

# RECURSO EÓLICO EN COLOMBIA

Recepción:  
Julio 15 de 2010

Aprobación:  
Septiembre 17 de 2010

<sup>1</sup>Carlos Javier Noriega.  
<sup>2</sup>Gerson Everaldo Díaz Bustos.

1. Ingeniero mecánico universidad Francisco de Paula Santander. Docente Universidad Francisco de Paula Santander Cucutá.

2. Ingeniero mecánico universidad Industrial de Santander. Director del Plan de estudios de Ingeniería Mecánica. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

## Resumen

El creciente interés por la energía y la fuerte dependencia en fuentes no renovables las cuales son cada vez más costosas han favorecido el desarrollo y la masificación en el uso de energías alternativas para la producción de energía. Tal es el caso de la energía eólica, la cual utiliza el viento como materia prima para la producción de energía.

Este artículo busca incentivar estudios particulares y grupales en la facultad de ingeniería mecánica de energía eólica en nuestra región y socializar los resultados establecidos en el Atlas de viento y energía eólica de Colombia el cual indica a Norte de Santander y la región del Catatumbo como posibles sitios de interés con respecto a esta fuente de energía.

## Palabras claves:

Aerogenerador, densidad, energía, potencia, viento

## Keywords:

Aerogenerador, densidad, energía, potencia, viento

## Abstract

The growing interest in energy and the heavy reliance on non-renewable sources which are increasingly expensive and have encouraged the development of overcrowding in the use of alternative energy for power production. Such is the case of wind power, which uses the wind as feedstock for energy production.

This article seeks to encourage individual and group studies in the faculty of mechanical engineering of wind power in our region and socialize the outcomes in the Atlas of wind and wind energy which instructs Colombia Norte de Santander and Catatumbo as potential sites interest with respect to this energy source.



## Introducción

La fuerza del viento se ha aprovechado durante muchos siglos. Su primera y más sencilla aplicación, desde hace más de 500 años, hecha por los egipcios, fue el uso de las velas en la navegación. Además de este uso, se pueden distinguir tres diferentes tipos de aplicaciones: mecánicas, por ejemplo bombeo de agua y molino de granos, generación eléctrica en sistemas aislados, para usos productivos y viviendas rurales en áreas remotas y generación eléctrica a gran escala conectada al sistema nacional interconectado.

El aprovechamiento del viento para la generación eléctrica a gran escala es la tecnología de energía renovable que más ha crecido en las últimas décadas, con porcentajes de uso del 40% por año desde 1993. Actualmente la capacidad instalada a nivel mundial supera los 45000 MW.

Hoy la tecnología de los aerogeneradores de mediana y pequeña potencia (500 kW) está madura, por lo que se pueden adquirir en el mercado mundial más de veinte fabricantes de esas máquinas. La tecnología eólica se encuentra en posición de hacer una importante contribución al suministro mundial de energía para los próximos años.

Recientemente se han venido levantado mapas eólicos en muchos países que identifican posibles lugares con potencial de generación y que permitirán a los desarrolladores de proyectos incursionar en el negocio de la venta de energía eléctrica en el mercado de ocasión (mercado "spot"). Tal es el caso de nuestro país quien a mediados del año 2006 publicó el "Atlas de viento y energía eólica de Colombia" el cual muestra una distribución espacial del viento en superficie y el potencial eólico en diferentes regiones de la geografía Colombiana. Por tal motivo el presente documento pretende explicar variables importantes con respecto al viento, los factores que lo originan además de revelar el posible potencial eólico con el que se cuenta a nivel nacional y regional, y motivar a los interesados a participar en tareas que realice la

escuela de ingeniería mecánica ligadas a estudios de esta fuente de energía limpia y renovable.

