



**17** del 24 al 28 de noviembre de 2014  
**CONVENCIÓN CIENTÍFICA  
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA



## **LA ENERGÍA EÓLICA EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL MUNDO**

**D.A. Aragón-Verduzco<sup>1,2</sup>, I. Lopez-García<sup>1</sup>, R. Escarela-Pérez<sup>1</sup>, E. Campero-Littlewood<sup>1</sup>, J. Guzman<sup>1</sup>,  
R.A. Ortiz-Medina<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Energía, Universidad Autónoma Metropolitana, Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, 02200, México D.F.

<sup>2</sup>Estudiante de Maestría en la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida Universidad 3000, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México D. F.

<sup>2</sup>e-mail: david.aragon344@gmail.com

### **RESUMEN**

En este trabajo se presenta una perspectiva mundial de la importancia que ha ido adquiriendo la generación de electricidad mediante la energía cinética del viento. Se señalan las ventajas de su aprovechamiento y se proporcionan cifras del crecimiento de la capacidad instalada en los últimos años. Se hace hincapié en la disminución del impacto ambiental que se logra con la generación de energía eléctrica a través del viento. Esto se sustenta en los volúmenes de gases que serían emitidos a la atmósfera si la generación se hiciera con plantas generadoras basadas en combustibles fósiles. Se hace una breve descripción de las diferentes tecnologías que se utilizan en la transformación de la energía del viento en electricidad y de como el incremento en el diámetro de la hélice ha ido permitiendo el incremento de las capacidades de los aerogeneradores. Por último se describe el avance que esta tecnología tiene en México, que comparado con Europa y EUA es modesto, pero que tiene un potencial de crecimiento importante.

**PALABRAS CLAVES:** Generación eléctrica, Energía eólica, Aerogeneradores, Energía sustentable, Energías renovables.

## **WIND ENERGY IN ELECTRIC POWER GENERATION IN THE WORLD**

### **ABSTRACT**

In this work a global perspective of the importance that the electrical generation by the kinetic energy of wind has been taken is presented. The advantages of the wind energy exploitation are pointed and the growth figures of the installed capacity of the last few years are provided. Emphasis is on reducing the environmental impact that is achieved with the electrical generation through wind. The latter is based on the gas volumes that would be emitted to the atmosphere if the generation was done with generating plants fed by fossil fuels. A brief description of the different technologies used in the transformation from wind power to electric energy is made. The increment of the diameter of the propeller that has been allowing the capacity growing of the aerogenerators is revised. Finally the progress that this technology has in Mexico compared with Europe and USA is described as modest but it has a significant growth potential.

**KEY WORDS:** Power Generation, Wind Power, Aereogenerators, Sustainable Energy, Renewable energy.

### **1. INTRODUCCIÓN**

El viento es una forma de energía solar, causado por el calentamiento desigual del sol a las diferentes capas de la atmósfera. La diferencia de densidades entre dos masas de aire provoca la aparición de corrientes de aire. Las irregularidades de la superficie terrestre y rotación de la tierra también juegan un papel importante en la generación del viento [1-4]. Los vientos son comúnmente clasificados por su velocidad, tipo de fuerzas que los causan, regiones geográficas en la cuales ocurren y por último, por sus efectos. El origen de fuertes



**17** del 24 al 28 de noviembre de 2014  
**CONVENCIÓN CIENTÍFICA  
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA



vientos en el globo terráqueo está primordialmente en la diferencia de calor entre el ecuador y los polos y el movimiento de rotación de la tierra [3]. La medición de la velocidad y dirección del viento se efectúa con instrumentos llamados anemómetros, que pueden medir velocidad y dirección del viento [3, 4].

La disponibilidad y la condición de energía renovable han hecho del viento una fuente de energía atractiva para su utilización en la generación de energía mecánica. Esto se puede ver en la construcción de grandes molinos para la molienda de maíz o para el bombeo de agua [5, 6, 7]. Sin embargo, el potencial más importante de uso está en la generación de energía eléctrica.

Esta tecnología ofrece la posibilidad de disminuir el impacto negativo que el uso de combustibles fósiles está teniendo en el medio ambiente. Por ello, el sector energético es actualmente objeto de constantes estudios por la importancia que representa la energía en su desarrollo económico [3, 8]. Una alternativa interesante es utilizar la energía cinética contenida en el viento, ya que resulta económica, limpia e inagotable. Por lo tanto, atractiva para la generación de energía eléctrica a pequeña y a gran escala [9-12].

