

El poder del viento

Wind power

64

Recibido 23 de septiembre de 2008, aprobado 1 de noviembre de 2008.

Álvaro Pinilla

Ph.D. en Ingeniería Mecánica. Profesor Titular. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia.

apinilla@uniandes.edu.co ✉

PALABRAS CLAVES

Energía eólica, eolo-generación eléctrica, parque eólico, poder del viento.

KEY WORDS

Wind electricity generation, wind energy, wind parks, wind power.

RESUMEN

Esta contribución presenta información actual sobre el uso de la energía eólica para generación de electricidad a nivel mundial. También, se describen los planes de inversión inmediatos para acrecentar su uso tanto en Europa como en América Latina. Basados en estudios recientes, desarrollados por el autor de esta contribución, se especula sobre el potencial de la energía eólica en Colombia para la generación de electricidad comercial. Hacia el final, se realizan algunos comentarios sobre otros usos y desarrollos locales en energía eólica, sobre todo en el área del bombeo de agua.

ABSTRACT

This contribution gives up-to-date information on the use of wind generated electricity worldwide. It also describes the most immediate investment plans in the increase of wind as an alternative, non polluted energy source in Europe, as well as in the Latin America region. Based upon recent studies, carried out by the author, the paper assesses the wind energy potential for electricity generation in Colombia. At the end, some comments are made on developments and wind energy use in Colombia.

ESTADO ACTUAL DEL USO DE LA ENERGÍA EÓLICA

El poder del viento (o, más bien, energía del aire en movimiento) ha sido utilizada por cientos de años, preferencialmente para labores agrícolas como en molienda de grano, bombeo de agua y otras aplicaciones mecánicas. En la actualidad, existe un número apreciable de equipos eólicos instalados y en operación alrededor del mundo, para labores de extracción y bombeo de agua. Mientras el viento seguirá siendo utilizado para labores agrícolas, el uso de la energía eólica como fuente de generación, libre de polución para suministro de electricidad, es una alternativa atractiva que en los últimos años ha tenido un enorme crecimiento a nivel mundial.

La energía del viento ofrece un importante potencial para el suministro de cantidades sustanciales de electricidad, con problemas menores de polución, al compararse con sus contrapartes convencionales de suministro de electricidad.

Algunas referencias [1, 2] narran el uso de los molinos de viento hasta los tiempos de Hammurabi, quien aparentemente utilizaba estos equipos para irrigar los Jardines de Babilonia. La primera evidencia escrita del uso de molinos de viento aparece en el siglo X, cuando se narra la muerte de un califa a manos de un campesino, a quien se le exigía pagar más impuestos debido a su capacidad de moler cantidades importantes de grano utilizando molinos de viento de eje vertical. Esta historia ocurre en el Valle de Beluchistán, en lo que hoy es Irán, y su frontera con Afganistán. Ya hacia el siglo XII, se sabe de la utilización de grandes equipos eólicos para el drenaje de agua en Holanda, al igual que su uso extensivo en otros países europeos.

Hacia principios del siglo XX, la utilización de la energía eólica se ve disminuida con el uso del petróleo y es solo hasta la década de los ochenta cuando se inician importantes desarrollos tecnológicos y prototipos experimentales de equipos eólicos para generación eléctrica. Se debe anotar que el primer equipo eólico utilizado para generación eléctrica fue desarrollado por el Profesor LaCour en Dinamarca, hacia finales del siglo XIX.

El desarrollo más reciente de la energía eólica (desde 1980) ha crecido de la mano de modernos desarrollos en electrónica, sistemas de información y comunicación, de nuevos materiales, mejores herramientas computacionales de diseño, entre otros. Es por esto que las soluciones eólicas actuales de suministro de energía eléctrica comerciales ofrecen sistemas con alta confiabilidad y disponibilidad, buena calidad de suministro de energía, predicción precisa del comportamiento del viento con varios días de anticipación para facilitar ventas en bolsas de energía, entre otros desarrollos.

