

## Medición del Potencial Eólico para Construcción del Futuro Parque Eólico en el Campus Prosperina

M. Pazmiño, R. Hidalgo, P. Jácome  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción.  
Escuela Superior Politécnica del Litoral  
Km. 30.5 vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador  
Director del Proyecto, Investigador, Investigador  
mpazmino@espol.edu.ec, rhidalgo@espol.edu.ec, psjacome@gmail.com

### Resumen

*La ESPOL busca coadyuvar con el abastecimiento de energía eléctrica para el país mediante la utilización de Fuentes Renovables de Energía. El proyecto en marcha utiliza Energía Eólica para generar electricidad entre 1.0 y 2.0 MW, la potencia eléctrica que se pretende suministrar dependerá de la disponibilidad del potencial eólico en el Campus Prosperina, el cual, está siendo evaluado por sensores de precisión instalados en una torre de 40 m de altura. Además de los sensores que están dispuestos en las torres a alturas de 10 m, 25m y 40 m y que se emplean para la recopilación de los datos de Velocidad y Dirección del Viento se hace uso también de equipos de almacenamiento con el fin de mantener los datos hasta descargarlos una vez por mes y someterlos a análisis posteriores. Al momento se ha cubierto exitosamente el 25% del tramo referente a la toma de datos. Las empresas constructoras de aerogeneradores requieren de datos reales In Situ de por lo menos un año para el diseño y construcción de un aerogenerador, los datos en el presente proyecto serán recopilados hasta febrero del 2008. El objetivo principal de este proyecto consiste en proporcionar una alternativa para el proceso de generación de electricidad y reducir de esta forma las emisiones de CO<sub>2</sub> que las plantas termoeléctricas producen sobre todo en sitios en donde mayoritariamente se utilizan estas plantas para generar energía eléctrica, como es el caso de Guayaquil y la provincia del Guayas.*

**Palabras Claves:** Aerogeneradores, Fuentes Renovables de Energía, Energía Eólica, Potencial Eólico

### Abstract

*The ESPOL pretends collaborate in the generation of electric energy in Ecuador by using Renewable Sources of Energy. The present project is based in the generation of Wind Energy; depending of the Wind Potential available in the Prosperina Campus is possible to install a generator of 1.0 - 2.0 MW. The Wind Potential is being evaluated in the campus by a tower of 40 m of height on which are installed several precision sensors for take the measure of speed and bearing of wind, the instruments are located at a height of 10, 25 and 40 m on the tower. The system also logs the data of the wind and once a month the data is downloaded for later analysis. At the moment the 25% of data of the wind of the Prosperina Campus has been taken. The Wind Turbine Generator manufacturers require real data in situ which must be taken during at least for a year in order to design a Wind Turbine Generator, the data compilation in this project will have completed on February, 2008. The principal objective of this project is to give an alternative for the process of the electric energy generation and reduce by this way the CO<sub>2</sub> emissions of the thermoelectric plants, in Guayaquil and the Guayas province the principal source of the energy electric is generated by thermoelectric plants.*

**Keywords:** Wind Turbine Generator, Renewable Sources of Energy, Wind Energy, Wind Potential.

### 1. Introducción

En momentos en que la naturaleza nos está pasando factura por lo malos manejos de los recursos naturales, la humanidad está en la necesidad de hacer algo para no llegar a límites en donde la naturaleza revierta todo el daño a la que ha sido sometida por parte de los seres humanos.

Recientes estudios científicos [1] demuestran que en las últimas décadas la temperatura de la tierra ha

ido incrementando gradualmente (fenómeno conocido como Calentamiento Global [2]) éste aumento de temperatura es consecuencia de las ingentes cantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que a cada momento se originan por la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas, leña, carbón, alcohol vegetal, etc.) en los procesos de generación de energía utilizable para cumplir con las exigencias de la vida moderna.

De a poco los seres humanos están comenzando a hacer conciencia acerca del impacto de la presencia de gases tóxicos, como el CO<sub>2</sub>, en la atmósfera terrestre. En la actualidad los países desarrollados están orientando sus recursos a la investigación y optimización del uso de energías limpias (en sus procesos no requieren la quema de combustibles fósiles) para la generación de electricidad. Todos estos esfuerzos, tal como concluyó la reunión realizada en el 1998 acerca del calentamiento global [3], tienen dos propósitos fundamentales:

- Presentar una alternativa energética a las fuentes dependientes del petróleo cuyas reservas cada vez se reducen y no durarán para siempre.
- Disminuir las emanaciones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y detener de este modo el Calentamiento Global.

