de Weibull

La distribución más extensamente empleada para la representación de una serie de viento es la función densidad de probabilidad de Weibull cuya expresión es:

$$p(U) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{U}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right)$$

Donde U representa el valor del módulo del viento, mientras c y k son los parámetros que caracterizan y distinguen una serie de otra. El parámetro c da una idea de la altura de la distribución, mientras que k está relacionado con la anchura de la misma. Realizando algo de algebra con la expresión, se puede obtener la función de distribución acumulada, F (U), que da la probabilidad de que el viento sea igual o inferior a un valor.

$$F(U) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right)$$

También se puede obtener expresiones para el valor medio del viento y su desviación estándar en función de estos dos parámetros:

$$U = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-3t}t^{e-4} dt$$

$$\sigma_v^2 = U^2 \left(\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right)} - 1 \right)$$

Donde $r(x)$ es la función gamma de Euler. En la siguiente figura, se puede apreciar un ejemplo de la distribución de Real del viento y su correspondiente ajuste de Weibull.

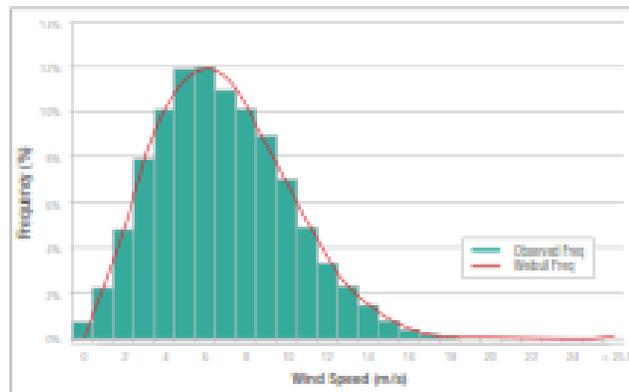


Figura 7. Distribución de Weibull

Figura 3.2 Distribución de Weibull

Fuente: MEER, Atlas Eólico del Ecuador, MIEES, 2013

3.5 Producción de energía en el Ecuador

En el Ecuador, la producción de energía eléctrica en datos estimados al 2011 la producción e importación de energía fue de 21.838,73 GWh, de los cuales el 87,34 % corresponde a la energía del S.N.I., es decir 19.073,50 GWh, en la que se incluye la importación desde Colombia y Perú, (Boletín informativo, 2011).

TABLA No. 1. 8: POTENCIA POR TIPO DE ENERGÍA Y TIPO DE CENTRAL

Tipo de energía	Tipo de Central	Potencia Nominal		Potencia Efectiva	
		MW	%	MW	%
Renovable	Hidráulica	2 234,41	42,71	2 207,17	45,62
	Térmica Turbovapor (1)	101,30	1,94	93,40	1,93
	Eólica	2,40	0,05	2,40	0,05
	Solar	0,04	0,00	0,04	0,00
Total Renovable		2 338,15	44,69	2 303,01	47,60
No Renovable	Térmica MCI	1 459,01	27,89	1 183,65	24,46
	Térmica Turbogás	976,74	18,67	897,50	18,55
	Térmica Turbovapor	458,00	8,75	454,00	9,38
Total No Renovable		2 893,75	55,31	2 535,15	52,40
Total general		5 231,90	100,00	4 838,16	100,00

Tabla 3.3 Tabla de potencias instaladas fuente de generación

Fuente: MEER, Boletín Informativo, 2011

De los cuales son obtenidos de diversas fuentes siendo dos las más importantes:

- Hidroeléctricas
- Termoeléctricas

3.6 Proyectos de generación hidroeléctricos

Como ya sabemos las hidroeléctricas se generan gracias, a diversos proyectos que aprovechan el caudal del agua para generar energía, este es considerada energía renovable y limpia. Además de ser energía producida a bajos costos económicos. En el Ecuador el porcentaje de energía producida por medio de energías renovables es de aproximadamente el 44.69% (Boletín Informativo, MEER, 2011) del total consumida en nuestro país. Entre los principales proyectos en funcionamiento de generación hidroeléctrica, que representa el 42.71% del consumo (Boletín Informativo, 2011), podemos anotar los siguientes:

El proyecto Paute con una capacidad de 1075 MW instalada.

El proyecto Agoyan con una capacidad de 155 MW instalada.

El proyecto San Francisco con una capacidad de 230 MW instalada.

El proyecto Pisayambo con una capacidad de 76 MW instalada.

Además de esto en la actualidad, el Ecuador está trabajando en otros proyectos de gran envergadura para la producción de energía mediante hidroeléctricas.

3.7 Proyectos de generación termoeléctricos

Las centrales termoeléctricas, son aquellas que aprovechan la energía liberada al quemar combustible, para mover turbinas ya sea de forma directa o por medio de vapor de agua, siendo los principales:

Carbón

Gas

Fuel oil (diésel, nafta, crudo).

El funcionamiento de estas centrales, es básicamente el combustible (carbón, fuel oil, gas) es inyectado a quemadores que provocan la combustión, transformándolos en energía calorífica. Este a su vez convierte el agua en vapor, gracias a la alta temperatura, este vapor es transportado por una extensa red de tuberías que conforma a la caldera. Este vapor transportado a alta presión entra en la turbina para de esta manera hacer girar los generadores de las termoeléctricas.

En el Ecuador la energía termoeléctrica, representa el 55, 31% (Boletín Informativo, MEER, 2011) de la energía consumida por el país. Pudiendo cambiar este porcentaje dependiendo del nivel de generación hidroeléctrica en nuestro país. Entre las principales centrales termoeléctricas del país podemos anotar las siguientes:

- Gonzalo Cevallos de una potencia de 146 MW
- Electroquil de una potencia de 76 MW
- Aníbal Santos de una potencia de 106 MW.

Entre otras más que están a lo largo de las diferentes zonas del país. Como se detalló anteriormente el porcentaje de generación termoeléctrica. El Ecuador depende de más del 50% de su consumo energía, de la generación por medio de recursos no renovables.

En la siguiente tabla se representan los totales de los diferentes tipos de combustible consumidos en el 2011. Se utiliza el concepto de TEP (Toneladas

Equivalentes de Petróleo), que permite un mejor entendimiento de la cantidad de combustible utilizado en los procesos de generación termoeléctrica.

Combustibles		Equivalencias (TEP) *	Total (TEP)
Cantidad	Unidades		
232,22	millones de galones de Fuel Oil	1 galón = 0,003404738	790.631,38
172,52	millones de galones de Diesel 2	1 galón = 0,003302303	569.728,03
14,71	millones de galones de Nafta	1 galón = 0,002907111	42.767,29
17.708,43	millones de pies cúbicos de Gas Natural	1 pie ³ = 0,022278869	394.523.838,16
67,88	millones de galones de Residuo	1 galón = 0,003302303	224.159,79
62,81	millones de galones de Crudo	1 galón = 0,003404738	213.839,51
7,07	millones de galones de LPG	1 galón = 0,002048800	14.468,87
1.064,25	miles de Toneladas de Bagazo de Caña	1 Tonelada = 0,181997480	193.691,44

* Fuente: OLADE, SIEE

Tabla 3.4 Tabla de consumos de combustible para la generación de energía

Fuente: MEER, Boletín Informativo, 2011

3.8 Energía eólica en el Ecuador

En el Ecuador el desarrollo de energía eólica en el Ecuador apenas representa el 0.05% (Boletín Informativo, MEER, 2011) de la producción total de energía. El sistema de producción, el cual está instalado en la provincia de Galápagos, isla San Cristóbal, es el primer parque de energía eólica en el Ecuador, con una capacidad de 2.5 MW. Este complejo cuenta con tres aerogeneradores instalados en torres de 80 mts de altura.



Figura 3.2 Parque San Cristóbal

Fuente: Conelec, 2012

En la actualidad está en funcionamiento del parque eólico de Villonaco, provincia de Loja con una potencia instalada de 16.5 MW (MERR, 2014) cuenta con 11 aerogeneradores del tipo GW70/1500 de procedencia china que cubren aproximadamente un área de 2 Km.



Figura 3.3 Parque Villonaco

Fuente: MEER, 2013

3.9 Mapas y gráficos del viento en el Ecuador

Los mapas del viento son gráficos en los cuales se pueden ver la velocidad y dirección en la que se desarrollan las corrientes que afectan a nuestras costas a continuación presentamos las gráficas obtenidas de la página web del INOCAR.

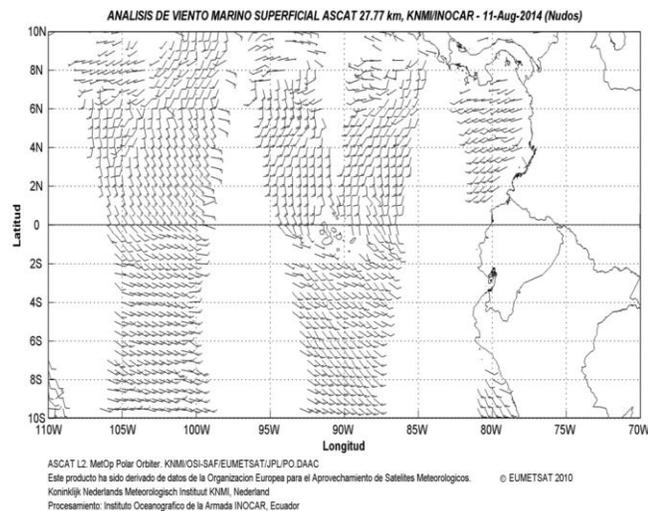


Figura 3.4 Viento superficial

Fuente:<http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/productos/vientos-superficiales>

El ministerio de energía renovable (MEER) ha lanzado una publicación en referencia al potencial eólico estimado para generar energía eléctrica en Ecuador dependiendo de la situación geográfica hay múltiples zonas en las cuales, se puede explotar este recurso de la naturaleza.

Esta estimación está realizada por un sistema de simulación denominado MASS, (Mesocale Atmospheric Simulation Sistem), sistema de modelado físico matemático para la simulación del comportamiento de la atmosfera a meso escala.

A continuación se detalla el potencial es distintas zonas del Ecuador.

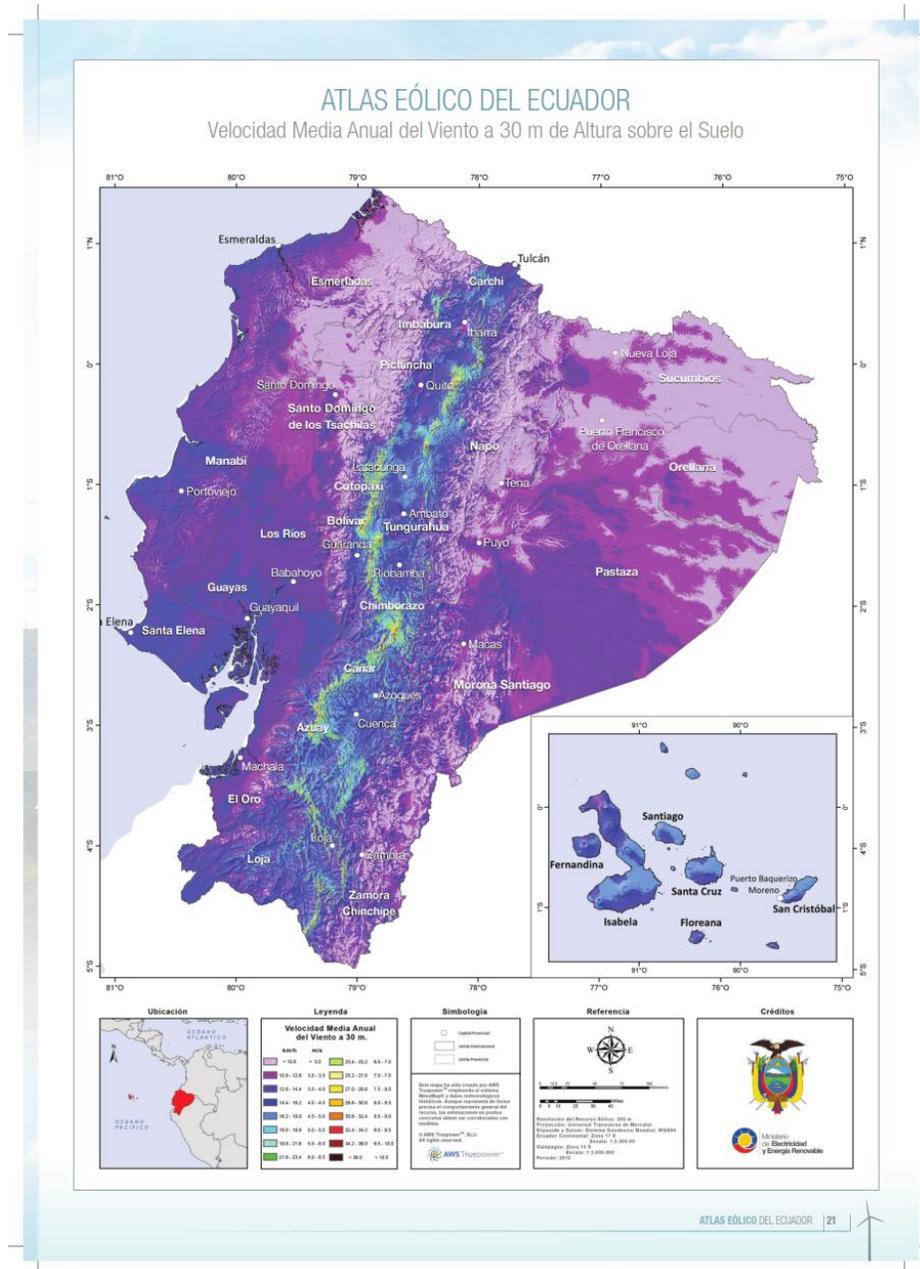


Figura 3.5 Velocidad media en Ecuador

Fuente: MEER, Atlas Eólico del Ecuador, 2013

3.10 Datos del viento en la ubicación del CENAIM

El Centro Nacional de Investigaciones Marinas (CENAIM), que se encuentra ubicado en el km 40 vía Ruta del Spondylus, basándonos en los datos del Atlas Eólico del Ecuador, en los datos que da para la provincia de Santa Elena y los datos promedios del viento para la provincia de Santa Elena tomados de la web del Instituto Oceanográfico de la Armada, (INOCAR).