Las principales razones del por qué es apremiante el uso de la energía del viento en la generación de energía eléctrica se pueden resumir en los siguientes puntos.

- *Energía limpia e inagotable*: La energía del viento no produce ninguna emisión y podemos disponer de ella mientras el sol siga calentando a la tierra.
- *Desarrollo económico local*: Las plantas eólicas pueden proporcionar ingresos a los terratenientes que arriendan sus campos para la explotación del viento.
- *Tecnología modular y escalable*: Las aplicaciones eólicas pueden ser usadas en grandes granjas de viento interconectadas con la red eléctrica o como plantas de generación distribuida, tanto para reducir riesgos por aumento en su demanda o para solventar necesidades de energía eléctrica en regiones muy apartadas.
- *Estabilidad del costo de la energía eléctrica*: La utilización de las plantas eólicas puede reducir la dependencia que se tiene de combustibles fósiles, las cuáles siempre están sujetos a variaciones en sus precios.

En la actualidad Estados Unidos, Alemania, Dinamarca, España, China e India concentran la mayor capacidad de generación de energía eléctrica por medio del viento [8]. En años recientes, el interés por este medio de generación de energía eléctrica ha crecido exponencialmente [9]. Desafortunadamente, el crecimiento es desigual en el mundo, teniendo una mayor concentración en Europa y América del Norte, al igual que algunas regiones de Asia [6, 8, 9]. El Pacífico, África y América Latina no asumen la importancia de utilizar energías renovables para generar electricidad. Esto se debe a factores económicos y desinterés parcial en los problemas climatológicos. Esta situación, evidentemente deberá cambiar por las disposiciones adoptadas en el protocolo de Kioto sobre el cambio climático [13].

En México, sin embargo, la instalación de la planta eólica La venta II en el Istmo de Tehuantepec lo ha proyectado como el segundo país en América Latina en aprovechar este recurso energético, detrás de Brasil. Se espera que esta planta sea punta de lanza para aprovechar los recursos energéticos que también se tienen en el norte y centro del país [14].

## **2. DESARROLLO HISTÓRICO DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DEL VIENTO**

La energía del viento ha sido utilizada desde hace más de 3000 años para proveer potencia mecánica a los molinos de viento [6, 7]. A partir de la revolución industrial, en la segunda mitad del siglo XIII, el uso de la potencia del viento fue substituida por combustibles fósiles. En 1973, debido a la crisis petrolera mundial, el interés por la potencia del viento resurgió y éste se enfocó principalmente a la utilización del viento para la generación de energía eléctrica [6]. La tecnología fue mejorada paso a paso y para finales de los años 90's, la energía eólica emergió como una de las fuentes más sustentables e importantes de energía [7,8, 9].



La primera turbina de viento se construyó en 1891, por el Danés Poul Lacour [6].

En un principio fueron diseñadas para bajas capacidades dado el poco interés que se le dio a esta nueva forma de generar energía eléctrica. Sin embargo, la capacidad de generación de las turbinas ha ido incrementando hasta llegar a capacidades del orden de MW, conforme se iban descubriendo las ventajas de utilizarla, sobre todo en sus repercusiones en los problemas ambientales y por los avances tecnológicos en el área de la aerodinámica [6, 9]. Para finales de 1989 la capacidad alcanzó los 300kW, y diez años más tarde, turbinas de 2000kW ya estaban disponibles, y para finales del siglo XX ya se tenían turbinas de 3MW [3, 15]. En La figura 1 se muestra el desarrollo de las turbinas eólicas en cuanto a capacidad de generación y diámetro de sus hélices [3, 9].

El objetivo que se ha planteado en la fabricación de aerogeneradores es el de incrementar la capacidad de generación de las unidades, aumentando igualmente su eficiencia de trabajo, que normalmente es menor al 50% [1].