Las Energías Renovables o energías limpias son una fuente de energía inmensa, inagotable y se pueden regenerar por medios naturales, de esta forma no se atenta en contra del medio ambiente. Estas energías provienen principalmente del sol y del viento conocidas comúnmente como Energía Solar y Energía Eólica respectivamente.

La Energía Eólica está siendo utilizada en gran escala en la generación de electricidad y es una apuesta seria no sólo para los países con capacidad tecnológica sino también en países en vías de desarrollo como el Ecuador.

Para la conversión de energía eólica a energía eléctrica se utilizan máquinas conocidas como "aerogeneradores", que consisten en una o varias hélices sujetas al rotor de un generador eléctrico. Las hélices aprovechan la fuerza del viento para forzar al giro del rotor del generador. Al girar la hélice los campos magnéticos inherentes al generador eléctrico (movimiento del rotor dentro del campo magnético del estator) interactúan y producen energía eléctrica [4] Actualmente en el mercado se pueden encontrar aerogeneradores con capacidad de generación de algunas decenas de kilovatios a varios megavatios. La cantidad de energía eléctrica generada dependerá estrictamente de las condiciones del viento (velocidad y dirección) en el sitio en el que se encuentre instalado el aerogenerador.

Para la instalación de uno o varios aerogeneradores en un sitio determinado se requiere primeramente realizar una recolección de los datos correspondientes a la velocidad del viento, dirección del viento y datos meteorológicos, éstos parámetros son medidos en puntos apropiados y bien distribuidos en el área a evaluar y a alturas convenientes, durante un periodo de tiempo suficientemente largo (mínimo un año). Una vez recolectados los datos, estos son procesados estadísticamente con el fin hacer una estimación de la característica energética del viento o Potencial Eólico en esa zona. Dependiendo de los resultados se puede concluir la factibilidad o no de la instalación de un aerogenerador, así como también detalles de diseño y el tipo de aerogenerador que conviene en el sitio escogido.

En las siguientes páginas del presente artículo se resume las actividades realizadas como parte del proyecto para la recopilación de datos del viento en una zona conocida como "El Mirador ESPOL" así como también se incluyen resultados y primeras conclusiones en lo que respecta a los primeros meses de ejecutado el proyecto.

## 2. Objetivos

- Determinar un sitio apropiado para la realización de un estudio de las características energéticas del viento.
- Recolectar datos del viento en la zona durante un año.
- Dar un tratamiento estadístico de los datos y analizar los resultados.
- Determinar la factibilidad de la instalación de uno o varios aerogeneradores en la zona objeto de estudio.

## 3. Metodología

### 3.1 Equipos utilizados

A continuación (Tabla 1 y Tabla 2) se presentan las características principales de los equipos de medición y seguridad utilizados en el presente proyecto para cuantificar el potencial eólico:

**Tabla 1.** Equipos medición y características

Equipos Utilizados	Cantidad	Función	Características
Anemómetros	3	Adquisición de datos velocidad del viento	Marca FISCHER, rango de medición de 0 a 70 m/s con carga máxima de 100 m/s y con alimentación de 12 a 30 Vdc con certificación MEASNET (The international Measuring Network of Wind Energy Institutes).
Veletas	3	Adquisición de datos dirección del viento	Marca FISCHER, rango 360°, carga máxima de 100 m/s y alimentación de 12 a 30 VDC.

			certificación MEASNET (The international Measuring Network of Wind Energy Institutes).
Datalogger	1	Cada sensor envía 6 datos cada hora en lapsos de 10 min. y todo esto se almacena en el datalogger	Marca Theodor Friedrichs & Co. Tipo Combilog LT 1021 con 512 KB de memoria y alimentación de 10 a 30 Vdc
Regulador de Carga Solar	1	Controla el almacenamiento de energía generada por un panel solar (12 Vdc) a un banco de baterías (12 Vdc).	Marca Steca, Imax de entrada 20 A. Voltaje de funcionamiento 12 Vdc
Panel solar.	1	Genera el voltaje necesario para los equipos,	Marca Kyocera, 80 Wp. 12 Vdc
Batería solar	1	Almacena energía para ser entregada en la noche o en días tenues	Marca Classic, 60 Ah, 12 Vdc
Torre	1	Posicionamiento de equipos para las mediciones	40 m de altura. Tipo triangular, tubular de acero, soportada