Figura 3.6 Datos de potencia media, Santa Elena

Fuente: MEER, Atlas eólico del Ecuador, 2013



Figura 3.7 Densidad de potencia Santa Elena

Fuente: MEER, Atlas Eólico del Ecuador, 2013

De acuerdo a los datos del Atlas Eólico del Ecuador publicado por el ministerio de electricidad y energía renovable hay un estimado de entre 50 a 100W por m².

El INOCAR a través de sus estaciones meteorológicas en las costas ecuatorianas, presenta, en su página web información de la velocidad vientos predominantes en el área de la provincia de Santa Elena, recogidos a través de su estación meteorológica ubicada en La Libertad a continuación se presenta las gráficas correspondientes a este año:

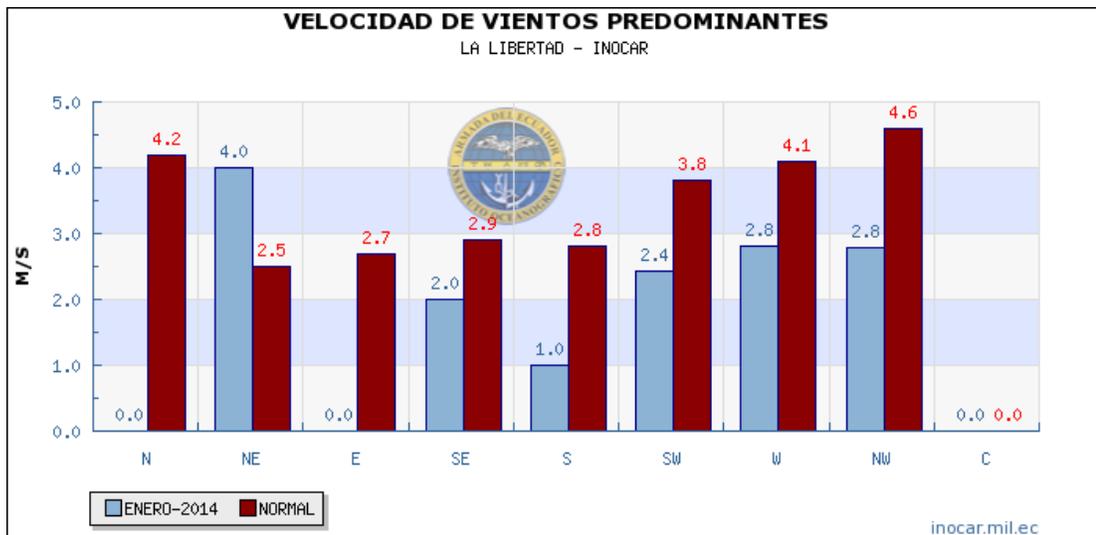


Figura 3.8 Velocidad de vientos, Enero 2014

Fuente: <http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/productos/vientos-superficiales>

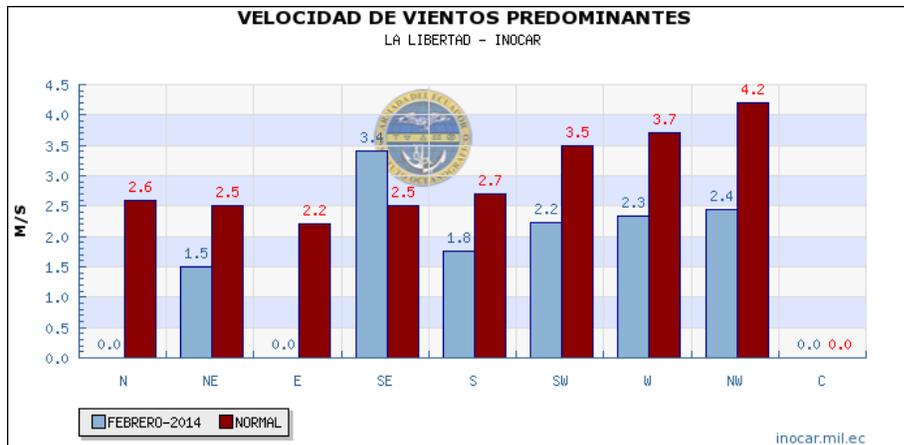


Figura 3.9 Velocidad de vientos, Febrero 2014

Fuente: <http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/productos/vientos-superficiales>

Los datos presentes en las gráficas según el INOCAR, las que están en celeste son los datos medidos y los datos en rojo son los datos esperados para este mes de acuerdo al promedio presentado desde la toma inicial de los datos obtenidos por el mismo. Elaborando una tabla con los datos obtenidos de los últimos 6 meses en este año escogiendo las velocidades más altas sin considerar su dirección.

Mes	Medida	Esperada
Enero	4.0 m/s	4.6 m/s
Febrero	3.4 m/s	4.2 m/s
Marzo	3.0 m/s	4.1 m/s
Abril	3.2 m/s	4.1 m/s
Mayo	4.0 m/s	4.2 m/s
Junio	4.0 m/s	4.2 m/s
Julio	4.3 m/s	5.5 m/s

Tabla 3.5 Velocidades de Enero a Julio

Fuente: Inocar,(2014) recuperado el 15 de agosto de 2014 de Fuente:
<http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/productos/vientos-superficiales>

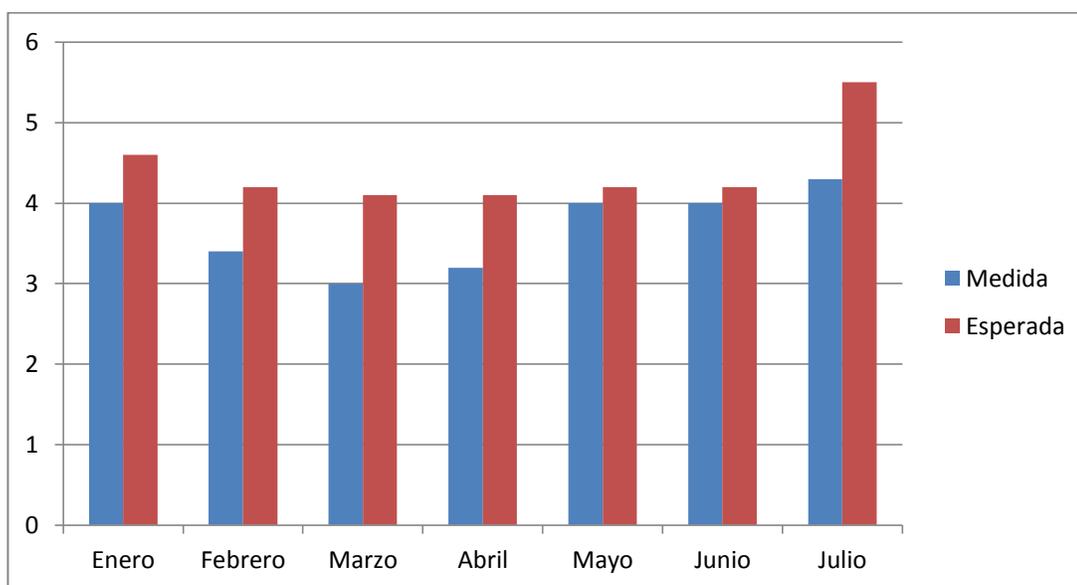


Figura 3.10 Velocidades medidas y esperadas

Fuente: Inocar,(2014) recuperado el 15 de agosto de 2014 de Fuente:
<http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/productos/vientos-superficiales>

La media de estos datos la podemos conseguir fácilmente al aplicar una sencilla fórmula de promedio:

$$\sum V = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6}{N}$$

La velocidad promedio sería:

$$\sum V = \frac{4 + 3.4 + 3.0 + 3.2 + 4.0 + 4.0 + 4.3}{7}$$

Donde la velocidad sería en base a los promedios mensuales 3.7 m/s.

Mientras el promedio de las velocidades esperadas según el INOCAR sería:

$$\sum V = \frac{4.6 + 4.2 + 4.1 + 4.1 + 4.2 + 4.2 + 5.5}{7}$$

Dando como resultado 4.41 m/s la velocidad de viento con los datos esperados por el INOCAR.

Este resultado concuerda con el mostrado en cuanto a velocidad de viento en la zona de la provincia de Santa Elena mostrado por el Atlas Eólico del Ecuador.

4. Equipos de Generación.

Los equipos a utilizar en la generación de energía eléctrica son llamados aerogeneradores y por el tipo de eje, dependiendo el estado y posición de las hélices con las cuales captan viento para poder realizar el movimiento mecánico

para mediante esto, poder generar la energía eléctrica dependiendo la velocidad con la cual les hace girar el viento, pueden ser:

Aerogeneradores de eje horizontales.

Aerogeneradores de eje verticales.

4.1 Aerogeneradores de eje horizontal.

Estos aerogeneradores funcionan en base del fenómeno que está presente en alabes y formas aerodinámicas, como las alas de los aviones, de esta manera pueden extraer la energía presente en el viento.

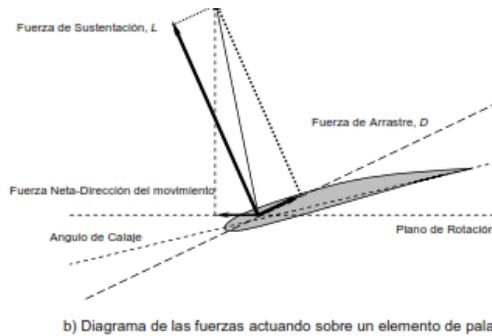


Figura 4.1 Fuerzas que actúan sobre una pala.

Fuente: INCONTEC y AENE, Guía para la utilización de la energía eólica, 2003

Este aerogenerador según (El manual práctico de energía eólica) de (Leonardo Energy): Son máquinas de eje horizontal que utilizan rotor a barlovento con dos o tres palas que tiene el eje paralelo al suelo, por lo cual también al flujo del viento.



Figura 4.2 Aerogenerador de eje Horizontal

Fuente: INCONTEC y AENE, Guía para la utilización de la energía eólica, 2003

Los aerogeneradores de tipo horizontal pueden ser de:

Baja velocidad, muchas aspas

Alta velocidad, pocas aspas (generalmente tres aspas).

4.2 Aerogeneradores de eje vertical

Basan su funcionamiento en las fuerzas de arrastre sobre superficies, tal como es el ejemplo del molino de viento Savonius o el mismo principio de accionamiento que los anemómetros de cazoletas.



Foto 2 Sistema de Conversión de Energía Eólica de Eje Vertical

Figura 4.3 Aerogenerador de eje Horizontal

Fuente: INCONTEC y AENE, Guía para la utilización de la energía eólica, 2003

La elección de utilizar ya sea equipos; horizontales o verticales, no depende de la eficiencia en la conversión, ya que ambos modelos tienen valores similares. Sin embargo vale nombrar sus principales ventajas y desventajas que a continuación detallamos.

4.3 Ventajas y desventajas en aerogeneradores según su eje.

Según (INCONTEC y AENE, Guía para la utilización de la energía eólica, 2013) los distintos modelos de tipo de eje presentan las siguientes ventajas y desventajas.

Los de eje vertical por su sistema de aspas pueden captar el viento en cualquier dirección mientras que los de eje horizontal tienen un control de dirección.

Los de eje vertical tienen los sistemas de generación, frenos, control en la base de su estructura mientras que los horizontales, sus equipos van colocados en la torre o en la góndola.

Los verticales de pocas aspas llevan generalmente un motor de arranque para vencer la inercia, mientras que los horizontales están diseñados para que arranquen a velocidades de viento adecuadas.

Los de ejes verticales más sólidos requieren de un soporte estructural reforzado, por las fuerzas generadas en la conversión de energía; lo cual limita la altura. Los de eje horizontal requieren torres más altas para emplazar el rotor a mayor altura.

4.4 Elección de aerogenerador

En la gamma de aerogeneradores del mercado internacional; en Ecuador no hay modelos comerciales a la venta para la implementación de la energía eólica. Por ende hay que recurrir al mercado internacional para poder adquirir un aerogenerador con sus respectivos implementos. Las opciones son variadas, de distinta marca y nacionalidad. También los hay de distintas potencias como son los grandes aerogeneradores que van desde potencias de los 500 KW hasta varios megavatios de ahí vienen los de mediana capacidad que van en el rango de 100 hasta 500 KW, y los pequeños de 10 a 100 KW, habiendo una sub clasificación más que es los denominados micro turbinas que son de 10 KW hacia abajo.

- Todos estos aerogeneradores de distintas potencias tienen un sinfín de aplicaciones ya sea en entornos llanos o donde hay obstáculos para la circulación del viento. A continuación detallamos las más comunes:
- Parques eólicos a gran escala, dependiendo del número de aerogeneradores, será la potencia instalada del parque, que puede ser en el orden de varias decenas hasta centenas de megavatios.
- Las denominadas granjas eólicas, comunes en Europa, son filas de aerogeneradores de potencia de decenas de KW en dirección del viento.
- Sistemas mixtos o híbridos, son para pequeñas potencias que son empleados los aerogeneradores con otras fuentes de energía ya sean motores a diésel o paneles fotovoltaicos.
- Los aerogeneradores en zonas rurales, donde exista la posibilidad de utilizar la energía que proporciona el viento.
- Los aerogeneradores con sistemas de baterías de almacenamiento, son de baja potencia, los cuales utilizan al aerogenerador para alimentar un grupo de baterías que por medio de un inversor puede suplir al aerogenerador cuando este no tiene la suficiente densidad de aire para generar.

Sistema de generación híbrido solar-eólico GEH-600-DR-H

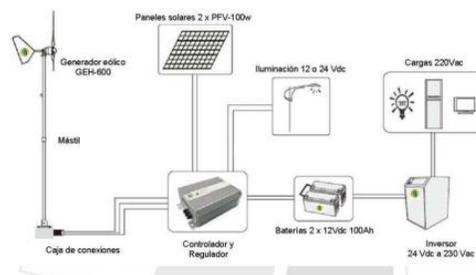


Figura 4.4 Sistema híbrido de energía solar.

