

# ARTÍCULO

## **Central Eoloeléctrica La Venta II**

*Roberto Cadenas Tovar*  
*Subgerente de Proyectos de Energía Renovable*  
*Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos*  
*Comisión Federal de Electricidad CFE*  
*roberto.cadenas@cfe.gob.mx*

*Gaffie Saldívar Urquiza*  
*Departamento de Ingeniería Básica*  
*Subgerencia de Proyectos de Energía Renovable*  
*Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos*  
*Comisión Federal de Electricidad CFE*  
*gaffie.saldivar@cfe.gob.mx*

### Educación y Nuevas Tecnologías. Central Eoloeléctrica La Venta II

#### Resumen:

La explotación del viento como fuente de energía ha registrado en el mundo un acelerado crecimiento en los últimos años. México posee regiones con importante recurso eólico, capaz de producir grandes volúmenes de electricidad; su aprovechamiento figura ya dentro de los programas de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), tal es el caso de la puesta en marcha de la primera central eólica a escala comercial, denominada La Venta II. Este documento presenta una síntesis de las características que tiene esta nueva central eólica y los beneficios que aporta en términos de producción de electricidad y abatimiento de emisiones de gases de efecto invernadero.

Palabras Clave: Energía del Viento, Energía Renovable, Factor de Planta, Mecanismo de Desarrollo Limpio MDL, Protocolo de Kyoto, Aerogeneradores.

#### Abstract:

Using of wind as energy source has registered a fast growing around the world in the last years. Mexico posses regions with very good wind, where significant volume of electricity can be produced; its exploitation is already taken into account in the Federal Commission of Electricity (CFE) programs, an example is the starting up of the first wind power plant at commercial scale, named La Venta II. This paper presents a synthesis of this new wind power plant characteristic and the benefits that it provides in terms of production of electricity, the reduction in green house gases emission and associated effects.

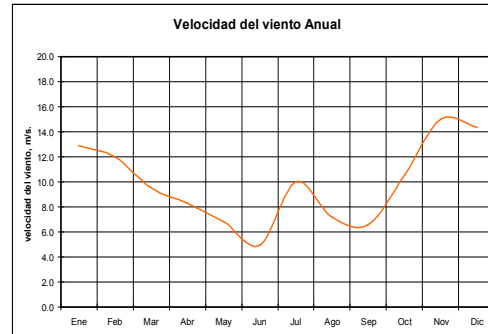
**Keywords:** Wind Energy, Renewable Energy, Capacity Factor, Clean Development Mechanism MDL, Kyoto Protocol, Wind Turbines.

## Introducción

La primera experiencia que se tuvo en la CFE con el viento como fuente de energía, se dio en 1994 [1], cuando se construyó y se puso en servicio la central eólica piloto de La Venta, en el estado de Oaxaca (Ver Figura 1). Los registros de producción de la central piloto fueron sobresalientes, con un factor de planta mayor de 50% para el primer año de operación y un promedio de 40% para los diez años que ha estado en servicio. Esta central piloto inició su operación con siete aerogeneradores de 225 kW cada uno, instalados sobre torres tubulares de 30 m de altura, para una capacidad total de 1.5 MW.



*Figura 1.- Central eólica piloto  
La Venta 1,575kW*



*Figura 2.- Característica del viento  
para el año 1999 mensual.*

En paralelo, la CFE instaló una red de instrumentos de medición con el propósito de caracterizar el contenido energético del viento. Ello le ha permitido obtener información de largo plazo de diversos sitios con elevado potencial eólico, ubicados entre los mejores del mundo.

La tecnología de conversión de viento a electricidad ha experimentado avances importantes; basta señalar que en la década de los 80's se producían equipos de 100 kW y se probaban prototipos de 300 kW; actualmente se comercializan unidades de 2 MW y mayores.

Con un recurso eólico de grandes proporciones y una tecnología de conversión madura, la CFE ha decidido iniciar el aprovechamiento del viento como fuente de energía, con lo cual diversificará su base energética y contribuirá con el desarrollo sostenible del sector eléctrico y de la sociedad en su conjunto.

## Características del viento en la región

El viento en la región sur del istmo de Tehuantepec (Ver Figura 3) tiene un comportamiento estacional definido. En el otoño e invierno se presentan los vientos más intensos y persistentes del año, que corresponden a los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero, que llegan a alcanzar velocidades sostenidas de

más de 20 m/s. Los vientos más débiles se presentan por lo regular en los meses de abril, mayo y junio, para después repuntar en julio y disminuir nuevamente en agosto y septiembre (Ver Figura 2)

Este comportamiento es genérico, y debe considerarse que el viento presenta variabilidad interanual, es decir, al igual que otras variables climatológicas, existen años de buenos vientos y años de vientos débiles. En consecuencia, los valores de las velocidades medias del viento varían de un año a otro, y por lo tanto también las velocidades medias de cada mes al pasar de un año a otro. Lo mismo ocurre de una semana a otra y de un día a otro.

No obstante este carácter variable del viento, la acumulación de una base de datos de largo plazo permite caracterizar y predecir su comportamiento.

La velocidad media anual del viento en el corredor eólico que va desde La Venta hasta La Mata, pasando por La Ventosa, es mayor de 9 m/s a 30 m de altura. La dirección dominante del viento se ubica en el sector NNW-NNE y presenta una frecuencia del 70% del tiempo.

### **Capacidad eólica instalada en el mundo**

Hasta noviembre del 2007, la capacidad eólica instalada en el mundo superaba los 82,000 MW [2], siendo líderes Alemania, Estados Unidos, España e India. Figuran también de manera importante Dinamarca, Holanda y otros.