En la actualidad, la energía eólica es la tecnología de generación de electricidad de mayor crecimiento a nivel mundial. La Figura 1, adaptada por el autor, ilustra el crecimiento de la potencia eólica total instalada a nivel mundial y su proyección a 2010, expresada en MW.

Nótese que sólo en el año 2007, se adicionan cerca 20000 MW nuevos. Los 10 países con mayores instalaciones nuevas son: Estados Unidos con 5200 MW nuevos, España con 3500 MW, China con 3300 MW, Alemania con 1600 MW, Francia con 888 MW, Italia con 603 MW, Reino Unido con 426 MW, Portugal 414 MW y Canadá con 380 MW, otros 20 países aportaron cerca de 1700 MW de nuevas instalaciones [3]. El Consejo Global de Energía Eólica (GWEC) estima que, en el 2007, el nivel de inversión del mercado mundial eólico fue de 37000 millones de dólares [4]. Se estima, además, que la inversión global para 2008 será de 56000 millones de dólares y, para los próximos cinco años, la inversión acumulada alcanzará 300000 millones de dólares.

De acuerdo a las cifras de la Agencia Internacional de Energía (IEA), la generación mundial total de electricidad en el 2007 fue de 19189 TWh, de los cuales la generación eoloelectrónica aportó el 1% del global, con cerca de 194 TWh con 93849 MW eólicos.

Para efectos de comparación, a 31 de agosto 2008, año corrido, Colombia tuvo una demanda total de energía eléctrica cercana a 53.5 TWh con una potencia total instalada de 13400 MW [5].



Figura 1. Potencia eólica mundial.

La Unión Europea tendrá instalados más de 75 GW en el 2010, de los cuales al menos 10 GW estarán instalados en el mar. El objetivo de la UE para el año 2020 es de tener instalados 180 GW eólicos, lo cual implica un crecimiento continuado de 25% anual. Se espera, además, que para el 2020, el 12% del consumo de electricidad provenga de la energía eólica para toda la Unión [6].

En el contexto latinoamericano, el total de plantas eólicas instaladas a inicios de 2008 suman 550 MW [7], discriminadas como aparece en la Tabla 1.

PAÍS	MW
Brasil	247
México	88
Costa Rica	74
Caribe – varios	57
Argentina	27
Chile	20
Colombia	19,5
Cuba	7
Uruguay	5
Ecuador	2,5
Perú	1
TOTAL	550

Tabla 1. MW instalados en América Latina.

Los países más agresivos en la implementación de la energía eólica, en América Latina, son Brasil, Argentina, Chile, México y Costa Rica, con proyectos para los próximos 3 años por más de 2000 MW. Adicionalmente, Brasil, México y Argentina ya cuentan con plantas de producción de equipos eólicos para suplir el mercado latinoamericano.

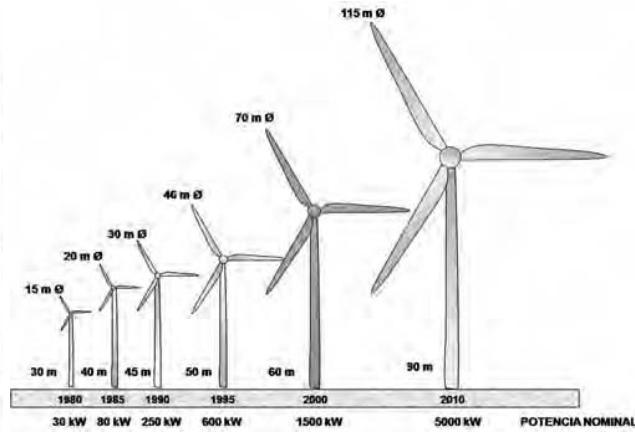


Figura 2. Evolución de equipos eólicos comerciales 1985 – 2010.

El número total aproximado de equipos eólicos individuales instalados en el mundo está cercano a los 98000 representando un tamaño promedio de 1 MW. El tamaño promedio de sistemas instalados en 2007 fue de 1.5 MW.