Fuente: Alfa solar, Catálogo de productos, 2011

4.5 Análisis del aerogenerador elegido.

La elección adecuada del aerogenerador para este proyecto se ha basado en la potencia que debemos suministrar al laboratorio de fitoplancton, del CENAIM además de las características del viento presente en la zona. La potencia instalada en el laboratorio de fitoplancton, para dar la iluminación adecuada para el cultivo de algas es distribuida de la siguiente manera:

44 paneles de lámparas de 2x40 vatios, una carga de 3520 vatios.

20 paneles de lámparas de 2x20 vatios, una carga de 800 vatios.

30 paneles de lámparas de 1x40 vatios, una carga de 1200 vatios.

Para el proyecto que se está elaborando hemos elegido alimentar los circuitos de iluminación ya que la potencia sumada de todas las lámparas es de 5520 vatios (5.52 KW/h). Esta es la potencia necesaria para tener una producción que abastezca el consumo interno y las ventas que realiza el centro.

Ya establecida la potencia a cubrir en el laboratorio de Fitoplancton se procederá a buscar un modelo de aerogenerador que pueda cubrir la demanda de potencia del laboratorio, contando con los datos obtenidos a través del Atlas Eólico del Ecuador que determinan que en la provincia de Santa Elena se puede esperar una velocidad promedio de entre 4 y 4,5 m/s a 30 mts, de altura.

Después de revisar catálogos técnicos de distintas compañías buscando un aerogenerador que nos ayude a cubrir nuestra demanda y revisar distintos curvas de potencia vs velocidad encontramos el siguiente modelo de turbina para nuestro proyecto que nos serviría para nuestra potencia instalada.



Figura 4.5 Curva de potencia vs velocidad

Fuente: Aeolos wind, POWER CURVE, 2014

El modelo que más se ajusta a nuestra descripción sería el AEOLOS-H 20 KW. Con los siguientes datos de potencia.

Aeolos-H 20kW Wind Turbine Output								
Wind Speed(m/s)	3	4	5	6	7	8	9	10
Generator Power(w)	616	2202	3500	5098	7200	10210	13640	19800
Annual Energy Output(kwh)	5395	19288	30660	44659	63072	89440	119494	173448

Figura 4.6 Curva de potencia vs velocidad

Fuente: Aeolos wind, catalogo, 2014

Según (MEER, Atlas Eólico del Ecuador), basándonos en la referencia que nos da a cerca de la zona de la provincia de Santa Elena en promedio de la velocidad de viento (4-4.5 m/s), eligiendo la de menor valor que es de 4 m/s nos da una potencia de 2202 W, las unidades necesarias para cubrir la demanda del laboratorio de fitoplancton (5520 W), nos daría como resultado tres unidades del modelo de AEOLOS wind turbine, con un total de potencia generada de 6606 W.

4.6 Especificaciones del modelo AEOLOS-H 20 KW

Según la página de AEOLOS wind turbine (2014), Especificaciones para aerogeneradores Aeolos 20 KW, recuperado el 20 de agosto de 2014 de <http://www.windturbinestar.com/Aerogenerador-20kw.html>

Las especificaciones del modelo elegido son las siguientes:

<u>Potencia Nominal</u>	20 KW
<u>Máxima Potencia de Salida</u>	25 KW
<u>Generación</u>	Generador de Impulsión Directa Magnético Permanente
<u>Número de Palas</u>	3 Palas de Fibra de Vidrio
<u>Diámetro del Rotor de Palas</u>	10.0 m (32.8 pies)
<u>Velocidad de Arranque del Viento</u>	3.0 m/s (6.7 mph)
<u>Velocidad Nominal del Viento</u>	10 m/s (22.3 mph)
<u>Velocidad de Supervivencia del Viento</u>	50 m/s (111.5 mph)
<u>Controlador</u>	PLC Con Pantalla Táctil Sistema de Seguridad Control de Orientación, Freno Eléctrico y Freno Hidráulico
<u>Peso de Turbina</u>	960 kg (2112 lbs)
<u>Ruido</u>	55 db(A) a 7m/s
<u>Rango de Temperatura</u>	-20°C a +50°C

Vida Útil del Diseño

20 Años

Garantía Estándar

5 Años

Este tipo de aerogeneradores ofrece mayor eficiencia en sus sistemas de generación, mayor a 0.96. Además viene incorporado el sistema de mando por medio de sistemas de PLC.



Figura 4.7 Aerogenerador AEOLOS-H 20 KW

Fuente: <http://www.windturbinestar.com/Aerogenerador-20kw.html>

4.7 Componentes del sistema del aerogenerador

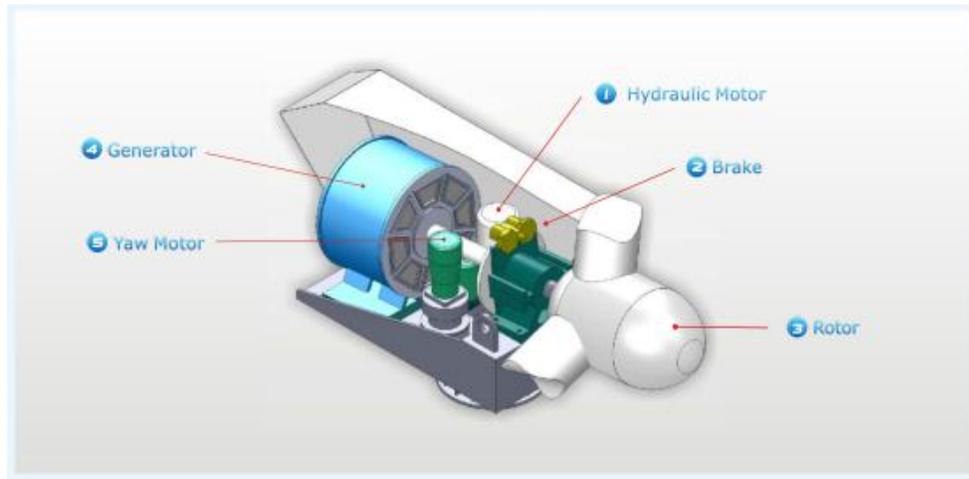


Figura 4.8 Aerogenerador AEOLOS-H 20 KW

Fuente: <http://www.windturbinestar.com/Aerogenerador-20kw.html>

4.7.1 Yaw Motor (Sistema de sobre velocidad)

Es el sistema de protección en contra de sobre velocidad, el cual faculta al aerogenerador realizar movimientos de 30, 60, 90 grados cuando detecta sobre velocidad del viento, sobre voltaje o alta temperatura del motor.

4.7.2 Brake (Freno mecánico)

Es el segundo sistema de seguridad con que cuentan las turbinas de los aerogeneradores AEOLOS, es impulsado por una estación de freno hidráulica. Podría detener el rotor de la turbina eólica en sobre velocidad, sobre voltaje, sobre temperatura o fallo en la red.

4.7.3 Hidraulic Motor (Motor hidráulico)

El motor hidráulico de procedencia alemana para realizar la parada mecánica.

4.7.8 Rotor

La piza a la cual van sujetas las palas para aprovechar la velocidad del viento este acopla directamente al generador eléctrico.

4.7.9 Generador

Es un diseño actualizado con impulsión directa (sin cajas de engranajes o dispositivo multiplicador).

4.8 Sistemas de control

El modelo de aerogenerador AEOLOS-H 20 KW, viene ya con su propio sistema de control a base de PLC, para el control de los sistemas de protección, generación y operación del conjunto de variables a supervisar en el equipo a continuación se presenta el SCADA que viene incorporado.

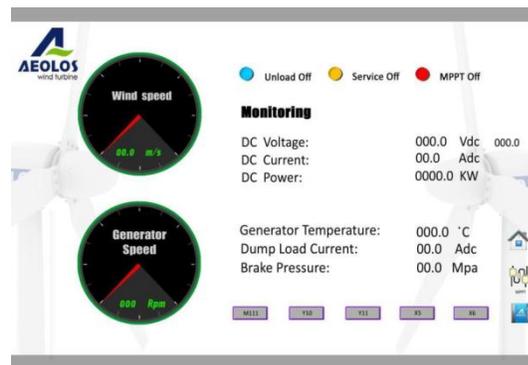


Figura 4.9 Control inteligente

Fuente: AEOLOS wind turbine, Catalogo, 2014

4.9 Costos

Los costos para instalar un aerogenerador de este modelo incluido obra civil, instalación de equipos y demás accesorios según (Neira y Verecela, Estudio de la factibilidad de generación eléctrica mediante energía eólica y energía fotovoltaica para el sector GARAUZHI de la parroquia QUINGEO perteneciente a la ciudad de Cuenca, 2014) el cual se detalla a continuación.

Detalle	Numero de maquinarias	Costo
Aerogenerador		
Turbina 20 KW	1	22.470,00
Grid on controller	1	3.800,00
Grid on inverter	1	11.920,00
Torre de un solo poste	1	9.620,00
Total de equipos	4	47.810,00

Tabla 4.1 Valor de maquinarias y equipos (Neira y Verecela, Estudio de la factibilidad de generación eléctrica mediante energía eólica y energía fotovoltaica para el sector GARAUZHI de la parroquia QUINGEO perteneciente a la ciudad de Cuenca, 2014)

Detalle	Numero de maquinarias	Costo
Otros		
Obra civil	1	30.000,00
Instalación Eléctrica	1	20.000,00
Sist. De gestión	1	12.500,00
Investigación	1	40.000,00
Casa de control	1	10.000,00
Total otros	5	112.500,00

Tabla 4.2 Valor de otros (Neira y Verecela, Estudio de la factibilidad de generación eléctrica mediante energía eólica y energía fotovoltaica para el sector GARAUZHI de la parroquia QUINGEO perteneciente a la ciudad de Cuenca, 2014)

La inversión para instalar un solo aerogenerador del modelo AELOS –H 20 KW es de 160.310,00 dólares americanos, como determinamos que para cubrir la demanda del laboratorio de fitoplancton, en el CENAIM se requiere de 3 unidades de aerogenerador.

Nos da como resultado que la inversión para este proyecto es de 480.930 dólares americanos.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Consultado las referencias pertinentes en cuanto a velocidad de viento se refiere podemos establecer que la Península de Santa Elena tiene un potencial eólico sin explotar el cual, aunque bajo para la producción de energía eléctrica, debemos emplear un aerogenerador de 20 KW para con el viento existente, generar al menos 2 KW aproximadamente. Esto nos conlleva a pensar desde el punto de vista económico no es una opción a realizar ya que el costo de nuestro proyecto es de casi medio millón de dólares americanos para alimentar una carga de 5.52 KW que mensualmente representa apenas casi el 10% del consumo centro.

La cantidad de aerogeneradores necesarios, tres equipos, es el mínimo que requerimos en la actualidad para abastecer la demanda del laboratorio del CENAIM.

Elaborar un sistema SCADA para gestionar los aerogeneradores resultaría redundante ya que el modelo elegido para el proyecto cuenta ya con estas especificaciones.

5.2 Recomendaciones.

Se sugiere realizar un estudio de la velocidad del viento en las instalaciones del centro para de esta manera poder valorar con exactitud mediante un histograma las velocidades que tiene el viento a lo largo de las 24 horas para así realizar una valoración financiera del proyecto con el dato exacto de producción de energía eléctrica, para establecer un análisis financiero profundo de que tan viable es el proyecto en sí.

Fomentar la búsqueda de proyectos de energías renovables, para su utilización en las costas ecuatorianas, para promover el desarrollo tecnológico de las mismas, aunque no tengan el potencial para grandes parques eólicos, se debería aprovechar el recurso que hay, en conjunto con otros sistemas (Sistemas mixtos de producción de energía).

Bibliografía

Alfa solar, Catálogo de productos, 2011

Aeolos wind turbine, catálogos, 2014

CENAIM, Informe anual de operaciones, 2013

INCONTEC y AENE, Guía para la utilización de la energía eólica, 2003

Gálvez, Regalado; Acta oceanográfica del Pacífico, 2007, pag 203-204
Recuperado de http://www.inocar.mil.ec/ver_actas.php?ia=14&ta=O&a=1

MEER, Atlas Eólico del Ecuador, 2013 pág. 5-20

MEER, Boletín Informativo, 2011 Recuperado en Mayo 2013

Neira y Verecela, Estudio de la factibilidad de generación eléctrica mediante energía eólica y energía fotovoltaica para el sector GARAUZHI de la parroquia QUINGEO perteneciente a la ciudad de Cuenca, (Tesis de Ingeniería) Universidad Internacional, 2014 Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6756>.

Nimbus Weather Services. (s.f.) El viento (cap. 7), Recuperado el 31 de agosto de 2014, de <http://nimbus.com.uy/weather/pdf/cap7.pdf>

http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/atmosfera/La-circulacion-general-de-la-atmosfera.asp, Recuperado el 10 de Agosto del 2014.

<http://geografia.laguia2000.com/general/rosa-de-los-vientos>, Recuperado el 10 de Agosto del 2014.

<http://www.aviso.altimetry.fr/es/multimedia/outreach-material/posters-and-leaflets/la-observacion-de-los-oceanos-desde-el-espacio/clima-y-corrientes/corrientes/index.html>, Recuperado el 13 de Agosto del 2014.

<http://iessonferrerdgh1e07.blogspot.com/2012/11/ccss-1-ud-5-tiempo-y-clima.html>, Recuperado el 13 de Agosto del 2014.

<http://escritura.proyectolatin.org/introduccion-al-estudio-de-fuentes-renovables-de-energia/formacion-y-circulacion-del-viento/>, Recuperado el 15 de Agosto del 2014.

<http://cambioclimaticoenergia.blogspot.com/2010/12/la-circulacion-atmosferica-general.html>, Recuperado el 16 de Agosto del 2014.

http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/atmosfera/La-circulacion-general-de-la-atmosfera.asp, Recuperado el 17 de Agosto del 2014.