Tabla 2. Equipos seguridad

	Cantidad	Característica
Lámpara de señalización (baliza).	1	Luces de Trafico Aéreo, consumo 3 W.
Pararrayos	1	Tipo 4 puntas con varilla de puesta a tierra y cable 3/0 (45 m.)
Cámara de seguridad (transmisor)	1	Color Inalámbrica con Transmisor 2,4 GHz, Receptor 2.4 GHz. Contra Robos y Vandalismo. Las imágenes aparecen en un computador que se encuentra en la Garita Principal ESPOL donde el Personal de Seguridad tomará las medidas correctivas del caso en caso de que llegara existir alguna anomalía.
Computador de vigilancia	1	Intel Pentium 3,0GHz s/775, Disco Duro 200GB, Memoria 512 MB. Para recepción y almacenamiento de imágenes.

### 3.2 Selección del sitio

Para escoger el sitio apropiado para el análisis de las características energéticas del viento, se debe someter a todo un proceso de observación a las localidades candidatas (para el presente trabajo durante el segundo semestre del año 2006 se sometieron a un proceso de observación varios lugares del campus politécnico). Las observaciones que se recomiendan en la referencia [5] son las siguientes:

- Observación de la vegetación del lugar. Es así que en el Campus Politécnico existen árboles y ramas que

tienen cierta inclinación (sin viento) y esto es debido a que se adaptaron a la fuerza del viento preponderante del lugar.

- Observación del vuelo de las aves: éstos animales utilizan las corrientes de sustentación del aire al volar en ejercicios de planeamiento a baja altura (no se observa movimiento axial de las alas). En zonas en las que comúnmente las aves realizan planeamiento se consideran candidatas para ser objeto de estudio.

- Confirmación con habitantes del lugar (en caso de existir). Generalmente es de gran ayuda las observaciones empíricas de los habitantes de las zonas (en el presente trabajo se consultaron a los guardines del mirador ESPOL).

En el presente proyecto, una vez realizados completamente estos procedimientos en distintos lugares del Campus Prosperina se determinó como el lugar más conveniente para instalar la torre de medición al cerro llamado Mirador del Bosque Protector ESPOL.

Las características del sitio (Tabla 3) son:

**Tabla 3.** Características del lugar escogido

Lugar:	Cerro – Mirador del Bosque Protector.
Altitud:	214 msnm.
Coordenadas:	02 ° 09.333' Sur. 079 ° 57.758' Oeste.

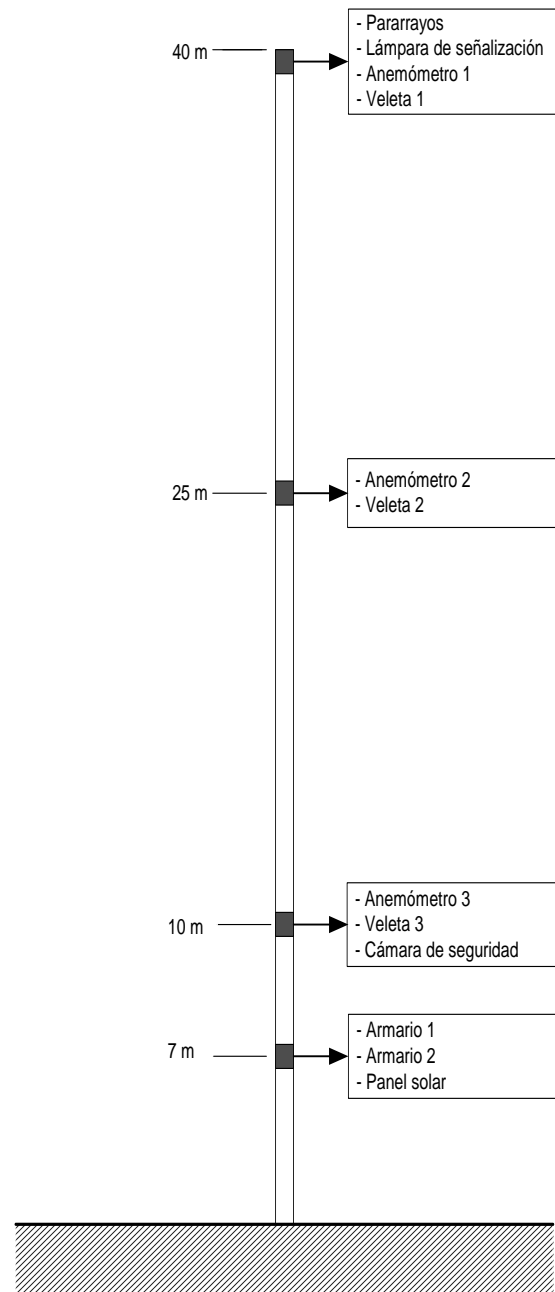
### 3.3 Instalación de torre y equipo de medición