La Figura 2 ilustra la evolución tecnológica de sistemas eólicos comerciales individuales entre 1985 y 2010. La figura indica el diámetro del rotor, la altura de torre y su potencia nominal.

En la actualidad, el proyecto de desarrollo eólico más grande se realiza en el laboratorio RISOE de Dinamarca que se encuentra trabajando en un equipo eólico con una capacidad nominal de 12 MW, el cual se espera sea operativo para el 2012. Este equipo tendrá 190 metros de diámetro y 170 metros de altura de torre.

La Figura 3 ilustra, adicionalmente, la evolución del factor de planta promedio por equipo expuesto a un adecuado régimen de viento y su correspondiente producción promedio de energía eléctrica en MWh/año por unidad. Nótese que además se incluye el total de viviendas que pueden ser cubiertas con la producción eléctrica del equipo eólico.

Son múltiples los desarrollos que, a través de políticas estatales de apoyo a la investigación, desarrollo, promoción e implementación, han facilitado que hoy la industria eólica responda el crecimiento en el uso de esta fuente energética. En la actualidad se tienen resultados concretos como, por ejemplo, el desarrollo

de mejores sistemas de fundición de gran volumen para la producción de góndolas, desarrollo de enormes generadores de imanes permanentes multipolares de baja velocidad de rotación, torres híbridas de concreto y acero, manufactura de aspas en nuevos materiales como la fibra de carbono, perfiles aerodinámicos especialmente diseñados para la industria eólica, desarrollo de sofisticados sistemas de medición de la velocidad de viento a grandes alturas, modelos teóricos de predicción de viento entre algunas horas hasta varios días con muy buena precisión, transmisión de electricidad de ultra alto voltaje (UHV), sistemas de transmisión en corriente directa, novedosos y enormes sistemas de anclaje marino para la instalación de granjas eólicas en el mar, entre los más sobresalientes desarrollos.

Beurskens [8], en el resumen de la Conferencia Europea de Energía Eólica de 2007, llama la atención de la inminente necesidad de formación de un número apreciable de ingenieros y técnicos, a todos los niveles, para responder a las exigencias inmediatas y futuras de la industria eólica. Igualmente sucederá en América Latina, al momento de tener operativos los proyectos planeados para los próximos años.

Entre las compañías más exitosas, solamente por ventas en 2007, se encuentran la compañía Vestas de origen danés (4500 MW), General Electric - GE Energy de Estados Unidos (3280 MW), Gamesa de Espa-

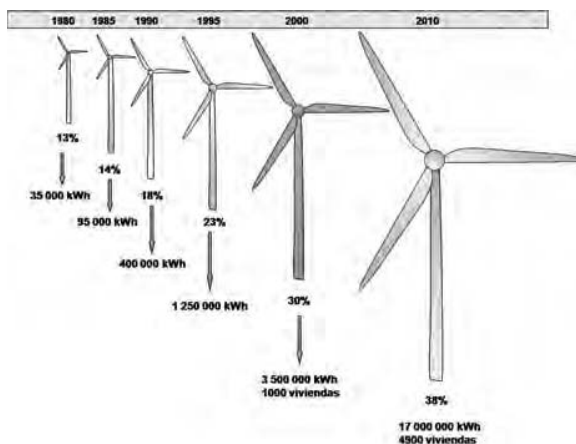


Figura 3. Evolución en factor de planta y productividad anual por unidad (1985-2010).

ña (3050 MW), Enercon de Alemania (2770 MW), Suzlon de la India (2082 MW), Siemens de Alemania (1400 MW) [3].

En Colombia, se cuenta en la actualidad con un único parque eólico: el Parque Eólico de Jepirachi, el cual se encuentra instalado en cercanías del Cabo de La Vela en la Guajira. El parque fue instalado por las Empresas Públicas de Medellín y opera desde Abril de 2004. Durante los primeros 15 meses de operación, el parque alimentó a la red eléctrica 70.4 GWh representando un factor de planta global de un 38% con una disponibilidad del 96% [9]. Las condiciones de viento en el sitio de Jepirachi son bastantes favorables contando con velocidades de viento promedio altas, casi todo el año; vientos alisios prevalentes en dirección este-oeste y baja intensidad de turbulencia del viento, lo cual representa reducidas cargas de vibración en los equipos.