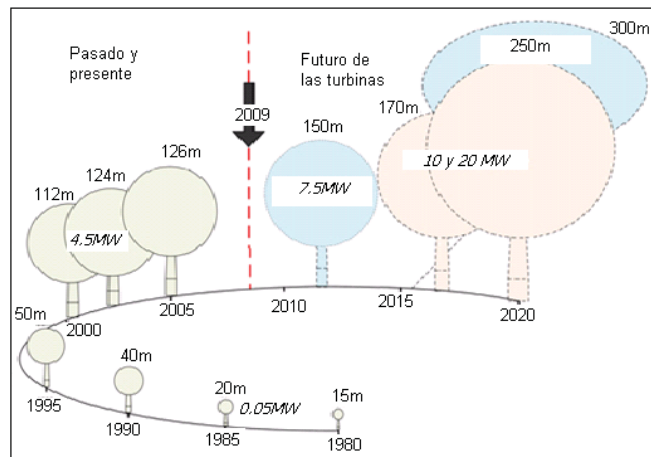


Figura 1. Desarrollo en el tamaño y capacidad de generación de las turbinas eólicas [3].

Actualmente, la turbina más grande del mundo es ENERCON E-126, de la compañía alemana ENERCON. Este aerogenerador, que se muestra en la figura 2, tiene una capacidad de generación de 7 MW, y diámetro del rotor de 126 m [16].



Figura 2. Aerogenerador más grande del mundo (ENERCON E-126).



**17** del 24 al 28 de noviembre de 2014  
**CONVENCIÓN CIENTÍFICA  
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA



En la actualidad, existen varias empresas fabricantes de turbinas eólicas en el mundo. Entre las más importantes se encuentran: Vestas (Dinamarca), GE Energy (Estados Unidos), Gamesa (España), Enercon (Alemania), Suzlon (India), Siemens (Dinamarca/ Alemania), Acciona (España), Goldwind (China), Nordex (Alemania), Sinovel (China) [3]. Por ello, ya son comunes los parques eólicos en muchos países del mundo, las cuales pueden tener desde decenas hasta cientos de aerogeneradores.

En la actualidad la mayoría de los parques eólicos se encuentran en tierra porque son menos costosos, en comparación con los parques instalados mar adentro. Sin embargo, en países donde la extensión territorial es reducida (Europa), se opta por la construcción de granjas eólicas en el mar. Estas instalaciones implican una mayor inversión, tanto en infraestructura como en tecnología. Pero el recurso energético es mayor por las velocidades tan altas que se tienen en los vientos costeros, además que el ruido producido por estos sistemas es menos molesto para los pobladores. Por ello, estos sistemas son una alternativa importante para la generación de energía eléctrica en países con extensiones territoriales reducidas.

### **3. PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN EÓLICA**

El principio de operación de un sistema de aerogeneración, mostrado en la figura 3, se basa principalmente en dos procesos de conversión de la energía: extraer la energía cinética del viento por medio de una turbina eólica y convertirla en un par mecánico, que a su vez, a través de un generador eléctrico, es convertido en energía eléctrica. Por lo tanto, la principal componente donde se lleva a cabo la conversión de la energía es el eje que une la turbina con el generador eléctrico [9, 10, 11, 12].

Aunque el principio de operación de un aerogenerador es simple, su diseño es sumamente complejo ya que involucra varias áreas de la ingeniería, tales como: aerodinámica, mecánica, eléctrica y control. La conjunción de estas disciplinas permite diseñar aerogeneradores que tienen como característica principal generar energía eléctrica a frecuencia y voltaje constante bajo condiciones variables del viento. Estas condiciones son requerimientos importantes para que las plantas eólicas puedan interconectarse con las redes eléctricas. [6, 7].

Los diferentes aerogeneradores que existen en el mercado se diferencian por la manera en que limitan la conversión de la energía del aire en energía mecánica, que a su vez es convertida en energía eléctrica por un generador eléctrico. La interconexión de las plantas eólicas con la red eléctrica depende de qué tipo de generador se utiliza. Los más usados son: generador de inducción de jaula de ardilla de velocidad fija y variable, generador de inducción de rotor devanado (doblemente alimentado) y generador síncrono con control directo [11, 15, 17-21]. En los aerogeneradores con generador de inducción jaula de ardilla a velocidad fija, el acoplamiento es directo, mientras que para los otros, el acoplamiento se hace mediante un convertidor de potencia (Rectificador (AC/DC) – Inversor (DC/AC)) que acondiciona la energía entregada a la red eléctrica [7, 15].