## ORÍGENES Y VELOCIDAD DEL VIENTO EN SUPERFICIE

El viento es el resultado de fuerzas que se generan inicialmente debido al calentamiento diferencial producido por el sol sobre el aire en contacto con la superficie del planeta. Después esta energía radiante se transforma en energía cinética debido a cuatro fuerzas: fuerza del gradiente de presión (El cambio de presión medida a través de una distancia se llama "gradiente de presión". El gradiente de presión tiene como resultado una presión que se dirige desde las altas hacia las bajas presiones), de Coriolis (Una vez que el aire se ha puesto en marcha por la fuerza del gradiente de presión, experimenta un desvío aparente de su trayectoria, según es apreciado por un observador en la tierra, este desvío aparente resulta de la rotación de la tierra. Sobre el ecuador propiamente la fuerza de Coriolis se anula), centrífuga (la fuerza centrífuga se presenta producto de trayectorias curvas en el viento) y fuerzas de rozamiento o de fricción (Cerca de superficie los vientos están afectados por la fricción que sucede entre la superficie terrestre y el aire que está en contacto con ella. El mayor impacto de la fricción ocurre en los niveles bajos y sus efectos disminuyen con la altitud hasta un punto, generalmente entre 1 y 2 Km., donde desaparece). Colombia por encontrarse geográficamente ubicada entre el Trópico de Cáncer y de Capricornio, esta sometida a los vientos alisios que soplan del noreste y sudeste en los hemisferios norte y sur. Las cadenas montañosas como la cordillera oriental (en ella se ubica el departamento Norte de Santander) que se opone al flujo de los alisios del sureste, constituye una barrera que altera el flujo de las corrientes de aire al cruzar las cordilleras, por ello existe una tendencia marcada a que los vientos dominantes tienden a crecer con la altitud, de igual forma los vientos son influenciados por las condiciones locales el rozamiento y los mares.

La velocidad del viento en superficie se refiere a la velocidad que alcanza esta variable meteorológica

a 10 m de altura (OMM). Con fines de estudios de energía eólica, vientos con intensidades iguales o superiores a 5 m/s proporcionan una buena alternativa de uso de este tipo de recurso natural para la generación de energía.

El estudio de velocidad de viento en superficie se relaciona en la tabla 1 de la siguiente manera:

Meses del año	Lugar(es)	Velocidad del viento (metros/segundo)
Diciembre-Abril	✚ Golfo de Urabá, cuenca del río Sinú, noroccidente de Antioquia, Magdalena medio y sur del Catatumbo a la altura de <i>Norte de Santander</i> , límites entre Boyacá y Cundinamarca y entre Huila y Meta	4
	✚ Bajo Magdalena y la cuenca del Cesar en los Departamento de Bolívar y Atlántico, <i>Norte de Santander</i> y centro y sur del Cesar	5
	✚ Litoral central del Departamento de Bolívar	11
Mayo-Septiembre	✚ Bajo Magdalena en los departamentos de Cesar y Bolívar, <i>región del Catatumbo en Norte de Santander</i> límites entre Huila, Meta y Cundinamarca. No obstante, entre junio y agosto estos vientos se extienden sobre gran parte del Tolima, Risaralda, Quindío y suroriente de Caldas y en general en el alto Magdalena.	6
Octubre-Noviembre	✚ Similar a lo que pasa en abril, en octubre y noviembre los vientos en el centro del país se debilitan. Sin embargo, se mantienen intensidades que alcanzan los 6 m/s en la Guajira y cercanos a los 4 m/s en el litoral central de Bolívar y Atlántico, límites entre Boyacá y Cundinamarca, piedemonte llanero de Meta y Casanare.	

Tabla 1. Velocidad de viento en superficie

Es posible que se registren vientos intensos de corta duración en otras épocas del año asociados con el paso rápido de sistemas atmosféricos.

Los datos fueron proporcionados por una red de 111 estaciones (muy escasas por cierto) a nivel nacional e interpoladas a una resolución de 10\*10 km. En resumen se han destacado 12 lugares del país (Tabla 2) donde la persistencia del viento a lo largo del ciclo diario y/o para ciertas épocas del año puede llegar a ser aprovechable para la generación de la energía eólica así:

Lugar V	Velocidad del viento (m/s)	Lugar V	Velocidad del viento (metros/segundo)
Galerazamba (Bolívar)	5.9	Aeropuerto Camilo Daza (Norte de Santander)	3.3
Gachaneca (Boyacá)	5.5	Urrao (Antioquia)	3.0
Aeropuerto Sesquicentenario (San Andrés)	5.1	Aeropuerto Camilo Cortissoz (Atlántico)	2.9
La Legiosa (Huila)	4.1	Aeropuerto Simón Bolívar (Magdalena)	2.9
Aeropuerto el Embrujo (Isla de Providencia)	4.0	Aeropuerto Palonegro (Santander)	2.8
Aeropuerto almirante Padilla (Guajira)	4.0	Anchique (Tolima)	2.7
Villa del Carmen (Boyacá)	3.9	Abrego (Norte de Santander)	2.5
Obonuco (Nariño)	3.5	Aeropuerto El Dorado (Cundinamarca)	2.2