El parque consta de 15 equipos de fabricación alemana de la compañía NORDEX, cada uno tiene una potencia nominal de 1.3 MW, para una potencia nominal del parque de 19.5 MW. La Figura 4 ilustra los equipos en el parque Jepirachi.

Cada equipo tiene 60 m de diámetro y 60 m de altura de torre. Las Empresas Públicas de Medellín siempre han considerado el parque Jepirachi como un proyecto piloto, con el propósito de transferencia de tecnología, aprendizaje y entendimiento para futuros proyectos de energía eólica en el país. Tras 4 años de operación, se han logrado identificar las dificultades tecnológicas y operacionales de los parques. Igualmente E.P.M. ha ampliado la red meteorológica de evaluación del recurso eólico con otras 10 estaciones, estratégicamente localizadas, en la alta Guajira.

Las perspectivas para la energía eólica en Colombia son grandes, sobre todo en la región Caribe, en donde el recurso eólico ha demostrado ser alto. Un estudio reciente [10], en el cual se asume el uso de tecnología eólica actual comercial, se encuentra que por kilómetro cuadrado de terreno, y en las condiciones del norte de la Guajira, se pueden instalar cerca de



Figura 4. Equipos en el Parque Eólico Jepirachi, Guajira.

54 MW eólicos, los cuales producirían cerca de 250 GWh/año/km². De 1 km² ocupado por los equipos eólicos, solamente el 1% del terreno es ocupado físicamente por las bases de las torres, la transmisión de electricidad interna de un parque y vías de acceso y comunicación entre equipos. Esto quiere decir que el terreno puede ser utilizado para otros usos, sean agrícolas o pecuarios. Bajo esta suposición, solamente, en la región Caribe, incluida la Guajira, se pueden instalar más de 20 GW en parques eólicos. Ahora bien, si se quisiera extender a zonas de playa o en el mar, este potencial puede resultar mayor a 50 GW.

En el territorio nacional existen otros lugares donde se sabe que existen condiciones favorables de viento [11], y sobre los cuales se deben realizar programas de medición para determinar su verdadero potencial como recurso energético. Algunos de estos lugares son: Las Islas de San Andrés y Providencia, los alrededores de Villa de Leiva; zonas aledañas a Cúcuta, algunas zonas de Santander; en Risaralda, en el Valle del Cauca, en el Huila y Boyacá. Vale la pena mencionar que en la actualidad, la evaluación del recurso eólico se realiza a alturas entre 60 y 100 m sobre la superficie.

Entre otros usos de la energía eólica (ver Figura 5), está el aerobombeo de agua. En Colombia se han realizado diseños locales innovadores de aerobombas como la Aerobomba Gaviotas dotada con una bomba de doble efecto, desarrollo que se volvió comercial en

1977. Ya para 1979, se desarrolló el molino de viento comercial el Gavilán; cada uno de estos dos diseños contaba con algunos aspectos innovadores únicos para su operación [12]. Años más tarde y con base en las innovaciones de los equipos Gaviotas y Gavilán, en 1984 se desarrolló la aerobomba comercial Jober, la cual se fabrica en Duitama, Boyacá [13].

A nivel universitario, vale la pena mencionar la actividad desarrollada en la Universidad de los Andes en los años 70, que con el trabajo de estudiantes y profesores aportó al desarrollo del equipo comercial Gaviotas. Otro trabajo importante en su momento, fueron los trabajos de investigación realizados por la Universidad Nacional de Bogotá, hacia finales de la década de los 80. Estos desarrollos, para la época, involucraban la fabricación de aspas en fibra de vidrio, software desarrollado para el análisis por elementos finitos de aspas y torre, entre otros aspectos tecnológicos. Desafortunadamente, el afán resultadista de las entidades de financiamiento de la investigación no permitió que el grupo de profesores y estudiantes de la Universidad Nacional, continuaran con estos desarrollos. De haberse continuado, Colombia tendría una base importante de recursos humanos adecuadamente entrenados en esta tecnología.