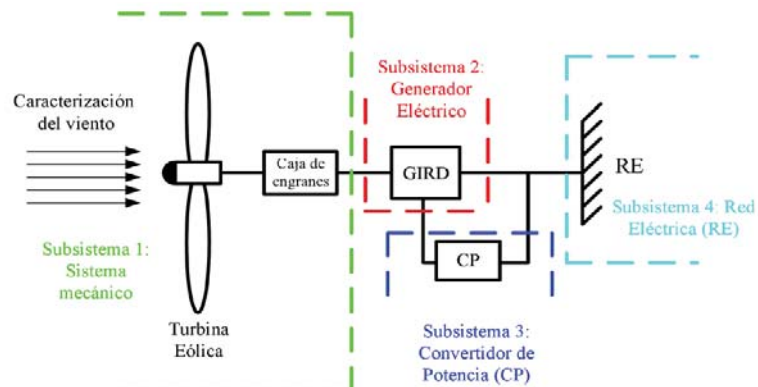


Figura 3. Principio de operación de un sistema de autogeneración.

Los sistemas de velocidad fija son diseñados para obtener una máxima eficiencia a una velocidad particular del viento, y están equipados con un banco de capacitores para suministrar potencia reactiva y mejorar el factor de potencia, que a menudo es bajo. Estos sistemas tienen la ventaja de ser simples, confiables y económicos en comparación con los de velocidad variable. Las desventajas principales son que no se tiene control de la energía reactiva consumida y que todas las fluctuaciones en la velocidad del viento son transmitidas como fluctuaciones en el torque mecánico y consecuente como fluctuaciones de la potencia eléctrica enviada a la red. En el caso de redes débiles, las fluctuaciones de potencia pueden ocasionar grandes fluctuaciones de voltaje, lo cual pueden provocar un colapso de voltaje [6], situación extremadamente peligrosa para cualquier red eléctrica.

En la actualidad una alternativa importante ha sido el diseño de aerogeneradores que operan a velocidad variable [7]. La intención es lograr una alta eficiencia en la generación de la energía eléctrica para un rango de velocidades del viento. Las ventajas de operar a velocidad variable son importantes ya que se incrementa la captura de la energía en el viento, se mejora la calidad de potencia y se reducen las fuerzas mecánicas sobre la turbina de viento. Las desventajas son las pérdidas en el convertidor electrónico, el uso de más componentes y el incremento en el costo del equipo. Sin embargo, estos son compensados si se compara el costo y beneficio de estos aerogeneradores [6].

#### 4. SITUACIÓN MUNDIAL

En años recientes ha tenido lugar un incremento substancial de la capacidad de generación de energía eléctrica mediante plantas eólicas. Sin embargo, este crecimiento no ha sido uniformemente distribuido en todo el mundo, como se puede observar en la figura 4. Para finales de 2008, alrededor del 20.8% de la capacidad mundial instalada se encontraba en Estados Unidos, en Europa, arriba del 50%, concentrada principalmente en Alemania y España. El restante del 100% se encuentra repartido en los demás países donde se utiliza esta tecnología. En la actualidad, regiones como América latina, África, el Pacífico y Asia no han tomado en cuenta la importancia de optar por nuevas tecnologías para la generación de energía eléctrica, en apoyo a los problemas del medio ambiente [8]. Por ello, los avances que se han tenido en la utilización de plantas eólicas son pequeños, aunque significativos en comparación con otros años [6, 8, 9, 11, 22, 23].

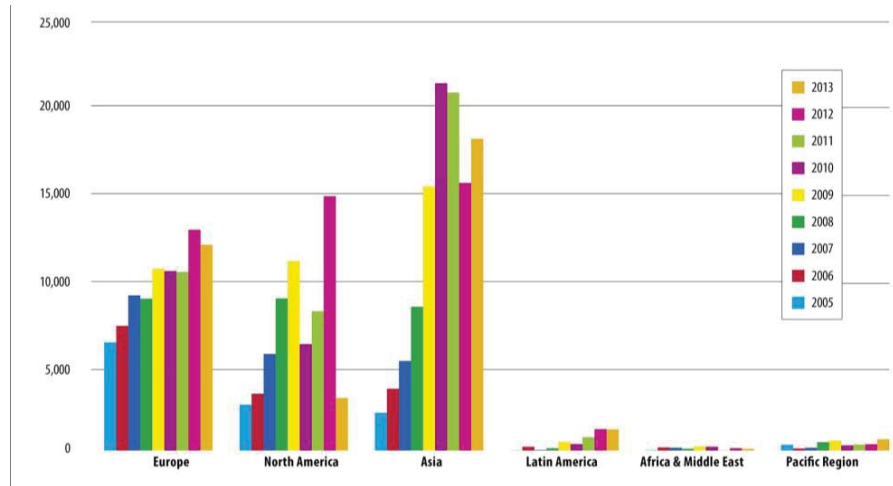


Figura 4. Capacidad Instalada por región (2005-2013) [8].