Tabla 2. Zonas con mayor aprovechamiento de potencial eólico

#### DENSIDAD DE LA ENERGÍA EÓLICA A 20 Y 50 METROS DE ALTURA

La energía en el viento es cinética<sup>1</sup>, sin embargo también es posible definir la cantidad de energía cinética por unidad de área<sup>2</sup>.

De esta manera la potencia del viento varía con el cubo de su velocidad, debido a esto lugares que

presente regímenes de vientos altos representan un atractivo para la generación de energía eólica, entonces valores promedios mensuales por encima de 63 w/m<sup>2</sup> podrían ser importantes para pequeños proyectos que requieran el recurso del viento cerca de la superficie.

En las tablas 3 y 4 se hace una relación de densidad de energía eólica en diferentes lugares del territorio colombiano a 20 y 50 m de altura.

<sup>1</sup> Fórmula de la energía cinética  $E_v = \frac{1}{2} m v^2 [J]$

<sup>2</sup> Fórmula de la energía cinética eólica  $e = \frac{1}{2} \rho v^2 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$

Meses del año	Lugar(es)	Densidad de energía (Watts/metro <sup>2</sup> )
Diciembre-Abril	✚ Bajo Magdalena y cuenca del Cesar entre los departamentos de Bolívar, Atlántico y <i>Norte de Santander</i> , centro y sur del Cesar, sectores del Golfo de Urabá, medio Magdalena y sur del Catatumbo y en los llanos orientales sobre el Casanare.	343-512
Mayo-Septiembre	✚ Bajo Magdalena en los departamentos de Cesar y Bolívar, <i>región del Catatumbo en Norte de Santander</i> , límites entre Boyacá y Cundinamarca.	343-512
Octubre-Noviembre	✚ Los valores de energía eólica en el centro del país decrecen, sin embargo se mantienen los valores entre 313 y 512 W/m <sup>2</sup> en la Guajira y entre 216-343 W/m <sup>2</sup> en el litoral central de Bolívar y Atlántico	

Tabla 3. Densidad de energía eólica a 20 metros

Meses del año	Lugar(es)	Densidad de energía (Watts/metro <sup>2</sup> )
Diciembre-Abril	✚ Cuenca del río Sinú al noroccidente de Antioquia, límites entre Tolima y Risaralda, <i>Catatumbo a la altura de Norte de Santander</i> , en los límites de Huila y Meta.	343-542
Mayo-Septiembre	✚ Golfo de Urabá, Bajo Magdalena y la cuenca del Cesar en los departamentos de Bolívar, Atlántico, <i>Norte de Santander</i> y centro del Cesar.	729-1000
Octubre-Noviembre	✚ Sector limítrofe de Tolima, Risaralda, Quindío, suroriente del eje cafetero.	1000-1331
	✚ Bajo Magdalena en los departamentos de Cesar y Bolívar, <i>región del Catatumbo en Norte de Santander</i> , límites entre Boyacá y Cundinamarca	343-512
	✚ Los valores de energía eólica en el centro del país decrecen, sin embargo se mantienen los valores entre 1000 y 1031 W/m <sup>2</sup> en la Guajira y entre 125 y 216 W/m <sup>2</sup> en el litoral central de Bolívar y Atlántico, límites entre Boyacá y Cundinamarca, piedemonte llanero de Meta y Casanare	