En la actualidad, el Departamento de Ingeniería Mecánica de Uniandes realiza trabajos relacionados con el estudio aerodinámico de perfiles con bordes de fuga recortados, fabricación de aspas con nuevos materiales, fabricación de un túnel de viento para la corroboración experimental de desarrollos aerodinámicos, entre algunos otros proyectos. Así mismo, se continúa en el desarrollo de aerobombas y en la actualidad se está desarrollando un banco de pruebas para aerobombas consistente en un tubo ciego con 25 metros de profundidad. En este se podrán evaluar las condiciones dinámicas de fuerzas, presiones y manejo de caudales para nuevo diseño de bombas actuadas mecánicamente. Paralelamente, el departamento aporta a la formación de ingenieros, bien sea con cursos relacionados con el área, o con trabajos de investigación a través de proyectos de grado o tesis de

maestría. Algunos jóvenes ingenieros mecánicos han viajado, preferencialmente a Europa, a continuar con su formación en energía eólica y, actualmente, trabajan en las grandes compañías eólicas, mencionadas en párrafos anteriores.



Figura 5. Ala Solar, originalmente concebida como una Escultura Eólica por el artista venezolano Alejandro Otero, quien la donó a Bogotá en 1975.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **L. Vadot**
“Le pompage de l'eau par eoliennes”. *La Houille Blanche*, No 4, Septiembre 1957, pp 496-523.
- [2] **J. Needham.**
Science and Civilization in China. Vol. 4, Part 2: “Mechanical Engineering”. Cambridge University Press, 1965, pp 556-568.
- [3] **D. Koeneman.**
Wind Energy. Statistics: the world market is on the move. SUN & WIND ENERGY 3, Germany, 2008, pp 186-189.
- [4] **E. Milford.**
“Record Growth for Wind: What Comes Next?”. *Renewable Energy World Magazine*, Vol. 11, No. 4 July-August 2008, pp 37-47.
- [5] “Indicadores Energéticos”. Unidad de Planeamiento Minero Energético (UPME). Fecha de consulta: 22 de Septiembre de 2008. Disponible en: <http://upme.gov.co/Indicadores/>
- [6] **European Wind Energy Association.**
Wind Force 12. EWEA. European Wind Energy Association, 2003.
- [7] “Energía Eólica”. Latin American Wind Energy Association (LAWEA). Fecha de Consulta: 22 de septiembre de 2008. Disponible en: <http://lawea.org/energia.php>.
- [8] **H.J.M. Beurskens.**
“Conference Summary EWEC 2007”. Milan, Italy 7-10 may 2007. Fecha de Consulta: 19 de septiembre de 2008. Disponible en: <http://ecn.nl/publications/>
- [9] **A. Pinilla, L. Rodriguez and R. Trujillo.**
“Performance Evaluation of Jepirachi Wind Park”, *Renewable Energy Journal*, Vol. 34, No. 1, January 2009, pp. 48-52.
- [10] **L. Huertas and A. Pinilla.**
Predicción de rendimiento de parques eólicos como herramienta de evaluación. Bogotá: Empresas Públicas de Medellín – Universidad de los Andes, Enero 2007.
- [11] **Unidad de Planeamiento Minero Energético (UPME). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).**
Atlas de viento y energía eólica en Colombia. Bogotá: 2006.
- [12] **J. Burton and A. Pinilla.**
“Water Pumps for Windmills: A comparison of two Commercially available systems from South America”. *Wind Engineering Journal*. Vol. 9, No. 2 Spring Edition, 1985.
- [13] **J. LaRotta and A. Pinilla.**
“Performance evaluation of a commercial positive displacement pump for wind-water pumping”. *Renewable Energy Journal*, Vol. 32, No. 10, August 2007. pp 1790-1804.