Una vez que se escoge el lugar, tal como se detalla en la sección anterior, se construye e instala la torre de 40 m y luego se procede a la colocación de los sensores, iniciando desde la parte superior (40 m) a la parte inferior (piso), en la figura 1 y en los párrafos siguientes se detallan las alturas y algunas recomendaciones en el proceso de instalación de los sensores y equipos dispuestos en la torre:

- Pararrayos: en su respectivo soporte el cual debe estar separado de la torre mínimo 0.5 m. Se debe tener en cuenta que tiene que sobrepasar el primer anemómetro de tal manera que forme un ángulo de 60° para protección de todos los equipos.
- Lámpara de señalización: al final de la parte superior de la torre.
- Primer anemómetro: En la parte superior y central de la torre a 40 m de altura
- Primera veleta: 1.5 m más abajo del primer anemómetro en su respectivo soporte alejado 1 m de la torre.
- Segundo anemómetro: a una altura de 25 m en su respectivo soporte alejado 1 m de la torre.
- Segunda veleta: ubicada a 1.5 m más abajo del segundo anemómetro en su respectivo soporte alejado 1 m de la torre.
- El tercer anemómetro: altura de 10 m en su respectivo soporte alejado 1 m de la torre.
- La tercera veleta: a 1.5 m más abajo del tercer anemómetro en su respectivo soporte alejado 1 m de la torre.
- Cableado: los cables que interconectan todos los sensores al datalogger, por precaución tienen que ir por el centro de la torre ajustados hacia la misma.
- Armario 2: a 6 m del piso. En el interior del armario se conectan la batería y los terminales del panel solar con el regulador de carga solar

para suministro de energía para todos los componentes del sistema.

- Armario 1: a 5 m del piso. En este armario se encuentra el datalogger.
- Panel solar: 5 m de altura en su respectivo soporte.
- Cámara de seguridad: altura de 10 m, observa los alrededores de la torre donde están ubicados los equipos.



**Figura 1.** Disposición de equipos en la torre

### 3.4 Recolección y almacenamiento de datos

El presente proyecto, consiste en recolectar y almacenar datos de VELOCIDAD y DIRECCIÓN DEL VIENTO por UN AÑO con la finalidad de determinar la factibilidad de construir un Parque Eólico en el Campus Politécnico de la Prosperina, específicamente en el lugar denominado “EL MIRADOR” del Bosque Protector ESPOL. Este estudio inició desde el 14 de febrero del 2007 y está planificada su culminación el 14 de febrero del 2008. Hasta la presente fecha se ha dado tratamiento a los datos correspondientes a de la segunda mitad del mes de febrero y los meses de marzo y abril del 2007. Esta campaña se la realiza debido a la falta de registros de los parámetros del viento que corresponden a la zona del Campus Politécnico.

Los principales tareas en la ejecución del proyecto son:

- *Instalación de la torre meteorológica:* se definió el sitio, la altura de la torre, el número de anemómetros,

veletas, datalogger, etc. En el momento en que se realizó la instalación se tienen que tomar en cuenta muchos detalles con respecto a los soportes de los sensores y equipos, para una correcta toma de valores

- *Tratamiento estadístico de los datos:* los datos se extraen mensualmente y son tratados estadísticamente para determinar el comportamiento que tiene el viento en el sector escogido para realizar las mediciones.

- *Seguridad de Equipos:* se cuenta con un sistema de seguridad contra robos o actos de vandalismo y sistema de Pararrayos.