En la figura 5 se reporta cómo ha ido cambiando el interés por las plantas eólicas a través de la capacidad anual instalada en el mundo a partir del año 1996 hasta el 2013. Se puede notar un incremento importante a partir del año 2005.

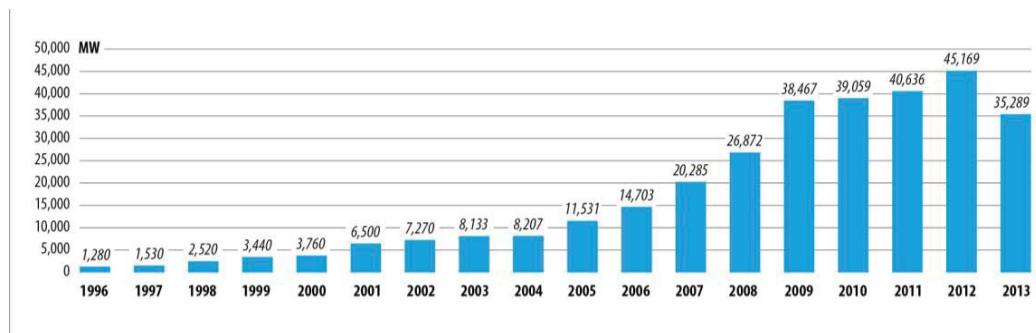


Figura 5. Capacidad anual mundial instalada (1996 -2013) [8].

En la figura 6 se da una perspectiva del avance en esta área desde 1996 hasta finales de 2008, considerando la capacidad acumulativa que se ha tenido en el mundo. Se puede apreciar un acelerado crecimiento en los últimos años, donde la tasa de crecimiento anual ha alcanzado un porcentaje mayor al 25%, lo cual refleja claramente la actitud de la comunidad internacional ante el aprovechamiento de esta fuente de energía [8].

Los países con mayor capacidad instalada son citados en la tabla 1. A la vanguardia se encuentra China, los Estados Unidos, Alemania, España e India [22, 23].

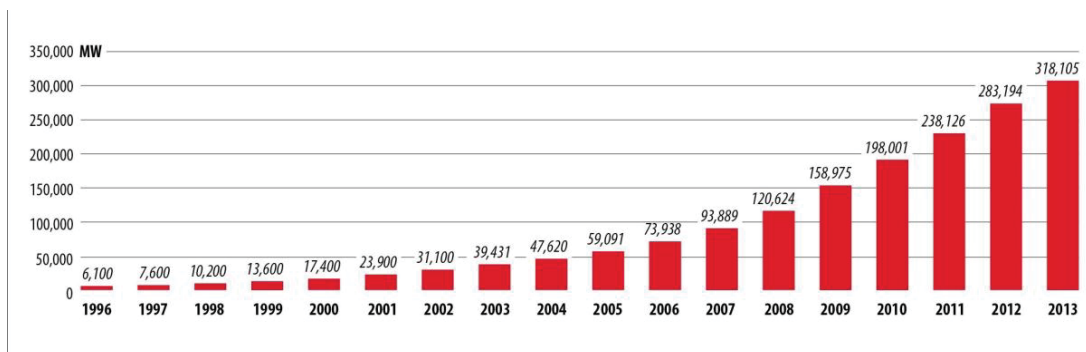


Figura 6. Capacidad acumulada (1996-2013) [8].

País	MW	%
China	91.412	28.7
USA	61.091	19.2
Alemania	34.25	10.8
España	22.959	7.2
India	20.15	6.3
Reino Unido	10.531	3.3
Italia	8.552	2.7
Francia	8.254	2.6
Canada	7.803	2.5
Dinamarca	4.772	1.5
Resto del Mundo	48.332	15.2
<b>Total del TOP 10</b>	<b>269.773</b>	<b>84.8</b>
<b>Total Mundial</b>	<b>318.105</b>	<b>100.0</b>

Tabla 1. Lista de países con mayor capacidad instalada de plantas eólicas en el mundo [8].