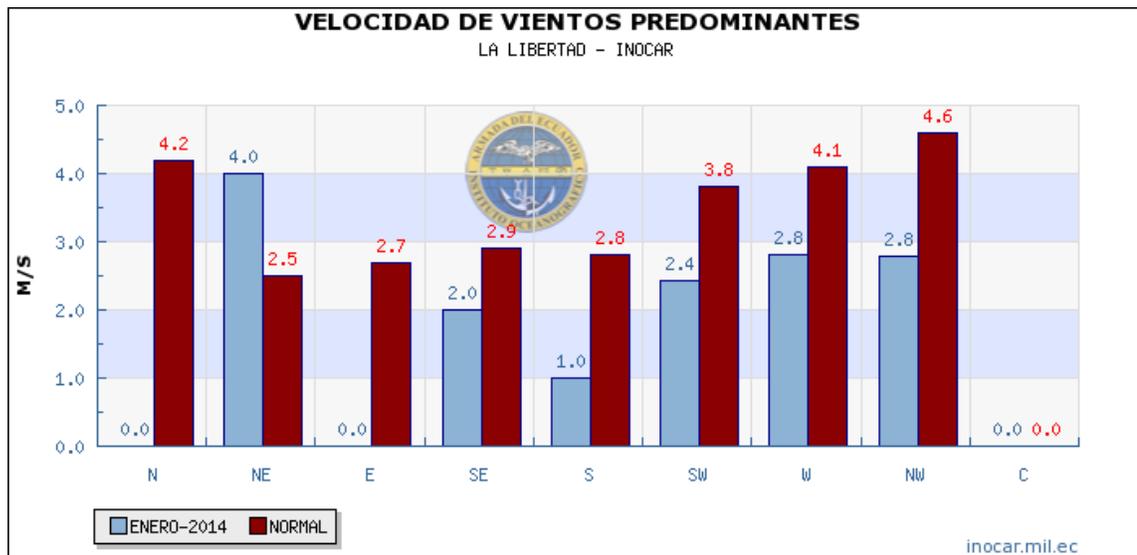
<http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/productos/vientos-superficiales>, Recuperado el 19 de Agosto del 2014.

<http://www.windturbinestar.com/Aerogenerador-20kw.html>, Recuperado el 20 de Agosto del 2014.

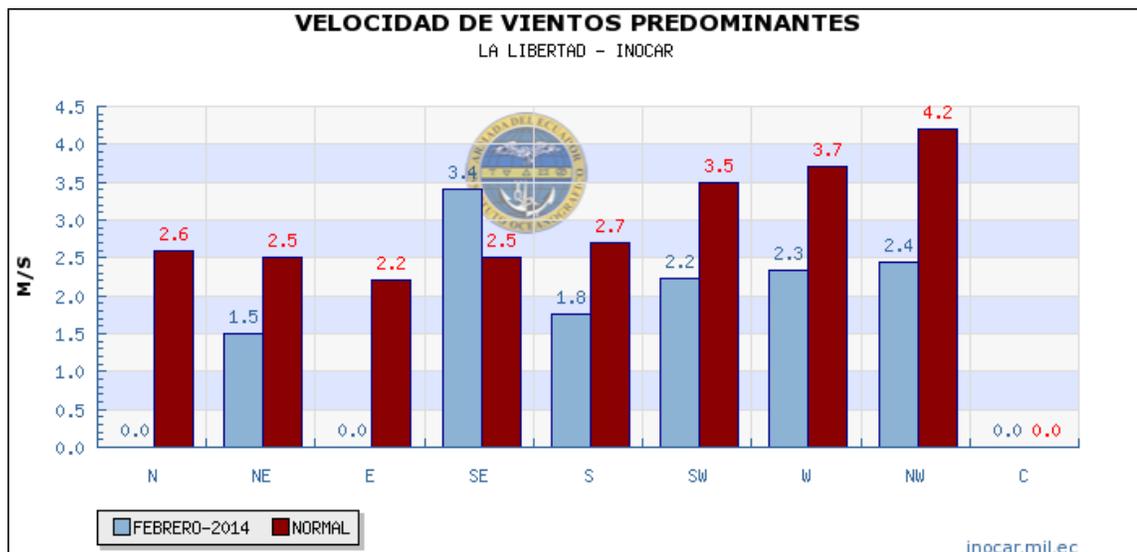
Anexos

Vientos superficiales (ENERO-JULIO)

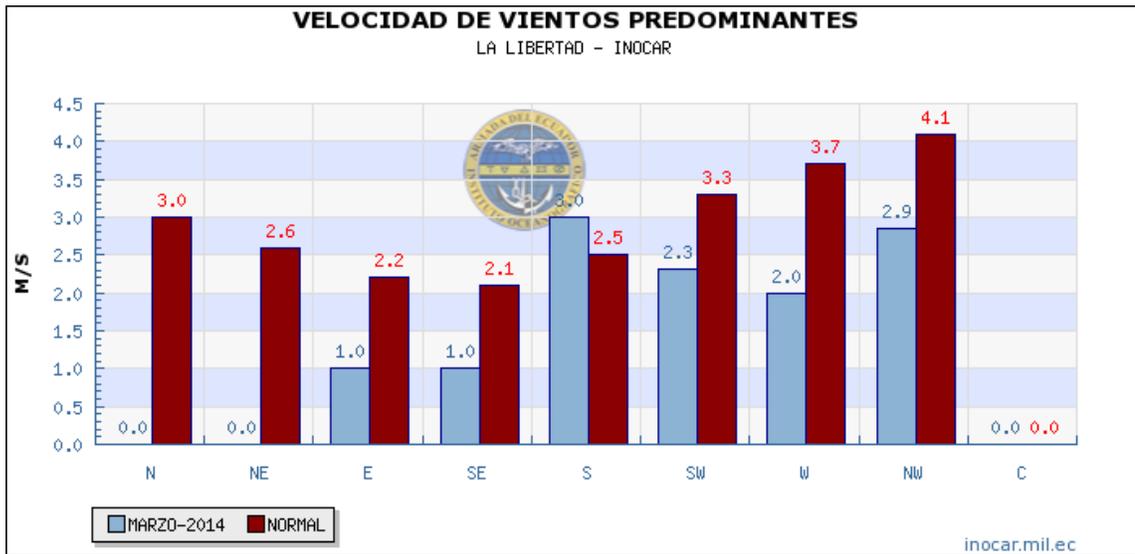
Enero2014



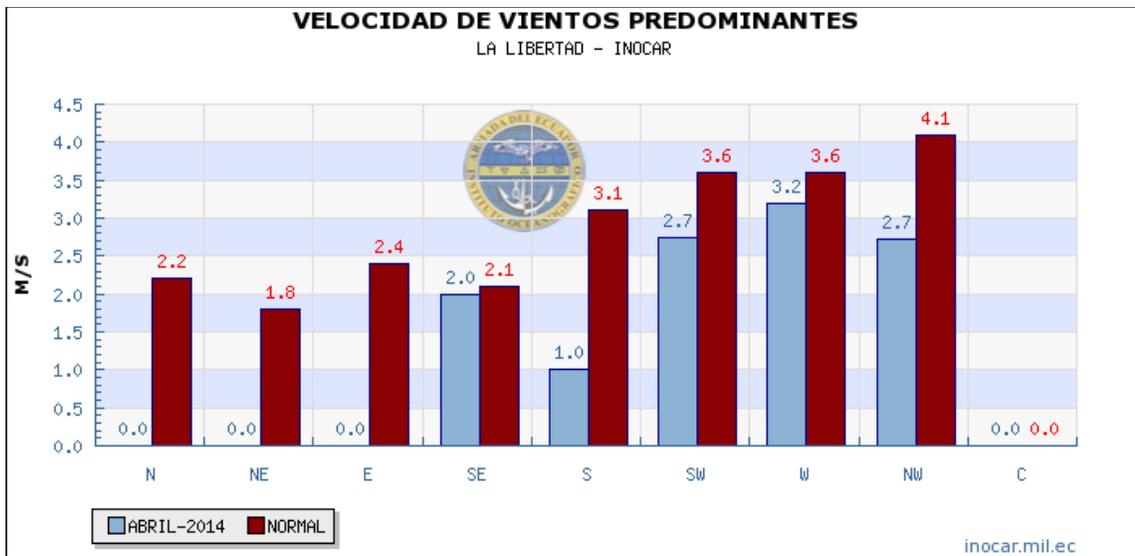
Febrero 2014



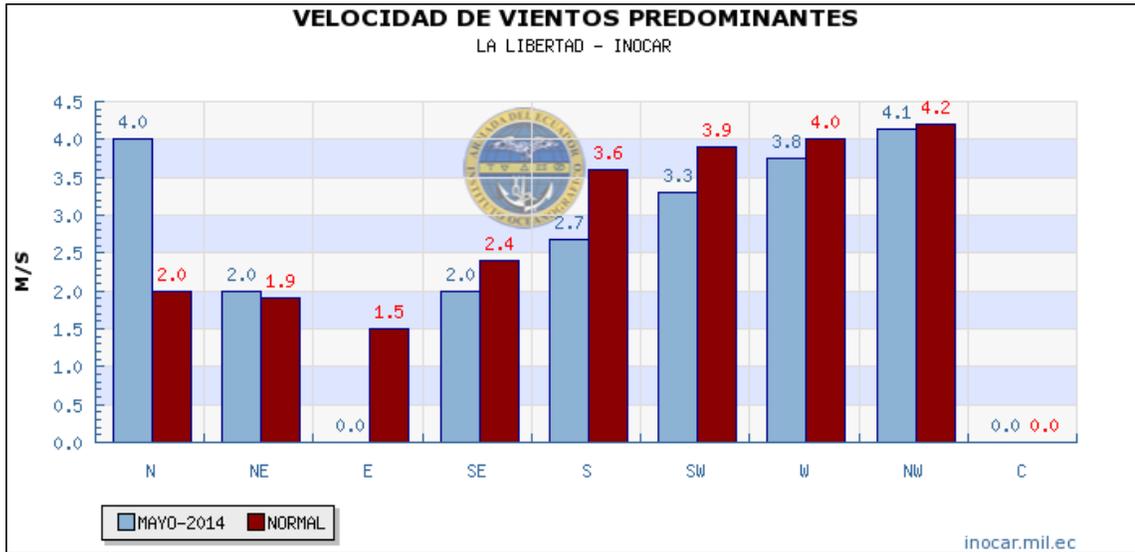
Marzo 2014



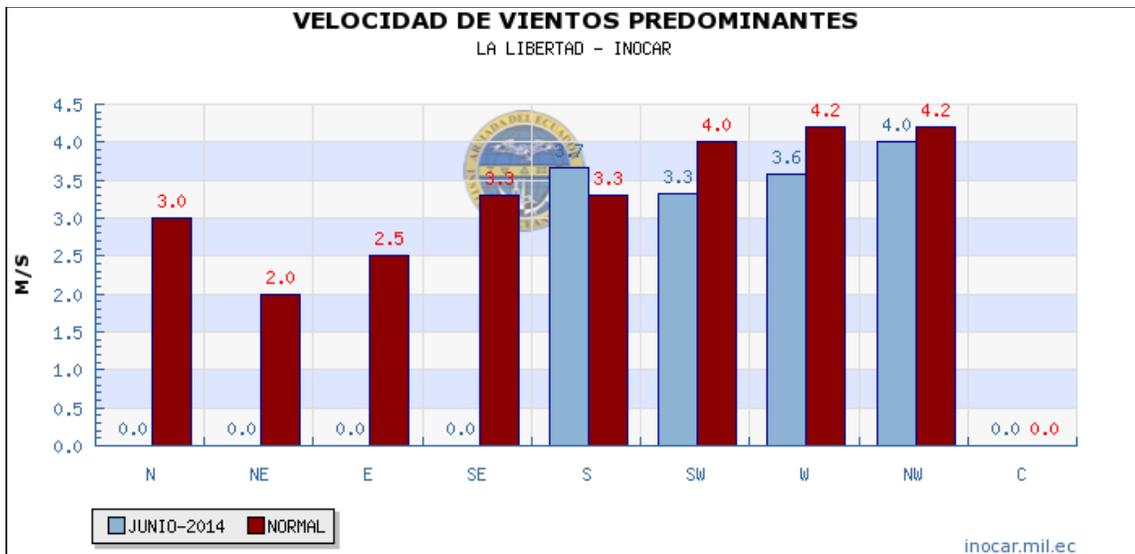
Abril



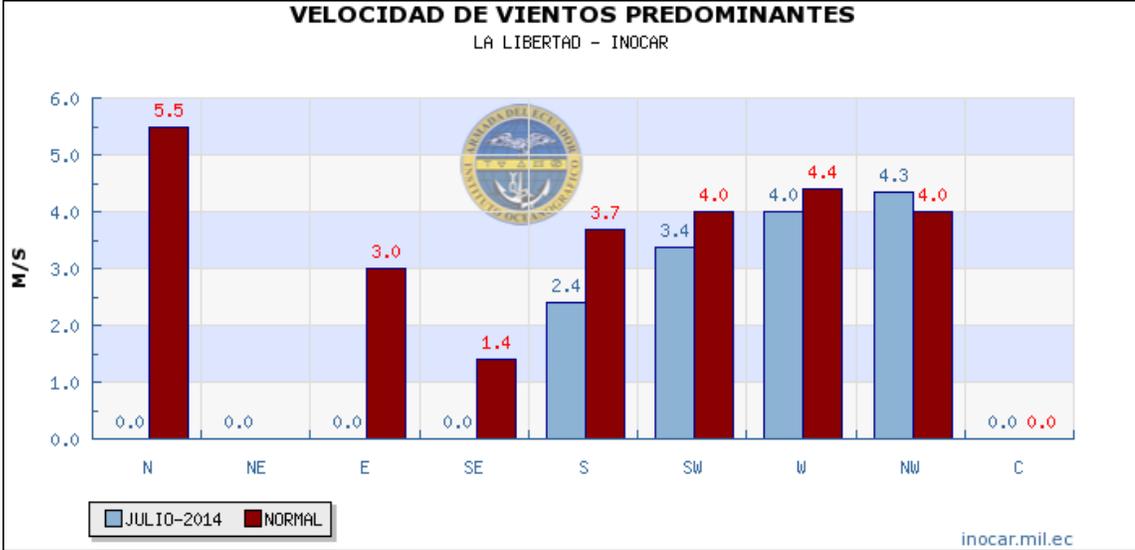
Mayo



Junio



Julio



Atlas Eólico del Ecuador

- Flujo entre pasos de montaña
- Vientos Foehn
- Tormentas
- Tornados

2.3 Instrumentos de medición del viento

El viento matemáticamente es un vector, que como se ha explicado anteriormente tiene aproximadamente dos dimensiones, puesto que la componente vertical es normalmente muy pequeña. Por tanto, puede describirse en cada instante de tiempo con dos coordenadas. Para obtener estas coordenadas en un sistema cartesiano, el vector debe ser proyectado sobre cada uno de los ejes definidos más o menos arbitrariamente como x e y. Esto es útil para la previsión numérica del tiempo, pero la manera natural de describir el viento es mediante sus coordenadas polares, el módulo (velocidad) y la dirección.