Tabla 4. Densidad de energía a 50 m de altura

## PARQUE EÓLICO JEPÍRACHI

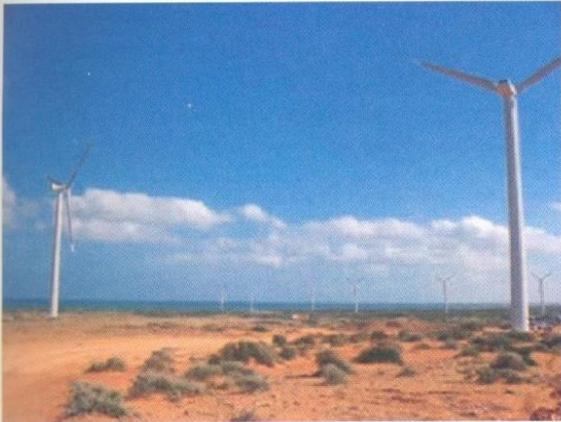


Figura 1. Aerogeneradores del parque Jepirachi

JepíACHI, significa “vientos que vienen del nordeste en dirección del Cabo de la Vela” en Wayuunaiki, la lengua nativa Wayuu, es el primer parque para la generación de energía eólica construido en el país. Es un proyecto de desarrollo de la energía eólica en Colombia, con el cual se pretende adquirir conocimientos sobre esta energía, verificar su desempeño y realizar la adaptación tecnológica a las características particulares de medio Colombiano.

JepíACHI es un parque experimental, un laboratorio para conocer y aprender sobre una energía limpia y renovable como la eólica, que puede ser alternativa de abastecimiento energético para el país en el futuro.

### UBICACIÓN

El parque eólico JepíACHI está ubicado en jurisdicción del Municipio de Uribia, en la Alta Guajira. La construcción del parque se realizó en 14 meses y durante ella se adecuaron 11 Km. de vías, patios de trabajo, plazoletas para los aerogeneradores, se construyó una caseta para reuniones con las comunidades y se adecuaron instalaciones temporales, JepíACHI fue inaugurado oficialmente el 21 de diciembre de 2003 e inició operación plena en abril de 2004.



Figura 2. Ubicación geográfica del parque Jepirachi

### CARACTERÍSTICAS

JepíACHI está conformado por 15 aerogeneradores Nordex N60/250 – 1.3 MW cada uno, para un total de 19,5 MW de capacidad instalada. Los aerogeneradores están compuestos por un rotor de 60 m de diámetro y un generador instalado sobre una torre de 60 m de altura; su distribución es de dos filas de 8 y 7 aerogeneradores respectivamente, separadas aproximadamente 1000 m. La distancia promedio entre aerogeneradores es de 180 m, pero por circunstancias propias de cada sitio en particular, se requirió variar la separación entre aerogeneradores y la dirección de la línea, conservando una orientación de -10° Norte (Azimut 170°).

La zona que ocupan las turbinas comprende un área rectangular de aproximadamente un Km de ancho (en dirección paralela a la costa) por 1,2 Km de largo, al norte de la ranchería Kasiwolín y al occidente de la ranchería Arütkejüi.

Los aerogeneradores están interconectados entre sí por una red subterránea a una tensión de 13,8 kV, la cual conduce la energía hacia la subestación eléctrica localizada en el centro del perímetro sur del área ocupada por el parque. Dicha subestación dispone de un transformador que eleva el voltaje a una tensión de 110 kV, y es el punto de partida de la línea de 800 m de longitud, con la que se conecta el parque a la torre 20 de la línea Cuestecitas - Puerto Bolívar, de propiedad de Carbones del Cerrejón, que suministra la energía para el puerto.

El parque eólico JepíACHI puede ser monitoreado y operado vía satélite, en tiempo real, desde el Centro

de Control Generación Energía (CCG) de EPM en Medellín. También puede ser monitoreado desde la sede del fabricante en Alemania, como parte de la transferencia tecnológica.

## AEROGENERADORES

Las turbinas eólicas que se comercializan actualmente han experimentado un notable avance tecnológico en los últimos años, posibilitando el desarrollo de aerogeneradores cada vez más grandes y facilitando el suministro de electricidad a gran escala. Hoy se dispone de una amplia gama de aerogeneradores, Los de mayor uso son los de eje horizontal, que consisten en generadores eléctricos montados sobre una torre a gran altura y conectados a rotores o hélices movidas por el viento y que transmiten al generador su movimiento rotacional para la producción de electricidad. En términos físicos, estas turbinas aprovechan la energía cinética del flujo de viento que atraviesa el área del rotor, convirtiendo la fuerza del viento en un par o torque que actúa sobre las palas.

El tipo de aerogenerador más común del mercado se basa en el diseño típico danés, compuesto por un rotor de tres palas con su eje conectado a un engranaje de transmisión que multiplica la velocidad de rotación del rotor, para adaptarla a la mucho más alta velocidad requerida por un generador tradicional al cual se encuentra acoplado.