Se tiene registro de que en el 2008, en toda la Unión Europea se han instalado más plantas eólicas que cualquier otro sistema de generación de energía eléctrica [23]. Las estadísticas revelan que el 43% de la nueva capacidad de generación construida fue eólica, excediendo las capacidades instaladas de las otras tecnologías, incluyendo gas y energía nuclear [8]. Para el año 2015, países como Alemania, Estados Unidos, España, China e India pretenden suministrar el 40% de su demanda de electricidad con plantas eólicas. Alemania tiene programado instalar 10,183 MW para el 2015, por lo tanto, figura dentro de los proyectos de mayor capacidad hasta ahora [23].

A pesar de estos datos tan alentadores e importantes en la capacidad instalada de las plantas eólicas en el mundo, existen regiones donde el crecimiento ha sido poco importante, e incluso, nulo. Las razones de esta situación se deben a las siguientes condiciones:

- *Económicas*: Las instalaciones son muy costosas y se requieren varias áreas de la ingeniería para llevar a cabo los proyectos (eléctrica, mecánica, control, dinámica).
- *Climatológicas*: En algunas regiones las condiciones de viento son desfavorables para desarrollar los proyectos.
- *Desinterés*: Apatía de algunos países por buscar fuentes alternativas de energía limpia para la generación de la energía eléctrica.

## 5. SITUACIÓN EN MÉXICO



México posee regiones con un importante recurso eólico, capaz de producir grandes cantidades de energía eléctrica. La primera experiencia que se tuvo se dio en 1994, cuando se construyó la central eólica piloto de La Venta, en el estado de Oaxaca. Esta planta inició su operación con 7 aerogeneradores de 225 kW, instalados sobre torres de 30 m de altura, con capacidad total de 1.5 MW [14, 24, 25].

En el 2007 los Laboratorios Nacionales de Energía Renovable de los Estados Unidos (NREL) realizaron un mapa eólico del estado de Oaxaca [26], que permitió obtener una representación gráfica del contenido energético del viento en todo el territorio del estado. En la figura 7 se puede observar esta situación, donde los NREL estiman que en las zonas con mayor potencial eólico del estado de Oaxaca podrían instalarse 6,000 MW. Sin embargo, si se incluyen las zonas que tienen velocidades promedio anuales entre 6.7 m/s y 8.5 m/s, el potencial eléctrico podría ser mayor a los 33,000 MW.

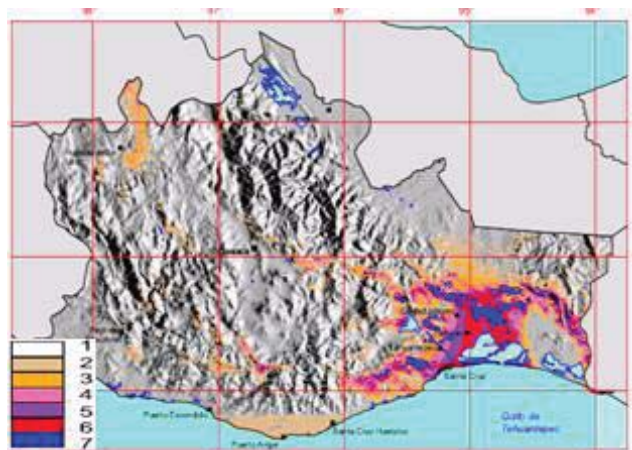


Figura 7. Mapa del recurso eólico del estado de Oaxaca (NREL) [26].

Los vientos promedio en la mayoría de los países de Europa y Estados Unidos no tienen, por mucho, la intensidad y persistencia de los vientos que soplan en la región sur del Istmo de Tehuantepec. La mayoría de los equipos instalados en Europa y Estados Unidos no son aptos para operar en sitios como La Venta. La velocidad media anual del viento en el corredor eólico que va desde La Venta hasta La Mata, pasando por La Ventosa, en el Estado de Oaxaca, es mayor de 9 m/s a 30m de altura. De acuerdo a la clasificación mostrada en la tabla 3, se considera excelente para generar electricidad [2, 26].

A partir de Enero del 2007, con la operación de la central eólica La Venta II, integrada por 98 aerogeneradores de 850 kW cada uno y con capacidad total de 83.3MW (307.7 GWh anual), se prevé evitar emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por 180,000 toneladas al año [24, 25]. Con este proyecto México ingresó a la lista de países que producen energía eléctrica con el recurso eólico a escala comercial, ocupando con ello el segundo lugar en América Latina, solamente detrás de Brasil, que cuenta con 256 MW instalados [14].