La descripción mediante el módulo y la dirección es conveniente por intuitiva y porque los instrumentos tradicionales de medida del viento evalúan justamente cada una de estas dos magnitudes por separado.

El instrumento que mide la velocidad del viento de manera directa en aplicaciones eólicas es normalmente el anemómetro, siendo el más común el anemómetro de cazoletas.

Los diseños actuales de este tipo de instrumento tienen tres cazoletas montadas sobre un pequeño eje. El anemómetro de cazoletas emplea su rotación, que varía en proporción a la velocidad del viento, para generar una señal. Para medir el ritmo de rotación de las cazoletas, se pueden emplear contadores mecánicos, variaciones de voltaje, o interruptores fotoeléctricos. Lo que se obtiene entonces es el desplazamiento creado por el flujo del viento y por tanto la distancia. Dividiendo ésta entre la unidad de tiempo de la muestra se obtiene la velocidad del viento.



Figura 1. Anemómetro de cazoletas

También son utilizados, aunque menos, los anemómetros de hélice. El viento hace girar la hélice acoplada a un eje que genera una señal dependiente de este giro, de manera similar a como lo hace el anemómetro de cazoletas. Si sólo se dispone de un anemómetro, éste se acopla a una veleta para orientarse automáticamente hacia el viento. También se pueden mantener fijos siguiendo dos o tres ejes cartesianos, empleando dos o tres anemómetros, obteniendo en este caso las componentes del vector.

Para medir la dirección del viento normalmente se emplea una veleta. Su forma convencional consta de una coxa ancha que el viento mantiene a sotavento de un eje de rotación vertical y de un contrapeso que se mantiene a barlovento y que proporciona el equilibrio necesario para que el instrumento gire lo más libremente posible. En la figura 2 podemos observar que el contrapeso tiene una forma que nos apunta la dirección de la que viene el flujo. La señal de la posición de la veleta se obtiene por contactos de cierre de circuito o a través de potenciómetros.



Figura 2. Veleta

Existen otros instrumentos de medición, de invención mucho más reciente, pero que actualmente no están sustituyendo a los instrumentos tradicionales, entre otras cosas por su elevado precio. Normalmente son empleados como sistemas complementarios en campañas especiales de medida, en las que se busca una mayor precisión. Un ejemplo son los anemómetros sónicos, que emplean ondas ultrasónicas para medir simultáneamente la velocidad y la dirección del viento. Otro son las herramientas de teledetección, como el SODAR y el LIDAR, que emplean sonido y luz respectivamente para barrer la vertical de la atmósfera y así obtener un perfil de sus características.

2.4 Unidades y escalas

El viento, como hemos nombrado anteriormente, se suele especificar con su módulo y su ángulo. Las unidades del módulo, como para cualquier velocidad, constan de una dimensión espacial dividida entre una temporal. En el Sistema Internacional, estas unidades son el metro y el segundo (m/s), y de hecho son las más habituales en los estudios de recurso eólico. Por familiaridad, también se emplean el kilómetro y la hora (km/h).

Por razones históricas, uno de los campos en los que existe más tradición en el conocimiento y la descripción del viento es en la navegación. Por este motivo, existen dos escalas más de velocidades de viento que son propias de este campo. La primera es el nudo, que equivale a una milla náutica por hora ó 1.852 km/h. La otra es la escala Beaufort, que es puramente fenomenológica y que estima la velocidad del viento en función del aspecto de la superficie del mar.

Tabla 1. Equivalencias de la escala Beaufort

Número Beaufort	Velocidad (km/h)	Denominación
0	< 1	Calma
1	2 - 3	Ventolina
2	6 - 11	Flejo (línea muy débil)
3	12 - 19	Flejo (línea débil)
4	20 - 29	Borrasca (línea moderada)
5	29 - 38	Fresquito (línea fuerte)
6	39 - 49	Fresco (línea fuerte)
7	50 - 61	Frescachón (viento fuerte)
8	62 - 74	Tempestad (viento duro)
9	75 - 88	Tempestad fuerte (mar duro)
10	89 - 102	Tempestad duro/temporal
11	103 - 117	Tempestad muy dura (tempestad)
12	> 118	Tempestad huracanada (huracán)

La dirección del viento, en meteorología, se mide en grados sexagesimales, pero el criterio empleado es diferente del matemático habitual. En primer lugar, siempre nos referimos a la dirección de la que viene el viento, no hacia donde va. Se consideran cero grados u origen al viento que viene del norte, y la escala es creciente hasta los 360 grados en el sentido de las agujas del reloj.

2.5 Rosa de Viento

Además del viento medio, es fundamental para la caracterización del mismo el conocimiento de las direcciones en las que se distribuye en una ubicación concreta. En el caso de los estudios para la ubicación de un parque eólico, este factor es especialmente crítico, puesto que condiciona su diseño.

En Meteorología, se suele representar la distribución del viento con un gráfico polar denominado rosa de viento. En él, se divide el círculo en un número de sectores múltiplo de cuatro, pues cuatro son los puntos cardinales, y se muestra el tanto por ciento del tiempo en el que el viento sopla en cada uno de estos sectores. Conviene recordar que la dirección del viento es siempre la dirección desde la que viene el mismo, no hacia donde va.

Para aplicaciones en energía eólica, aunque la rosa habitual es también útil, es tanto o más interesante considerar una modificación de la misma. Además de la frecuencia con que el viento sopla en una dirección, lo que interesa en este caso es la energía del mismo en las diferentes direcciones. Por ello se suelen representar en colores diferentes sobre un mismo círculo las dos magnitudes; la frecuencia temporal y la fracción de energía en cada uno de los sectores, como se puede observar en la figura.

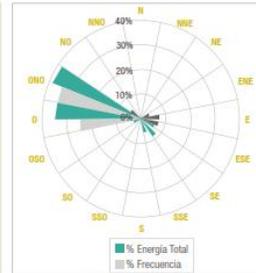


Figura 3. Rosa de viento

2.6 Energía del viento

Si el viento puede aprovecharse para la producción de energía, es porque la contiene en forma de energía cinética. Las máquinas respectivas permitirán transformarla en energía mecánica y, mediante un generador, en la energía eléctrica. En esta sección se muestra el cálculo de energía que contiene el viento.

Para realizar el cálculo, consideremos un flujo de viento de velocidad U que atraviesa un volumen de longitud diferencial dx y sección transversal A .



Figura 4. Flujo a través de un disco

El flujo que atraviesa el disco por unidad de tiempo, dm/dt , según la ecuación de continuidad es:

$$\frac{dm}{dt} = \rho A U$$

donde ρ es la densidad del aire, que al igual que área del disco se considera que no varía con el tiempo. Por otra parte, la potencia o energía cinética por unidad de tiempo será:

$$P = \frac{dE_c}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} \rho A U^3 \right) = \frac{1}{2} \rho A U^3$$

Sustituyendo en la ecuación anterior, queda la siguiente expresión:

$$P = \frac{1}{2} \rho A U^3$$

A continuación se puede definir una nueva magnitud, que mostrará la potencia por unidad de la sección transversal (área barrida), o densidad de potencia, y que vendrá expresada por:

$$P_A = \frac{1}{2} \rho U^3$$

A la luz de estos resultados, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La densidad de potencia es proporcional a la densidad del aire. Esto quiere decir que en general, a mayor altitud, menor la energía disponible a igual velocidad del viento, como se puede comprobar en la Tabla 2.
- La energía que se puede extraer del viento es proporcional al área barrida por el rotor (o al cuadrado de su diámetro en una máquina convencional, con rotor circular).
- La densidad de potencia es proporcional al cubo de la velocidad del viento.
- Las unidades de la densidad de potencia son de potencia por unidad de superficie. En el Sistema Internacional, estas unidades son W/m^2 .

Atlas Eólico del Ecuador

Tabla 2. Variación de la densidad, temperatura y presión con la altitud en una atmósfera estándar

Altitud (m)	Temperatura (°C)	Presión (hPa)	Densidad (kg/m³)
0	15.0	1013.2	1.225
100	14.3	1001.3	1.213
200	13.7	989.5	1.202
300	13.0	977.73	1.190
400	12.4	966.11	1.179
500	11.7	954.6	1.167
1000	8.5	898.7	1.112
2000	2.0	794.9	1.007
3000	-4.5	701.1	0.909
4000	-11.0	616.4	0.818
5000	-17.5	540.2	0.730

2.7 Perfil vertical de viento

Por perfil vertical de viento se entiende la variación de la velocidad del viento horizontal con la altura sobre el suelo. Este es un parámetro importante en la caracterización del recurso eólico en los primeros metros de la atmósfera y que depende de la estabilidad atmosférica, la rugosidad del terreno y la orografía.

Para terrenos con orografía simple y en condiciones de estabilidad neutra, el perfil logarítmico proporciona una buena aproximación al perfil vertical:

$$v_z = v_1 \left(\frac{h_z}{z_0} \right)^{1/4}$$

Donde v_1 es la velocidad del viento a la altura h_1 , v_z es la velocidad del viento a la altura h_z y z_0 es la longitud de rugosidad (o rugosidad del terreno). El parámetro de rugosidad varía con el tipo de suelo, y refleja el hecho experimental e incluso intuitivo de que la disminución de la velocidad horizontal del viento a medida que nos aproximamos a la superficie se produce a ritmos diferentes según si estamos sobre el océano, una pradera, un bosque o una ciudad. En la siguiente tabla se muestra una clasificación de clases de rugosidad orientativas:

Clase de rugosidad	Longitud de rugosidad z_0 (m)	Uso del suelo
0	0.0002	Superficie del agua en calma.
0.5	0.0024	Terreno abierto con superficie lisa: pastos de henojón en los aeroperatos, césped cortado, etc.
1	0.03	Área agrícola abierta sin cercados ni setos y con edificios muy dispersos.
1.5	0.005	Terreno agrícola con algunos cercados y cercados de hasta 6 m de altura separados por más de 1 km.
2	0.1	Terreno agrícola con algunos cercados y cercados de hasta 6 m de altura separados por aproximadamente 500 m.
2.5	0.2	Terreno agrícola con vientos adobes, arbores y pajonales, o cercados de hasta 6 m de altura separados por aproximadamente 250 m.
3	0.4	Ciudades, villas, terreno agrícola con muchos cercados o más altos, bosques.
3.5	0.6	Grandes ciudades con edificios altos.
4	1.6	Ciudades muy grandes con edificios altos y rascacielos.

Sustituyendo en la ecuación anterior para diferentes clases de rugosidad, suponiendo que a 10 m la velocidad del viento es de 5.5 m/s, obtenemos diferentes perfiles verticales del viento, tal y como nos muestra la siguiente gráfica:

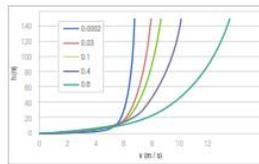


Figura 5. Perfil vertical del viento en función de la longitud de rugosidad

2.8 Ley de Betz

Si se intenta extraer con un aerogenerador la energía del viento, se verá que su velocidad disminuye al traspasar la máquina, dado que el rotor de la turbina eólica debe frenar el viento para transformar su energía cinética en rotacional.

Dado que la cantidad de aire que pasa a través del área barrida por el rotor por unidad de tiempo debe ser igual a la que abandona el área del rotor por el otro lado, el aire ocupará una mayor sección transversal (diámetro) detrás del plano del rotor.

Si se intenta extraer toda la energía del viento, el aire saldrá con una velocidad nula, es decir, el aire no podría abandonar la turbina. En ese caso no se extraería ninguna energía en absoluto, ya que obviamente también se impediría la entrada de aire al rotor del aerogenerador.

En el otro caso extremo, el viento podría pasar sin ser para nada estorbado. En este caso tampoco sería extraída ninguna energía del viento.

Entonces, se puede asumir que debe haber alguna forma de frenar el viento que esté entremedio de estos dos extremos, y que sea la más eficiente en la conversión de la energía del viento en energía mecánica útil. Esta cuestión fue respondida por Albert Betz en un célebre teorema formulado en 1919, según se expone a continuación:

Se considera, cosa bastante razonable, que la velocidad promedio del viento a través del área del rotor es el promedio de la velocidad del viento sin perturbar antes de la turbina eólica, v_1 , y la velocidad del viento después de su paso por el plano del rotor, v_2 , esto es, $(v_1 + v_2)/2$. Siguiendo las fórmulas deducidas en el apartado 3.5, se obtiene que la masa por unidad de tiempo que atraviesa el rotor es:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho V)}{dt} = \rho A \frac{dx}{dt} = \rho A \frac{v_1 + v_2}{2}$$

y la potencia extraída por el rotor es:

$$P = \frac{dE_c}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = \frac{1}{2} (v_1^2 - v_2^2) \frac{dm}{dt}$$

que sustituyendo la expresión anterior daría una potencia extraída de:

$$P = \frac{1}{4} \rho A v_1^3 (v_1^2 - v_2^2) (v_1 + v_2)$$

La potencia del viento incidente sobre el rotor, a la que se denomina P_w sería:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v_1^3$$

Si se comparan los dos valores, se obtiene la siguiente función:

$$\frac{P}{P_w} = \frac{1}{2} \left(1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right) \left(1 + \frac{v_2}{v_1} \right)$$

Esta función, como se puede apreciar en la siguiente figura, tiene un máximo para $v_2/v_1 = 1/3$. El valor máximo de la potencia extraída del viento es entonces de 16/27 ó aproximadamente 0.59 veces la potencia del viento.