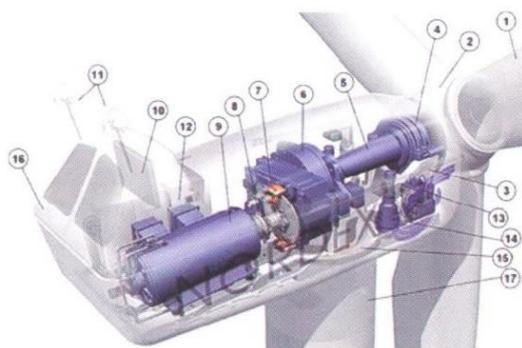


Figura 3. Componentes y características del aerogenerador Nordex N60/1300 Kw.

1. Alabes del rotor 2. Manzana 3. Estructura de soporte 4. Cojinete de rotor 5. Eje de rotor 6. Caja de engranaje 7. Disco de freno 8. Acople del generador 9. Generador 1.300 kW 10. Radiador de enfriamiento 11. Sistema de medición de viento 12. Sistema de control 13. Sistema hidráulico 14. Comando de rotación del aerogenerador 15. Cojinete de rotación 16. Cubierta del aerogenerador 17. Torre

TIPO	GENERADOR
Eje horizontal de tres aspas, cara frontal al viento	Potencia nominal del generador: 1.300 kW/250 kW
Regulación de potencia: Stall	Voltaje nominal: 690 V
Potencia nominal: 1.300-250 kW	
Frecuencia nominal: 60 Hz	Frecuencia: 60 Hz.
Velocidad del viento para arranque: 3-4 m/seg	Velocidad: 1.815 / 1.212 r.p.m.
Protección por mínima velocidad del viento: 2,5 m/seg	Polos: 4/6
Protección por máxima velocidad del viento: 25 m/seg.	Peso aproximado: 5,5 toneladas
Velocidad del viento para potencia nominal: 15 m/seg.	
Vida útil calculada: 20 años.	
Rango de temperatura ambiente de trabajo: -20°C a +40°C	

Tabla 2. Características del aerogenerador

## Conclusiones

La energía eólica varía constantemente con el tiempo por la intermitencia del viento, en consecuencia por si sola no esta en condiciones de atender una demanda continua en forma confiable, por ello se debe complementar con otras fuentes de energía por ejemplo solar.

Relacionado a la densidad de energía a 20 y 50 metros de altura los análisis corresponden a resultados obtenidos a una escala del orden de los 100 km<sup>2</sup>. No obstante, áreas de menor dimensión podrían eventualmente presentar condiciones favorables para el aprovechamiento del recurso eólico (como en Abrego). En estos casos se requiere realizar estudios de carácter local con mediciones representativas del sitio.

A escala macro la región más atractiva desde el punto de vista eólica en el país es la región atlántica donde los vientos aumentan en dirección a la península de la Guajira.

Se observa en los promedios de velocidad y densidad de energía que existe un posible potencial a baja escala en el Departamento de Norte de Santander, pero se debe mejorar ese pronóstico haciendo estudios localizados en diferentes puntos del Departamento particularmente en la región de Ocaña y determinar cual es su variación mensual y anualmente.

Implementar la instalación de anemómetros que permitan monitorear las velocidades del viento en diferentes localidades de Ocaña en las que se aprecian regímenes de velocidad significativos por ejemplo la zona aledaña al aeropuerto de Aguas Claras, ya que no se cuentan con esas mediciones y por lo tanto no se conoce el potencial eólico aprovechable ya sea para aerobombear o producción de energía en la zona.

El aire por ser un fluido de pequeño peso específico, exige fabricar máquinas grandes y en consecuencia caras que provocan un impacto visual inevitable.

## Referencias

Manuales sobre energía renovable. 1 ed. San José, Costa Rica 2002.

Atlas de viento y energía eólica de Colombia, Ministerio de Minas y Energía. 2006. 11, 14, 75 p.

Streeter Víctor. Mecánica de fluidos. Novena edición. Editorial Mc Graw Gill Pag. 140, 141 p.

Mesa, S. O., Poveda, J. G. & Carvajal S. L. F. Introducción al clima de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Fac. de minas. 1997. 390 p.