Sin embargo, si se aprovecharan las zonas de Zacatecas, La Rumorosa y el litoral de la península de Baja California, así como grandes extensiones de los litorales del Pacífico y del Golfo de México, donde el potencial eólico es igualmente importante, se podrían agregar por lo menos otros 10,000 MW. Por ello, la CFE ha incluido en su plan de expansión la instalación de 500MW y adicionalmente, la iniciativa privada tiene proyectada la instalación de otros 2,000 MW eólicos, bajo la modalidad de autoabastecimiento [14]. Sin duda, la consolidación de estos proyectos hará de México el país más importante en la generación eólica en América Latina.

## 6. CONCLUSIONES





**17** del 24 al 28 de noviembre de 2014  
**CONVENCIÓN CIENTÍFICA  
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA



Los avances en la tecnología que a nivel mundial han logrado los sistemas eólicos se ven reflejados en un crecimiento exponencial de su aplicación hasta finales de 2008. La razón principal de este fenómeno es el hecho de que estos sistemas son ecológicamente atractivos y que existen muchas regiones en el mundo donde es factible aprovechar la energía del viento.

En la actualidad, el crecimiento y el desarrollo tecnológico en la generación de energía eléctrica a través del viento se centra principalmente en países de Europa, Estados Unidos, China e India. Resulta imperativo que el resto de los países se sensibilicen ante los problemas ambientales que se provocan por las formas convencionales de generar la electricidad (combustibles fósiles, energía nuclear), y asuman la importancia que representa generar la electricidad vía fuentes de energías renovables.

México posee abundante recurso eólico, por ello está clasificado entre las mejores zonas del mundo con este recurso energético. Sin embargo el aprovechamiento de este recurso es mínimo hasta finales de 2008, tomando como referencia el potencial eólico con que cuenta. En esencia el sur del estado de Oaxaca es la zona de la república mexicana con mayor recurso eólico, pero también existen zonas en el norte y centro del país donde igualmente los recursos eólicos son importantes y de ser aprovechadas harían de México el principal país en América Latina en la generación eólica.

## 7. REFERENCIAS

1. THRESHER, R.; ROBINSON M.; VEERS P.; "To capture the wind". IEEE power & energy magazine, December 2007, pp.39.
2. ERNST, B.; OAKLEAF, B.; AHLSTROM, M.; LANGE, M.; MOEHRLEN, C.; LANGE, B.; FOCKEN, U.; ROHRIG, K.; "Predicting the wind". IEEE power & energy magazine, Nov. de 2007, pp. 79-89.
3. [www.eere.energy-wind](http://www.eere.energy-wind) and hydropower technologies.
4. [www.textoscientificos-wind.com](http://www.textoscientificos-wind.com)
5. SODER, L.;HOFMANN, L.;" Experience From Wind Integration in some High Penetration Areas". IEEE transactions on energy conversion, Vol. 22, March 2007, pp. 4.
6. ACKERMAN, T.; "Wind Power in Power System". Royal Institute of Technology, 2005, pp. 1-10.
7. RAJIB, D.; RANGANATHAN, V. T.; "Variable- Speed Wind Power Generation Using Doubly Fed Wound Rotor Induction Machine-A Comparison With Alternative Schemes".IEEE Transactions On Energy Conversion, Vol. 17, No.3, September 2002, pp. 414-421.
8. Global Wind Energy Council. [www.gwec.net](http://www.gwec.net)
9. SLOOTWEG, J. G.; KLING, W. L.; "Is The Answer Blowing in the Wind". IEEE power & energy magazine, December 2003, pp. 26-33.
10. [www.textoscientificos.com/energía/eolica](http://www.textoscientificos.com/energía/eolica)
11. MONROY, A.; "Modelado y Control de un Aerogenerador". Universidad Nacional Autónoma de México, 2005, pp. 13-22.
12. [www.textoscientificos.com/energía/turbinas](http://www.textoscientificos.com/energía/turbinas)
13. <http://archivo.greenpeace.org/Clima/Prokioto>
14. CADENAS, R.; SALDÍVAR, G.; "Central Eoloeléctrica la Venta II". Revista digital universitaria, Vol. 8, num. 12, Diciembre 2007, pp 1-12.
15. "Generadores eólicos: descripción de tecnologías". Electricidad, num. 13, enero 2003, pp. 21-24.
16. <http://www.metaefficient.com/news/new-record-worlds-largest-wind-turbine-7-megawatts.html>
17. LÓPEZ-GARCÍA, I.; CAMPERO- LITTLEWOOD, E.; ESCARELA- PÉREZ, R.; OLIVARES-GALVÁN, J.C.; HERNÁNDEZ-ÁVILA, J. L., "Sistemas de Generación Distribuida Como Alternativa de Fuente de Energía Eléctrica". Capítulo de Potencia del IEEE, Julio 2008, pp. 1-4.