- *Suministro de energía:* el equipo electrónico que se utiliza en este proyecto tiene un sistema de almacenamiento de energía solar lo que permite que el sistema tenga energía suficiente para funcionar ininterrumpidamente los 365 días del año. En el sistema cada sensor envía 6 datos cada hora en lapsos de 10 minutos y todo se almacena en el datalogger. El diagrama de bloques siguiente (Figura 2) muestra la interconexión del sistema:

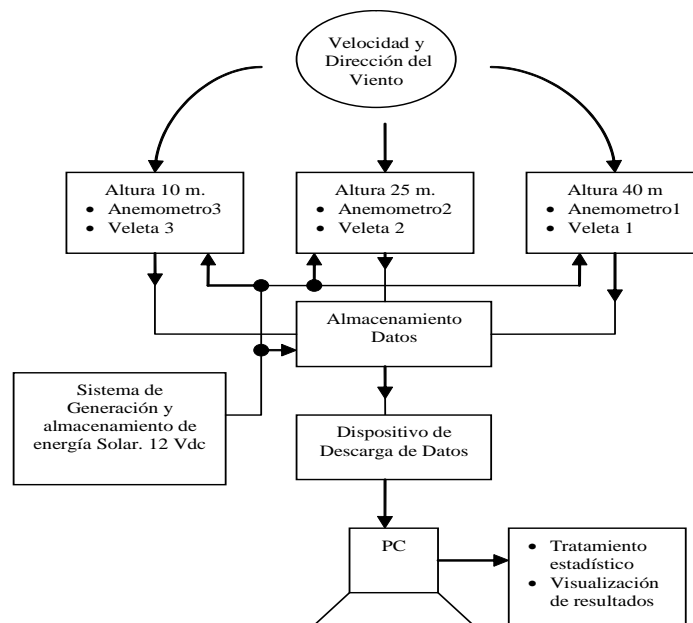


Figura 2. Diagrama de bloques – Interconexión del sistema

### 3.5 Evaluación de resultados y determinación de la potencia eólica

Para la *evaluación de resultados y determinación de la potencia eólica disponible*, los datos están siendo tratados estadísticamente para establecer la velocidad promedio mensual, la frecuencia y la dirección predominante como parámetros más importantes para determinar con exactitud la orientación, tamaño de torre (hasta 100m.) así como

también la capacidad de generación del aerogenerador. Además se aplica la función de distribución de probabilidades Weibull para determinar los parámetros correspondientes (al terminar los 12 meses de mediciones) que son imprescindibles al momento de tomar decisiones de factibilidad. Los resultados se presentan en tablas y figuras como se muestra en la siguiente sección.

### 4. Resultados esperados

Los datos del viento en el periodo que se obtienen durante un mes se someten a tratamientos estadísticos con el propósito de visualizar mensualmente el comportamiento, la velocidad y la frecuencia que

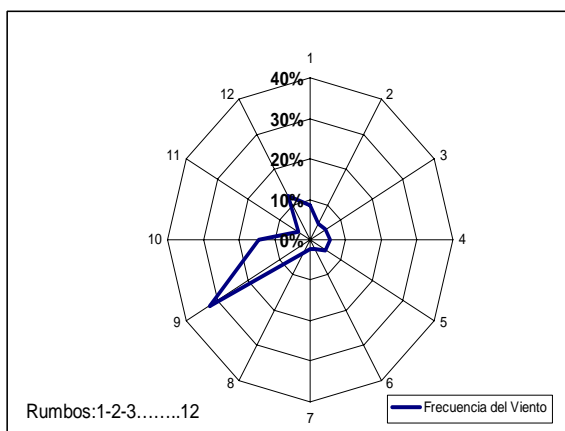
presenta el viento en el sitio escogido para las mediciones. La Tabla 4 muestra los promedios de velocidades y direcciones predominantes del viento durante el mes de abril a la altura de 40 m. La misma tabla se la realiza para 25 y 10 m.