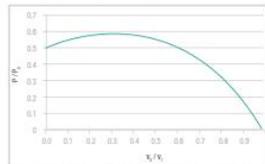


Figura 6. Energía extraíble del viento, según la ley de Betz

2.9 Distribución de Weibull

Experimentalmente se observa que la distribución de frecuencias de una serie de viento (esto es, la proporción relativa de los diferentes rangos de velocidad) se puede ajustar a una distribución de densidad de probabilidad de uno o dos parámetros en la mayoría de las ocasiones. Esto es útil, puesto que la densidad de probabilidad tiene una expresión analítica

que permite realizar cálculos sobre la misma de manera mucho más ágil que el tratamiento directo de la serie completa.

La distribución más extensamente empleada para la representación de una serie de viento es la función densidad de probabilidad de Weibull, cuya expresión es:

$$p(U) = \left(\frac{k}{c} \right)^k \left(\frac{U}{c} \right)^{k-1} \exp \left\{ - \left(\frac{U}{c} \right)^k \right\}$$

Donde U representa el valor del módulo del viento, mientras c y k son los parámetros que caracterizan y distinguen una serie de otra. El parámetro c da una idea de la altura de la distribución, mientras que k está relacionado con la anchura de la misma. Realizando algo de álgebra con la expresión, se puede obtener la función de distribución acumulada, $F(U)$, que da la probabilidad de que el viento sea igual o inferior a un valor:

$$F(U) = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{U}{c} \right)^k \right\}$$

También se puede obtener expresiones para el valor medio del viento y su desviación estándar en función de estos dos parámetros:

$$U = c \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \Gamma(\alpha) - \int_0^{\infty} e^{-t} t^{\alpha-1} dt$$

$$\sigma^2 = c^2 \left[\frac{\Gamma(1 + 2/k) - 1}{\Gamma(1 + 1/k)^2} \right]$$

Donde $\Gamma(x)$ es la función Gamma de Euler. En la siguiente figura, se puede apreciar un ejemplo de una distribución real de viento y su correspondiente ajuste de Weibull. El programa con el que ha sido generada nombra al factor c como A .

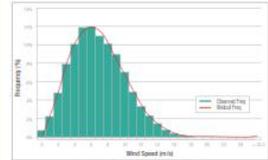


Figura 7. Distribución de Weibull

2.10 Cálculo simplificado de producción

La capacidad de producir energía de un aerogenerador se caracteriza usualmente con su curva de potencia. Esta consiste en una matriz de valores de velocidad del viento (usualmente en intervalos de 0.5 ó 1 m/s) y potencia. Figurosamente, los aerogeneradores no se caracterizan por una única curva de potencia, sino por una familia de curvas, puesto que la potencia extraíble del viento, como ya hemos visto, no depende únicamente de la velocidad del viento, sino también de la densidad del aire.

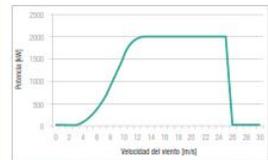


Figura 8. Curva de potencia de un aerogenerador estándar de 2000kW

Con todo lo expuesto, es relativamente sencillo calcular de manera aproximada la producción de un aerogenerador en un emplazamiento concreto si conocemos:

- Los parámetros de Weibull del viento a la altura del buje del aerogenerador.
- La curva de potencia correspondiente a la densidad a la altura del buje.

Si llamamos $W(U)$ a la curva de potencia (en función de la velocidad), la potencia promedio generada por el aerogenerador viene dada por la expresión:

$$Pot = \int_0^{\infty} p(U) \cdot W(U) \cdot dU$$

Atlas Eólico del Ecuador



Donde $p(U)$ es la función densidad de probabilidad de Weibull. Normalmente, de la curva de potencia no existe una expresión analítica, sino que es únicamente una tabla de valores numéricos, por lo que no se resuelve la integral mostrada aquí, sino como un sumatorio de las contribuciones de los intervalos de velocidad en que se reparte la curva de potencia.

Si observamos la forma de la distribución de Weibull y de la curva de potencia, observamos que los máximos de ambas curvas no son simultáneos. Aunque la distribución depende de cada emplazamiento, los vientos más frecuentes suelen producirse coincidiendo con la parte de la curva de pendiente más acusada. En cambio, las mayores potencias entregadas por los aerogeneradores coinciden con velocidades del viento muy poco frecuentes. Existen diversos sitios de Internet que incluyen calculadoras para estimar la producción a partir de una curva de potencia y la distribución de Weibull a partir del método expuesto.

Es conveniente recordar que el cálculo de la producción a partir de una distribución paramétrica es únicamente un estimado, puesto que la propia función es una aproximación a la distribución de vientos real. Además, las propias características técnicas de funcionamiento de los aerogeneradores (orientación al viento dominante, pérdidas de diversa índole, disponibilidad, etc.) hacen que la energía neta pueda diferir notablemente de la estimada con este método.

Ejemplo de cálculo

Con la base técnica introducida en los apartados anteriores, vamos a realizar un sencillo cálculo de la producción esperada de un aerogenerador en un emplazamiento, suponiendo que conocemos la curva de potencia adecuada a la densidad del mismo, y la distribución de Weibull del viento a altura de buje. Tomaremos como referencia una curva de potencia ficticia, elaborada a partir de la composición de las correspondientes a diferentes aerogeneradores actuales. Para simplificar, supondremos que el emplazamiento se encuentra a nivel del mar ($\rho=1,225 \text{ kg/m}^3$) y que la distribución del viento a altura de buje sigue una distribución de Weibull con $c=7,5 \text{ m/s}$ y $k=2,0$.

Tabla 4. Curva de potencia ficticia utilizada en el ejemplo de cálculo

Velocidad (m/s)	Potencia (kW)
0	0
1	0
2	0
3	0
4	57
5	177
6	348
7	575
8	868
9	1213
10	1554
11	1810
12	1943
13	1985
14	1996
15	2000
16	2000
17	2000
18	2000
19	2000
20	2000
21	2000
22	2000
23	2000
24	2000
25	2000
26	0
27	0
28	0
29	0
30	0

Para obtener el valor de potencia promedio, debemos calcular en primer lugar la probabilidad de que la velocidad del viento se encuentre en cada uno de los intervalos mostrados de la

curva de potencia. Los intervalos de cálculo de probabilidad se tomarán en el punto intermedio entre los intervalos de la curva. Por ejemplo, para 6 m/s, calcularemos la probabilidad de que la velocidad del viento esté comprendida entre 5,5 y 6,5 m/s, mediante la ecuación de la probabilidad acumulada:

$$F(v \leq U) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right]$$

Sustituyendo los valores:

$$F(v \leq 5,5) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{5,5}{7,5}\right)^2\right] = 0,416$$

$$F(v \leq 6,5) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{6,5}{7,5}\right)^2\right] = 0,528$$

Lo que supone una probabilidad conjunta de

$$p(5,5 < v < 6,5) = 0,112$$

Multiplicando cada probabilidad obtenida con este método por la potencia de cada intervalo y sumando, obtenemos la potencia media producida por el aerogenerador en este emplazamiento, como muestra la siguiente tabla:

Tabla 5. Estimación de la potencia media

Velocidad (m/s)	Probabilidad	Potencia (kW)
0	0,000	0,00
1	0,035	0,00
2	0,066	0,00
3	0,091	0,00
4	0,107	6,08
5	0,114	20,11
6	0,112	39,05
7	0,104	56,78
8	0,091	79,05
9	0,076	91,95
10	0,065	93,46
11	0,046	82,53
12	0,033	64,29
13	0,023	45,68
14	0,015	30,05
15	0,010	19,08
16	0,004	12,12
17	0,004	7,17
18	0,002	4,08
19	0,001	2,24
20	0,001	1,18
21	0,000	0,60
22	0,000	0,29
23	0,000	0,14
24	0,000	0,06
25	0,000	0,03
26	0,000	0,00
27	0,000	0,00
28	0,000	0,00
29	0,000	0,00
30	0,000	0,00
Suma	98,56%	660,22

Vemos que por la forma de la distribución de Weibull, la distribución de velocidades se concentra en apenas un pequeño rango de velocidades. Para que este tipo de cálculos mostrados no dependan del aerogenerador considerado, se suele calcular el llamado factor de capacidad o de planta, que se define simplemente como el cociente entre la potencia media y la potencia máxima del aerogenerador. En el ejemplo que nos ocupa sería:

$$FC = \frac{660,22}{2000} = 33,01\%$$

Una estimación de la producción bruta anual se obtendría multiplicando la potencia media en kW por las 8760 horas que tiene un año. Esta magnitud tiene unidades de energía y en el presente ejemplo tendría un valor de 5.783.544,51 kWh. Por último, considerando una tarifa orientativa de 10 centavos de US\$ por kWh, la remuneración por venta de la energía producida por el aerogenerador sería de alrededor de \$578.354.

3. METODOLOGÍA

Las técnicas convencionales en el estudio del potencial eólico requieren mucho tiempo y, a menudo, dependen de la disponibilidad de costosas torres meteorológicas. Asimismo, los métodos convencionales de flujo de viento son poco precisos ante regímenes de viento muy variables, e incluso en zonas de terreno

moderadamente complejo, su exactitud decae sustancialmente con la distancia a la torre de observación más cercana.

Las técnicas de modelización mesoescales y microescalares ofrecen una solución muy efectiva a todos estos problemas. Combinando la utilización de un sofisticado modelo de simulación atmosférica, capaz de reproducir los patrones de viento a gran escala, con un modelo de viento microescalar que responda a las características del terreno y a la topografía, se pueden llevar a cabo estudios del potencial eólico en regiones extensas con un nivel de detalle imposible de alcanzar en el pasado. Además, hay que remarcar que no son necesarios datos de viento de entrada para conseguir resultados razonablemente precisos, a pesar de que los datos de torres meteorológicas son imprescindibles para confirmar el potencial eólico previsto en un punto concreto. La modelización atmosférica mesoescalar y microescalar reduce notablemente el coste y el tiempo necesarios para identificar y evaluar regiones potencialmente prometedoras para la implantación de proyectos eólicos.

Para la realización del presente estudio, se ha empleado el sistema MesoMap, que consiste en una integración de modelos de simulación de la atmósfera, bases de datos, estaciones de trabajo y unidades de disco de gran capacidad. En el corazón de MesoMap está el MASS (Mesoscale Atmospheric Simulation System), un modelo físico-matemático que simula el comportamiento de la atmósfera a mesoescala. El modelo MASS se aplica a un modelo de microescala simplificado de flujo de viento, WindMap, que se utiliza para refinar la resolución espacial del MASS y para incluir los efectos locales de la rugosidad y la orografía. El MASS simula las condiciones atmosféricas sobre la región de interés para un total de 366 días elegidos de forma aleatoria de un total de 15 años. Una vez finalizadas las simulaciones, los resultados se introducen en WindMap. El MASS se ha ejecutado hasta llegar a una resolución de 2,5 Km, mientras que WindMap se ha ejecutado con una resolución de 200m.

Básicamente, el sistema MesoMap consta de tres componentes: modelos, bases de datos y sistemas de cálculo. A continuación se describen cada uno de estos componentes.

3.1 Modelos

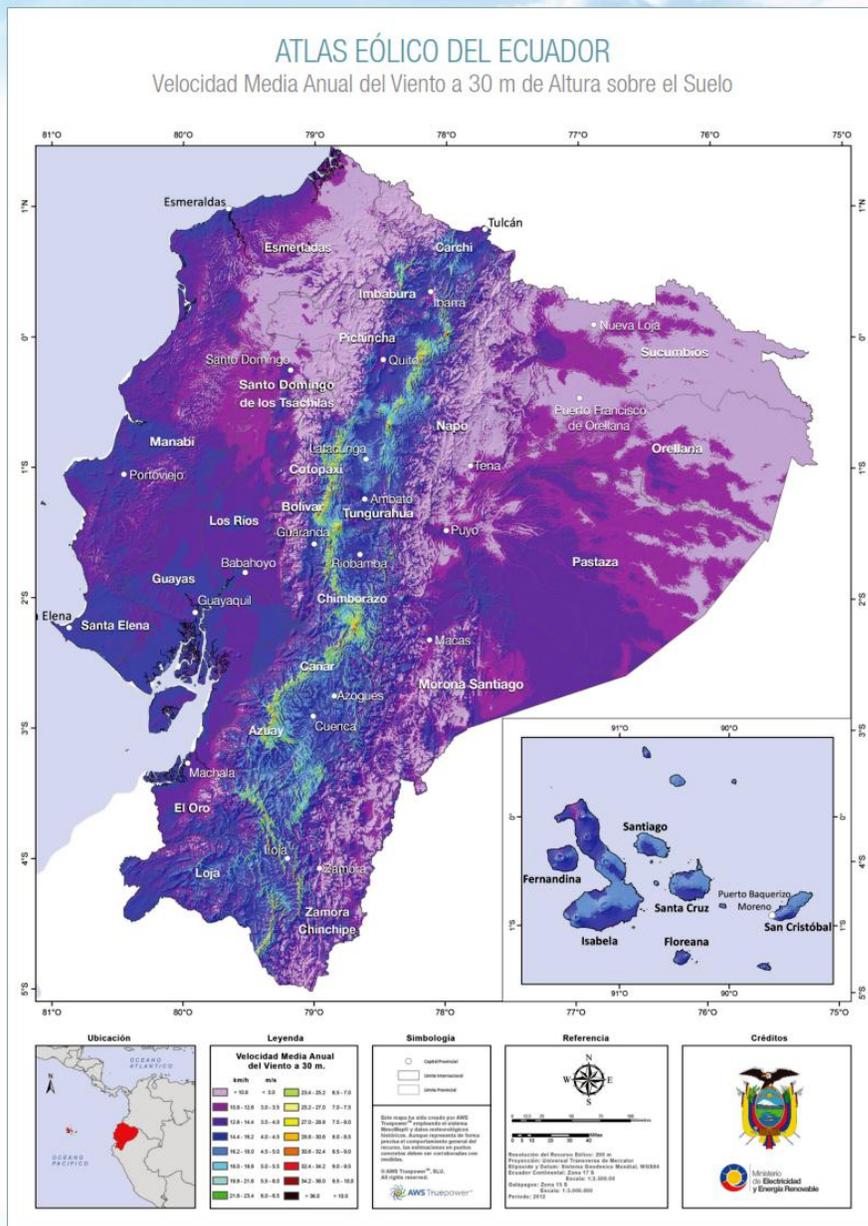
En el corazón del sistema MesoMap está el MASS (Mesoscale Atmospheric Simulation System), un modelo numérico de predicción que ha sido desarrollado en los últimos 30 años por Meso Inc, como herramienta de investigación, así como plataforma de generación de productos meteorológicos comerciales. El MASS simula los fenómenos físicos fundamentales que gobiernan la atmósfera, incluyendo la conservación de la masa, la cantidad de movimiento y la energía (los principios básicos de la dinámica y termodinámica clásicas). También posee un módulo de energía cinética turbulenta que tiene en consideración la viscosidad y la estabilidad térmica de la cizalladura del viento. Como modelo dinámico, el MASS simula la evolución de las condiciones atmosféricas en pasos de tiempo del orden de pocos segundos. Esto genera una fuerte demanda de recursos computacionales, especialmente cuando se trabaja en resoluciones muy elevadas. Finalmente, el MASS se aplica a un modelo más simple y rápido, WindMap. Se trata de un modelo de conservación de masa que simula el flujo de viento. Dependiendo de la extensión y la complejidad de la región, WindMap se utiliza para mejorar la resolución espacial de las simulaciones del MASS para así tener en consideración los efectos del terreno y las variaciones locales de la superficie.