**17** del 24 al 28 de noviembre de 2014  
**CONVENCIÓN CIENTÍFICA  
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA



18. FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, C.; HUMANS, S. D.; “Máquinas Eléctricas”. Mc Graw Hill, 2004, pp. 306-348.
19. KUNDUR, P.; “Power System Stability and Control”, Mc Graw Hill, 1994.
20. WILDI T.; “Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia”, Pearson-Prentice Hall, 2007.
21. KRAUSE, C.; WASYNCZUK, O.; SUDHOFF. S.; “Analysis of Electric Machinery and Drive Systems”. IEEE series on power engineering, segunda edición, 2002.
22. American Wind Energy Association. ([www.awea.com](http://www.awea.com))
23. The European Wind Energy Association. ([www.ewea.com](http://www.ewea.com))
24. Comisión Federal de Electricidad CFE. ([www.cfe.gob.mx/](http://www.cfe.gob.mx/))
25. Instituto de Investigaciones Eléctricas. ([www.iie.gob.mx/](http://www.iie.gob.mx/))
26. ELLIOT, D.; SCHWAWARTZ, M.; HAYMES, S.; “Wind Energy Resource Atlas of Oaxaca”. National Renewable Energy Laboratory, U.S 2006, pp 50-60.

## 8. SOBRE LOS AUTORES

D. A. Aragón Verduzco (México D.F. 1986). En 2008 obtuvo el grado de Ingeniero Electricista en la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. Trabajó en la industria eléctrica hasta 2013, año en el que inició sus estudios de maestría en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Está interesado en el diseño y modelado de máquinas eléctricas y en la calidad de la energía.

I. López García (Ixtaltepec Oaxaca, 1978). En 2002 obtuvo el grado de Ingeniero Electricista en la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. Trabajó en la industria eléctrica desde 1999 hasta 2001. En 2005 obtuvo su grado de Maestría en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, unidad Zacatenco. En 2013 obtuvo el grado de doctor en la Facultad de Ingeniería de la UNAM en el área de control. Actualmente se encuentra trabajando como profesor-investigador de tiempo completo en el Departamento de Energía de la Universidad Autónoma Metropolitana. Está interesado en el modelado, análisis y control de máquinas eléctricas. Es miembro del IEEE.

R. Escarela-Pérez (México, D.F. 1969). En 1992 obtuvo el grado de Ingeniero Electricista en la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco y en 1996 el grado de doctor en el Imperial College de London. Actualmente se encuentra trabajando como profesor-investigador de tiempo completo en el Departamento de Energía de la Universidad Autónoma Metropolitana. Está interesado en el control, análisis magnético y diseño de máquinas eléctricas. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel II) y Senior Member del IEEE.

E. Campero-Littlewood (México D.F., 1947). En 1969 obtuvo el grado de Ingeniero Mecánico Electricista de la Facultad de Ingeniería, UNAM. Trabajó en la industria hasta 1975, año en el que inició sus estudios de maestría en el Imperial College de la Universidad de Londres. En 1977 ingresó como profesor de tiempo completo en la Universidad Autónoma Metropolitana, donde es profesor Titular “C” desde 1991. Sus áreas de interés en investigación son máquinas eléctricas y uso eficiente de la energía.

J. Guzman (Leon, Gto., 1973). Obtuvo el grado de doctor en Ingeniería en la Universidad Autónoma Nacional de México. Actualmente se encuentra trabajando en el área de Ingeniería Energética y Electromagnética. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I).

R. A. Ortiz Medina (México DF, 1986). En 2011 obtuvo el grado de Ingeniero Electricista en la Universidad Autónoma Metropolitana, donde se desempeñó como ayudante académico en el Departamento de Energía. Actualmente cursa la Maestría en Sistemas Eléctricos de Potencia en la Universidad Nacional Autónoma de México. Está interesado en el análisis y diseño de máquinas eléctricas.