**Tabla 4.** Frecuencia y Promedio del Viento.

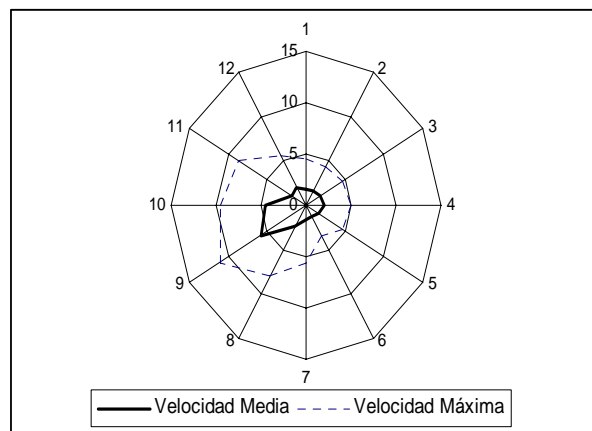
ABRIL 2007							
Altura: 40 m.							
Sensores: 1 anemómetro, 1 veleta							
Rumbos	Dirección	Orientación	Frecuencia Período 10 min. (n)	Frecuencia (100%)	Promedio de Vel. a 40m. (m/s)	Vel. Máxima a 40m. (m/s)	Vel. Mínima a 40m. (m/s)
1	345° a 15°	Norte	366	8,47	1,6251	4,5	0,2
2	15° a 45°		196	4,54	1,5827	4,4	0,2
3	45° a 75°		218	5,05	1,7963	4,7	0
4	75° a 105°	Este	237	5,49	2,0570	5	0,1
5	105° a 135°		206	4,77	1,6184	4,7	0
6	135° a 165°		119	2,75	1,2950	3,4	0
7	165° a 195°	Sur	98	2,27	1,4714	5,7	0,2
8	195° a 225°		166	3,84	2,3404	7,9	0
9	225° a 255°		1401	32,43	5,8152	11,1	0,2
10	255° a 285°	Oeste	621	14,38	4,5369	9,5	0,1
11	285° a 315°		153	3,54	1,7072	8,7	0,2
12	315° a 345°		539	12,48	1,9900	5,7	0,1
			4320	100,00			

En la Tabla. 4 se observa que existen 12 rumbos y cada uno tiene su respectivo ángulo de dirección. En cada dirección que es determinada por la veleta existe una cantidad de mediciones de velocidad del viento (anemómetro), por consiguiente las 4320 mediciones que se observan en la parte inferior de la Tabla. 4 se refiere a las mediciones de velocidad del viento que en realidad llegarían a ser 8640 mediciones con las de dirección del viento. Esto indica que el total de mediciones tomadas a las 3 alturas (40, 25 y 10 m.) de

la torre en el mes de abril por los 6 sensores utilizados en este proyecto, fueron de 25920 durante los 30 días del mes de abril. La figura 3 muestra la rosa de los vientos de la frecuencia del viento y la figura 4 expone la rosa de los vientos de la velocidad media y máxima que tuvo el viento a la altura de 40m en la torre de medición durante el mes de abril – 2007. Estas dos figuras fueron construidas a partir de la tabla descrita anteriormente.



**Figura 3.** Frecuencia del Viento Abril – 2007



**Figura 4.** Velocidad Media y Máxima

En la figura 3, se puede visualizar que la dirección predominante del viento en el sitio elegido es en el rumbo 9 que se encuentra entre  $225^\circ$  a  $255^\circ$  (Sur – Oeste). También se observa que la velocidad promedio y máxima en la figura 4 es  $5,8152$  m/s y  $11,1$  m/s respectivamente en el mismo rumbo donde el viento se

da con mayor frecuencia. El promedio de velocidad de viento total del mes de Abril fue  $3,496$  m/s y la dirección predominante de viento fue Sur – Oeste. En la figura 5 se observa la distribución del promedio de la velocidad del viento durante cada hora del mes de Abril/2007:

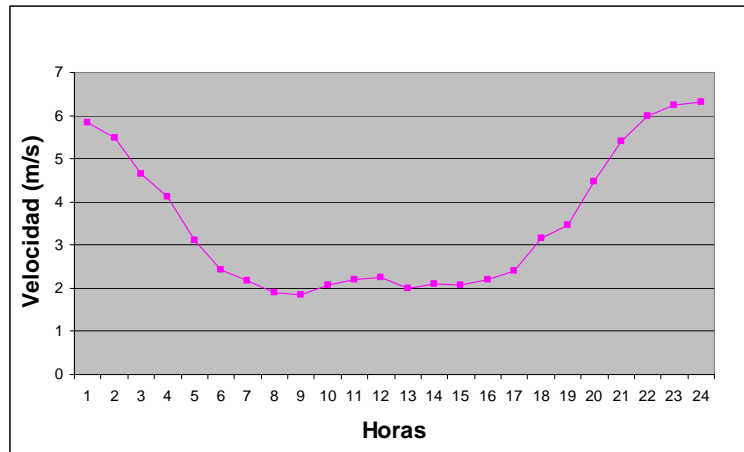


Figura 5. Distribución Horaria de Viento Abril - 2007

## 5. Conclusiones

Se han tomado los datos de tres meses del presente año (febrero, marzo, abril) que son insuficientes como para determinar la potencia de un aerogenerador de gran tamaño. Para tener la idea de la posible potencia de un aerogenerador se necesita mínimo 6 meses de datos y para conocer la potencia real se necesita como mínimo DE UN AÑO de mediciones. El tratamiento estadístico de los datos se hace mensualmente y después de tener los datos de 12 meses se tiene la capacidad de determinar la velocidad promedio y frecuencia anual del viento. Todos los datos obtenidos son requeridos por todas las empresas fabricantes de aerogeneradores de la Comunidad Europea para el diseño y la construcción del generador y rotor respectivo para una zona específica.

Para el trabajo se requieren equipos de gran exactitud y con capacidades de trabajar en ambientes rigurosos. La utilidad de usar anemómetros a 3 alturas diferentes (10, 25 y 40 m) es para determinar un "coeficiente de rugosidad". Este coeficiente sirve principalmente para determinar la velocidad del viento en alturas mayores de los 40 m debido a que las alturas de las torres de los aerogeneradores pueden alcanzar hasta los 100 m; así mismo el uso de las veletas a 3 alturas diferentes (10, 25 y 40 m) necesario para conocer con exactitud la dirección predominante del viento de la zona. Con este dato se procederá a

posicionar correctamente los aerogeneradores del parque eólico proyectado.

En el parque eólico que se ha proyectado construir está conformado por AEROGENERADORES. Estas máquinas generan desde pequeñas a grandes cantidades de potencia eléctrica y ésta dependerá de los resultados que se obtengan en el estudio. Para tener una idea más clara acerca de la potencia que genera una turbina esta puede ser desde los 1.5 KW hasta los 2 MW, pero actualmente se están construyendo aerogeneradores de capacidades mayores a los 2 MW. Para determinar cuanta potencia podrá proporcionar un aerogenerador y si es rentable instalar un aerogenerador se necesita conocer dos parámetros importantes del viento que son su VELOCIDAD y DIRECCION debido a que el aerogenerador para suministrar potencia necesitan una velocidad de arranque inicial de viento (mínimo 3 m/s) y para entregar su potencia nominal necesita una velocidad entre 12 y 15 m/s.

En la Figura 5, se puede observar que las horas en las que se da el mayor flujo de viento y por lo tanto mayor energía eléctrica, son las horas nocturnas, por lo que se podría complementar para las horas del día con un sistema híbrido de generación (solar - eólico).

Una vez que se haya tomado los datos de un año se estará en condiciones de determinar la potencia de un aerogenerador ya que se podrá predecir la potencia de generación y compararla con los datos de las curvas de potencia de los aerogeneradores comerciales

## 6. Agradecimientos

Se agradece a todos quienes colaboraron con su grano de arena en la planificación y ejecución del proyecto en especial y sobre todo al Dr. Moisés Tacle, Rector de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, por el apoyo total brindado en la realización de este proyecto. También al Sr. Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Ing. Eduardo Rivadeneira por su soporte en muchas de las actividades que implican en la ejecución del proyecto. El presente trabajo es un proyecto de desarrollo institucional que pretende involucrar a la ESPOL directamente en la búsqueda de métodos de generación de energía limpia y en la participación en forma efectiva en el aporte de soluciones a muchos de los problemas más críticos que soporta el Ecuador y que frena su desarrollo tecnológico.

## 7. Referencias

- [1] Intergovernmental Panel On Climate Change, 30/05/2007, "Supporting Material"  
<http://www.ipcc.ch/pub/support.htm>
- [2] Greenpeace, 18/02/03 "El Calentamiento Global Impactará muy Fuerte en los Países en Desarrollo"  
<http://www.greenpeace.org.ar/propuestas/informes/calentamientoglobalalectara.pdf>
- [3] Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 1998, "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático"  
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- [4] Danish Wind Industry Association, 10/05/2005, "Generadores de Turbinas Eólicas",  
<http://www.windpower.org/es/tour/wtrb/electric.htm>.
- [5] Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins and Ervin Bossanyi , "Wind energy handbook," John Wiley and Sons, 2001, pp 511-527