3.2 Bases de datos

El modelo MASS utiliza diferentes tipos de bases de datos globales, geofísicas y meteorológicas. Las principales fuentes de datos son datos de reanálisis, radiosondeos, superficie y características de los usos del suelo. La base de datos de reanálisis –la más importante– está constituida por datos meteorológicos históricos referidos a una red tridimensional generados por el US National Center for Environmental Prediction (NCEP) y el National Center for Atmospheric Research (NCAR). Estos datos permiten obtener una instantánea de las condiciones meteorológicas en todo el globo a distintas alturas y a intervalos de 6 horas. Combinando los datos de radiosondeo, superficie y el reanálisis, se establecen las condiciones iniciales, así como las condiciones de contorno actualizadas para las simulaciones del modelo MASS. El MASS, por el mismo, determina la evolución de las condiciones atmosféricas. Como los datos de reanálisis tienen poco detalle, el MASS se ejecuta



Atlas Eólico del Ecuador



Guía energía eólica

Conocida la información aerodinámica como en la Figura 20, se pueden calcular las fuerzas generadas en una sección de pala de un equipo eólico. Para ello es esencial entender entonces el diagrama de las velocidades que inciden sobre un elemento de pala.

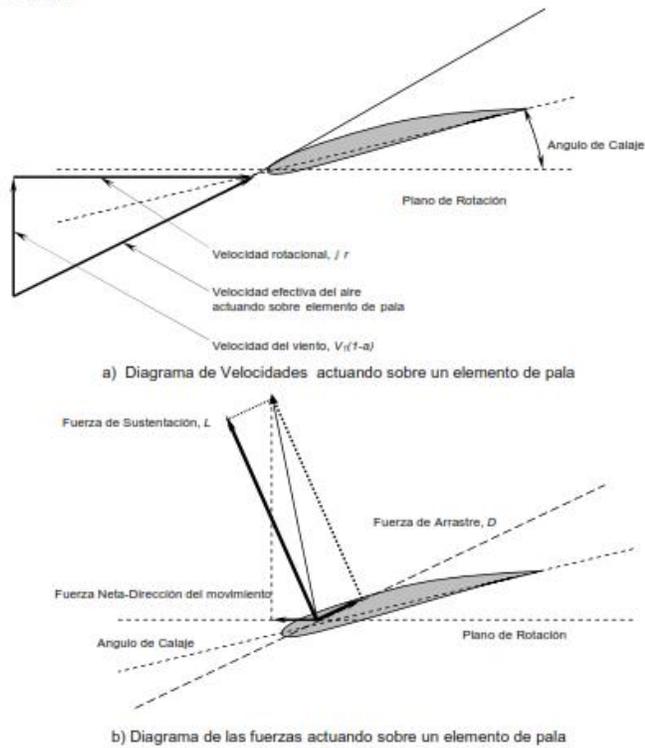


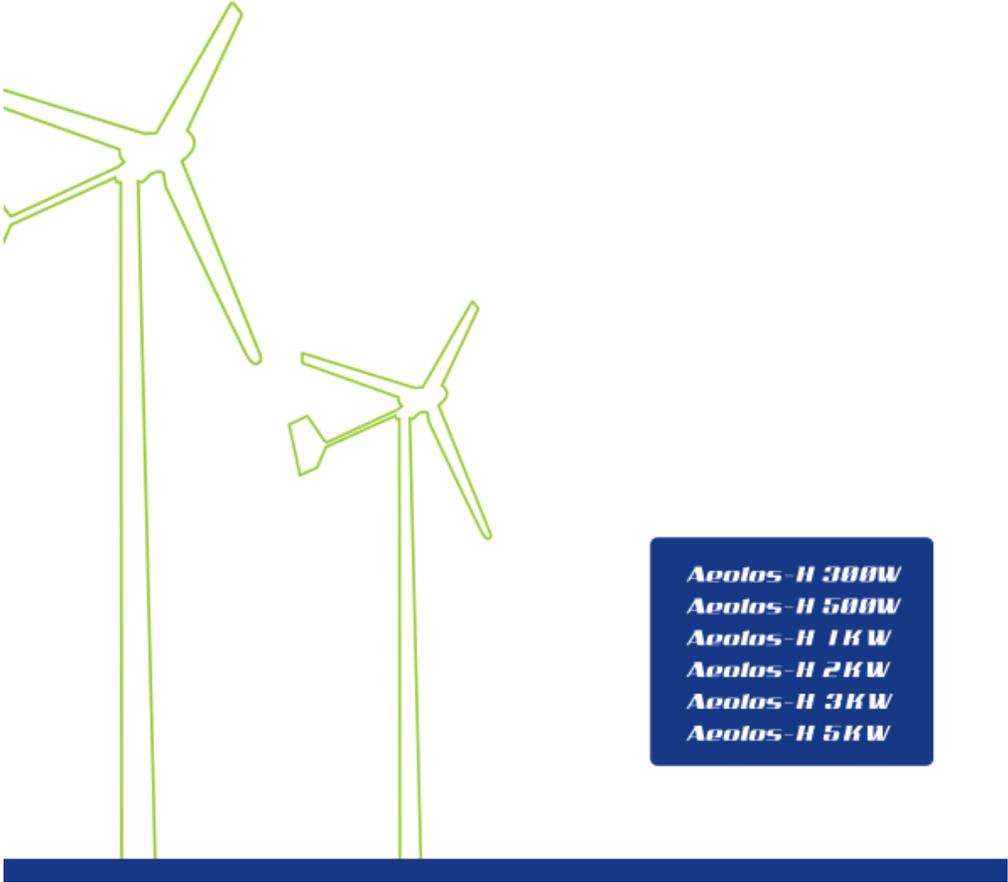
Figura 20 Diagrama de Velocidades y fuerzas actuando sobre un elemento de pala

Vale la pena mencionar que cada elemento está desplazándose a una velocidad rotacional diferente, dependiendo de su posición radial; al igual que para cada

Catálogos Aeolos wind turbine

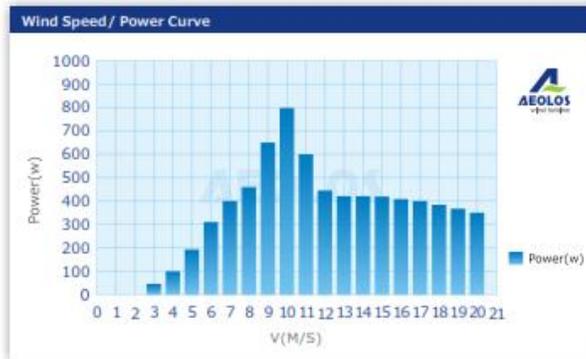
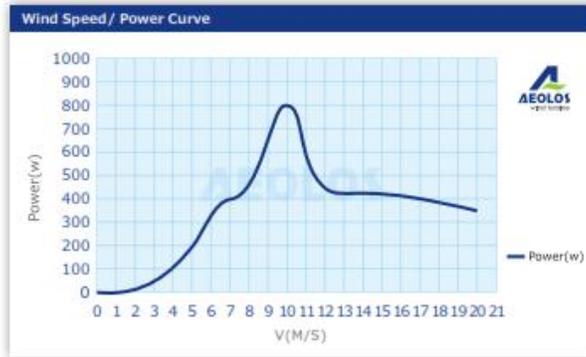


POWER CURVE
POWER HISTOGRAM



Catálogos Aeolos wind turbine

Aeolos-H 300W



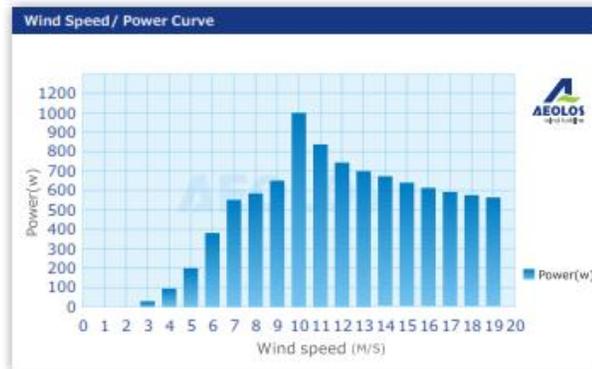
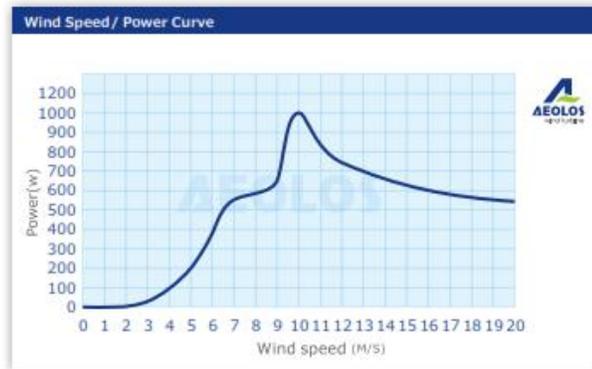
Aeolos-H 300W Wind Turbine Output

Wind Speed(m/s)	3	4	5	6	7	8	9	10
Generator Power(w)	22	75	200	300	400	430	700	800
Annual Energy Output(kwh)	193	657	1752	2628	3504	3767	6132	7008



Catálogos Aeolos wind turbine

Aeolos-H 500W



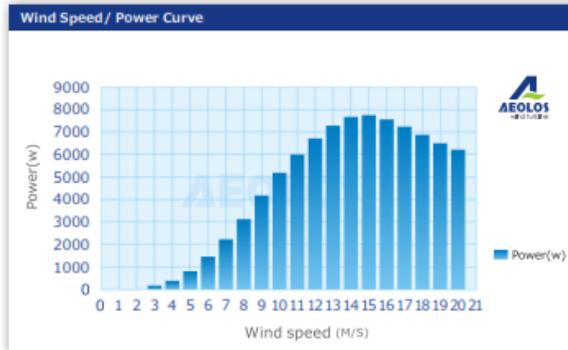
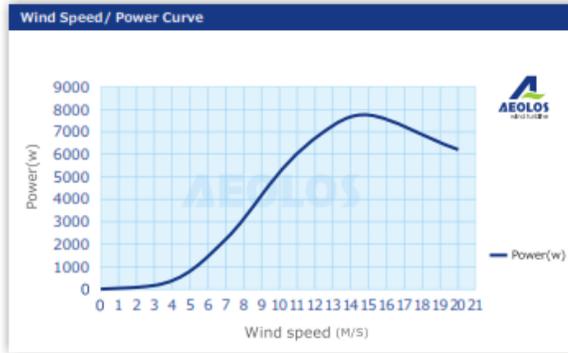
Aeolos-H 500W Wind Turbine Output

Wind Speed(m/s)	3	4	5	6	7	8	9	10
Generator Power(w)	30	100	200	400	550	600	650	1000
Annual Energy Output(kwh)	263	876	1752	3504	4818	5256	5694	8760



Catálogos Aeolos wind turbine 5 KW.

Aeolos-H 5kW

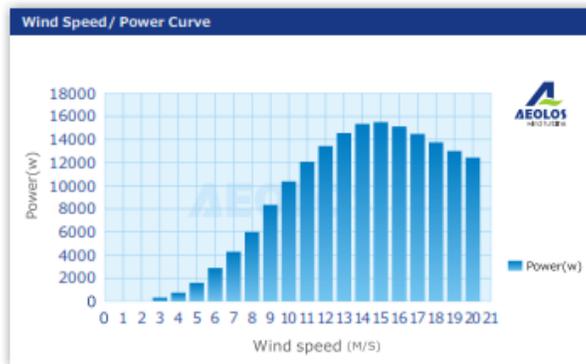
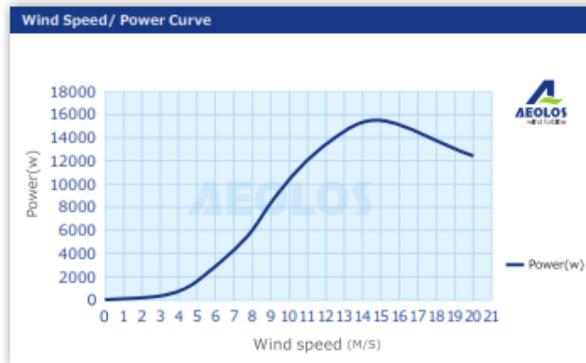


Aeolos-H 5kW Wind Turbine Output	
Wind Speed(m/s)	3 4 5 6 7 8 9 10
Generator Power(w)	170 460 930 1463 2210 3000 4100 5152
Annual Energy Output(kwh)	1489 4030 8147 12816 19360 26280 35916 45132



Catálogos Aeolos wind turbine 10 KW.

Aeolos-H 10kW

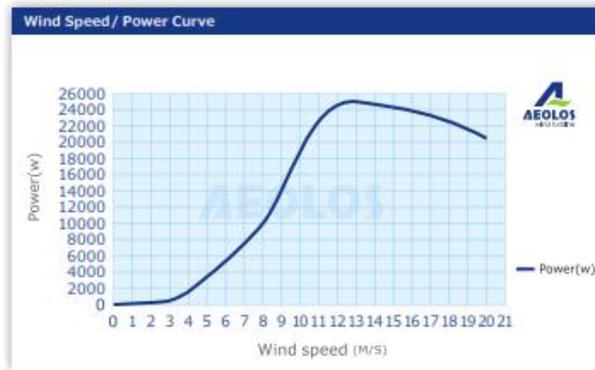


Aeolos-H 10kW Wind Turbine Output	
Wind Speed(m/s)	3 4 5 6 7 8 9 10
Generator Power(w)	342 920 1860 2926 4200 6000 8200 10080
Annual Energy Output(kwh)	2996 8059 16294 25632 36792 52560 71832 88301



Catálogos Aeolos wind turbine 20 KW.

Aeolos-H 20kW



Aeolos-H 20kW Wind Turbine Output	
Wind Speed(m/s)	3 4 5 6 7 8 9 10
Generator Power(w)	616 2202 3500 5098 7200 10210 13640 19800
Annual Energy Output(kwh)	5395 19288 30660 44659 63072 89440 119494 173448



Catálogos Aeolos wind turbine 30 KW.

Aeolos-H 30kW



Aeolos-H 30kW Wind Turbine Output

Wind Speed(m/s)	3	4	5	6	7	8	9	10
Generator Power(w)	754	2157	4258	7367	11651	16353	23307	33018
Annual Energy Output(kwh)	6609	18894	37302	64535	102065	143253	204172	289240



Catálogos Aeolos wind turbine 50 KW.

Aeolos-H 50kW



Aeolos-H 50kW Wind Turbine Output								
Wind Speed(m/s)	3	4	5	6	7	8	10	
Generator Power(w)	957	2274	5556	10700	17742	25708	37643	52751
Annual Energy Output(kwh)	8379	19923	48672	93730	155424	225202	329757	462095



Detalles técnicos de aerogenerador de 30 KW



Aeolos-H 30KW
windturbinestar.com



TURBINE

Rated power 30 kw
 Start wind speed 3 m/s
 Cut-in wind speed 3.0 m/s (6.7 mph)
 Cut-out wind speed 25 m/s (55.9 mph)
 Survival wind speed 45 m/s (100.7 mph)
 Design lifetime 30 years
 Overall weight 1380 kg (3042.3 lbs) including generator and blades

ROTOR

Rotor diameter 12.5m (41 ft)
 swept area 122.6m² (1319.6ft²)
 Rotor speed 100 rpm
 Blade material Glass fiber

GENERATOR

Frequency 50 Hz or 60 Hz
 Voltage 320-480V
 Type Three Phase Permanent magnetic generator
 Generator efficiency >0.85

CONTROL&SAFETY SYSTEM

Main brake system Automatic protection brake system
 Secondary safety hydraulic brake system

TOWERS

Free standing tower 18m or 24m

WARRANTY

Standard warranty 5 years
 extended warranty 10 years

Wind Speed / Power Curve

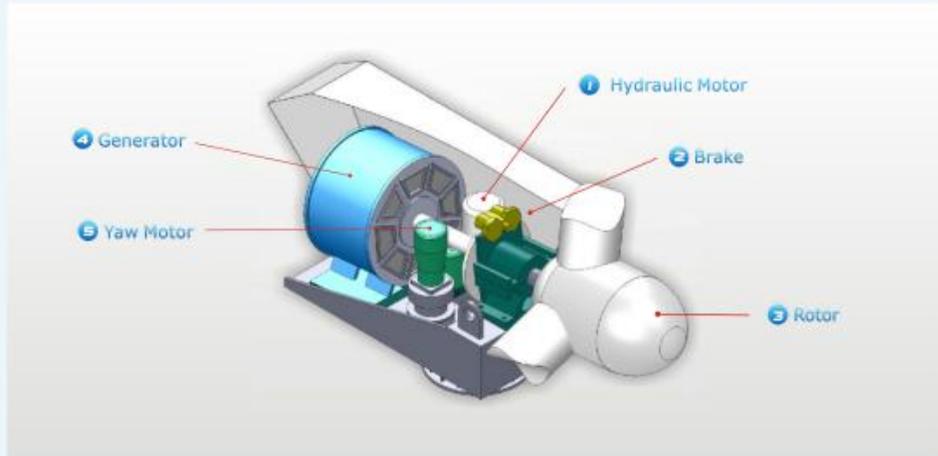


NOISE CURVE



Aeolos-H 30kW Wind Turbine Output							
Wind Speed(m/s)	3	4	5	6	7	8	10
Generator Power(w)	754	2157	4258	7367	11651	16353	33018
Annual Energy Output(kwh)	6609	18894	37302	64535	102065	143253	289240





WHY CHOOSE US ?

12.5m Rotor Diameter

Aeolos H-30kw wind turbine has the largest swept area in 30kw wind turbines. It could capture more wind energy in the same wind speed.

Directive Drive Generator

Aeolos H-30kw used patent directive drive generator, no gearbox or booster device. This directive drive design will avoid the potential problems in gearbox and make the turbine more reliable.

Low RPM Design

AeolosH-30kw rated rotor speed is 100RPM. Low RPM will bring the low noise level and fewer loads to blades.

Dual brake system

AeolosH-30kw wind turbine has the hydraulic brake system and electronic brake system. They will effectively protect the wind turbine in high wind speed.



Blades:

Aeolos H 30kw blades were made by vacuum infusion molding process that will ensure the best strength and quality.



Generator:

Aeolos H 30kw generator is a patent low speed directive drive generator. Ensure the good performance of Aeolos 30kw in reliability, low noisy and output efficiency.



Controller & Inverter:

Aeolos built a good cooperation with ABB. ABB provided the OEM controller & inverter for Aeolos H 30kw wind turbine.



Aeolos Wind Energy,Ltd (UK)
32 Berkeley Square, Mayfair, London, W1J 5BT
Tel: +44 207 495 6167 Fax: +44 207 495 8063
E-mail: sales@windturbinestar.com

5 YEAR WARRANTY



Detalles técnicos de aerogenerador de 20 KW



Aeolos-H 20KW

www.australianwindandsolar.com




Turbine

Rated power 20 kW
 Max Power 25kW
 Cut-in wind speed 3 m/s (6.7 mph)
 Rated Wind speed 10m/s (22.3 mph)
 Survival wind speed 50m/s (111.5 mph)
 Design lifetime 20 years
 Overall weight 820kg (1807.8lbs)

Rotor

Rotor diameter 10.0 m (32.8 ft)
 Rotor swept area 78.5m (844.5ft)
 Rotor speed 90 rpm
 Blade material Fiber Glass

Generator

Drive Type Direct Drive (Without Gearbox)
 Generator Type Permanent Magnet Generator
 Generator Voltage 100V - 380V
 Efficiency 95%

Controller

Control System PLC with Touch Screen
 Remote Monitoring Optional

Safety

Main Brake System Yaw Control & Electronic Brake
 Secondary Brake System Mechanical Hydraulic Brake

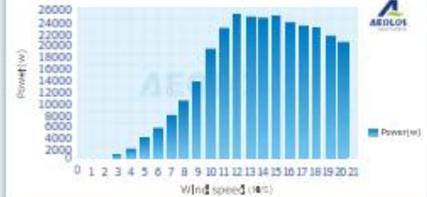
Tower

Monopole Tower 18m 24m 30m
 Hydraulic Tower 18m 24m

Warranty

Standard warranty 5 years

Wind Speed / Power Curve



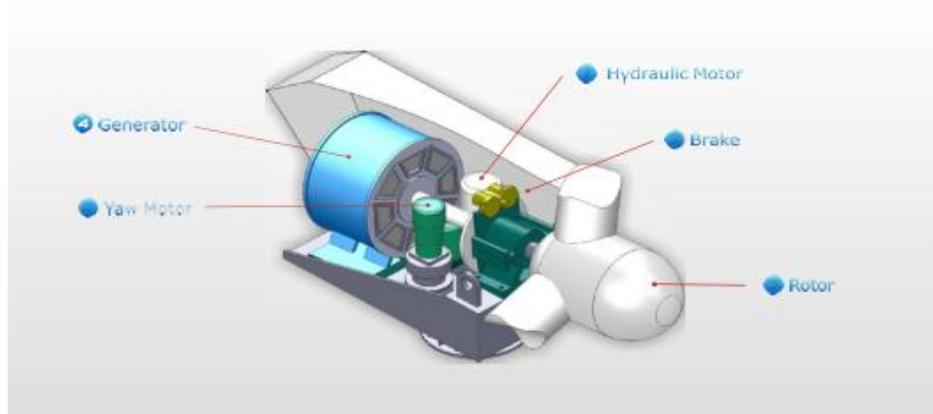
NOISE CURVE



Aeolos-H 20kW Wind Turbine Output										
Wind Speed(m/s)	3	4	5	6	7	8	9	10		
Generator Power(w)	016	2202	3500	5098	7200	10210	13040	19800		
Annual Energy Output(kwh)	5393	19288	30660	44059	63072	89440	119494	173448		

5 YEAR WARRANTY  





Why Choose AEOLIS-H 20kW Wind Turbine?

Triple Safety & Brake Protection

Yaw Control: PLC controller will control the yaw motor to deviate wind turbine from the wind direction at an angle of 30 degrees, 60 degrees or 90 degrees when it detects the faults of over wind speed, over voltage or generator over temperature.

Electronic Brake: Aeolos-H 20kW has a 30kW dump load box and uses PWM technology as the electronic brake control. PWM could control the over voltage and turbine over speed smoothly.

Mechanical Brake: As the secondary protection system, mechanical brake was driven by high quality German hydraulic station. It could stop the wind turbine rotor in over speed, over voltage, over temperature or grid failure.



High Efficiency & Reliable Design

Aeolos-H 20kW uses a directly driven generator without gearbox or booster device. The generator is directly driven by blade rotor. It has 30% more power output than induction generator at the same wind speed.

The directly driven design is more reliable than the induction generator with gearbox. All of the mechanical and electronic components choose the best quality manufacturers like SKF, ABB and Omron. All of designs follow the less or free maintenance principles.



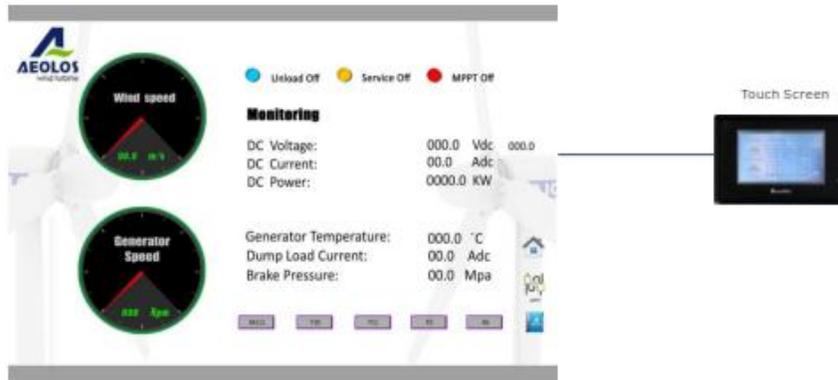
5 YEAR WARRANTY  



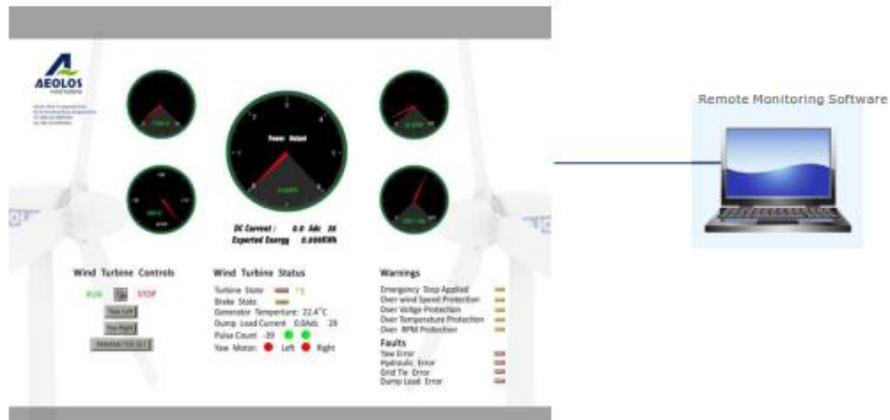


Intelligent Control & Remote Monitoring

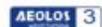
Aeolos employs Programmable logic controller (PLC) and touch screen as the control system. All the operation data like wind speed and power output can be recorded and customer can easily adjust the protection data of wind speed, voltage, current and rpm through controller.



Aeolos provides remote monitoring function to the customers. You can remotely monitor and control the wind turbine operation through wireless or wire Internet in home, office, airport and anywhere.



5 YEAR WARRANTY

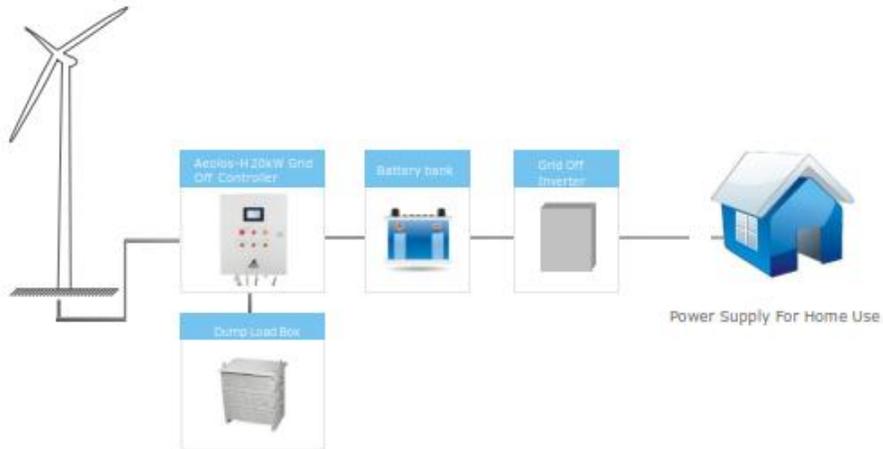




Grid-on



Grid-off



AUSTRALIAN WIND AND SOLAR

Head Office: 11/15 Thackray St
Port Melbourne, VICTORIA
Tel: 1300 736 458
www.australianwindandsolar.com

5 YEAR WARRANTY