La tasa de crecimiento anual de la capacidad instalada mundial ha alcanzado más del 25%, lo cual refleja claramente la actitud de la comunidad internacional ante el aprovechamiento de esta fuente de energía.

A partir de Enero del 2007, con la operación de la central eólica La Venta II de 83.3 MW, México ingresó a la lista de países que producen electricidad con el viento a escala comercial, ocupando con ello el 2° lugar en América Latina, estando a la cabeza Brasil con 256 MW instalados.

### **Estado de la tecnología de conversión**

Grandes avances se han alcanzado en la tecnología de los aerogeneradores. Desde principios del siglo XX en que el profesor Danés La Cour construyó el primer molino de viento dirigido a la producción de electricidad, diversos diseños han sido desarrollados y probados a través de la historia. Sin embargo, el aerogenerador de eje horizontal de tres aspas es el que más se utiliza actualmente en la industria (Ver Figura 4).

A principios de la década de los 80's se fabricaban aerogeneradores de 60 kW; posteriormente la capacidad

se incrementó a 100 kW para instalarse las primeras centrales con unidades de 300 kW a finales de esa década. Como referencia, un aerogenerador de 60 kW tiene un diámetro de rotor de 15 metros, y se instala en una torre soporte de 20 metros de altura; un aerogenerador de 300 kW tiene un diámetro de rotor de 30 metros y se instala en un torre de alrededor de 30 metros de altura.

La capacidad promedio de los aerogeneradores que se instalaron en el mundo en el año 2003 fue de 1.2 MW por unidad. En Alemania ésta capacidad promedio fue de 1.6 MW. La tendencia mundial es producir cada vez unidades de mayor capacidad con el propósito de utilizar menores extensiones de tierra por kW instalado. Actualmente la industria está transitando de la producción de aerogeneradores clase megawatt a los aerogeneradores clase multimegawatt, y se están instalando unidades prototipo de 5 MW, con diámetro de rotor de 126 metros y torre soporte de altura similar.



*Figura 4.- Aerogenerador 3 palas eje horizontal con torre tubular.*

Existen otras iniciativas, aún más ambiciosas, como la de la empresa Clipper Windpower, que quiere fabricar el mayor aerogenerador del mundo. El fabricante de aerogeneradores con sede en California ha llegado a un acuerdo de colaboración en Reino Unido para desarrollar un aerogenerador de 7.5 MW para aplicaciones marinas. Para desarrollar esta formidable máquina, Clipper ha establecido lo que denomina un Centro de Excelencia para la Energía Eólica Marina en la localidad de Blyth, al noreste de Inglaterra. El proyecto, denominado Britannia, recibe el apoyo de la Agencia de Desarrollo Regional del Noreste (de Inglaterra) mediante una inversión de 7,5 millones de euros.

Cabe señalar que las unidades de gran capacidad son por ahora más costosas que las unidades menores, por kW instalado, debido a la infraestructura que requieren para su fabricación, transporte y montaje. Se espera, sin embargo, que en el futuro se obtenga una substancial economía de escala al utilizarlas.

Los vientos promedio que soplan en la mayoría de los países de Europa y Estados Unidos no tienen con mucho la intensidad y persistencia de los vientos que soplan en la región sur del istmo de Tehuantepec. La mayoría de los grandes equipos instalados en Europa y Estados Unidos no son aptos para operar en sitios como la Venta.

La International Electrotechnical Commission (IEC) ha emitido normas a este respecto, y ha establecido una clasificación de los requerimientos de diseño que deben reunir los aerogeneradores según el régimen de vientos del sitio en donde vayan a operar. Así se puede mencionar que en Europa y Estados Unidos predominan los equipos diseñados bajo los requerimientos de las Clases II y III, mientras que en los sitios muy ventosos como en La Venta, en México, ó Tejona en Costa Rica, los equipos deben cumplir con los

requerimientos de las Clases I ó Especial, para velocidades promedio de viento superiores a los 8.5 m/s, con niveles de turbulencia de moderados a altos.

Lo anterior puede también ilustrarse si mencionamos que en 2005 el factor de planta promedio mundial fue de 22% [3], mientras que las expectativas de sitios como La Venta son superiores al 40%, lo cual implica un factor de utilización más exigente, con mayores requerimientos de diseño y servicio.

Varios países en Europa están instalando centrales eólicas en el mar, en aguas poco profundas, debido principalmente a la escasez de terrenos disponibles. Esta modalidad, aunque más costosa, resuelve el problema de los predios y permite la captura de vientos de mejor calidad en contenido energético. Estos proyectos son un símbolo de la vanguardia de la tecnología eólica.

### Potencial eólico en México

Recientemente, los Laboratorios Nacionales de Energía Renovable de los Estados Unidos (NREL) produjeron un mapa eólico del estado de Oaxaca, en cuya preparación y calibración participó la CFE y otros organismos nacionales, como el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE). El trabajo fue preparado a solicitud del Gobierno del Estado de Oaxaca, bajo el patrocinio de la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID). Como resultado se obtuvo una representación gráfica que muestra el contenido energético del viento en todo el territorio del estado.

NREL estima que conservadoramente, en las zonas más ventosas del estado podrían instalarse 6,000 MW; pero 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.

Oaxaca posee los lugares de mayor potencial eólico en nuestro país, sin embargo se deben mencionar también otras regiones como 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, que también podrían agregar por lo menos otros 10,000 MW al potencial nacional.

Cabe mencionar que muchos sitios que por ahora no son atractivos por sus moderados vientos, en el futuro, cuando la tecnología alcance un mayor desarrollo, se espera que sean incorporados como sitios productores de electricidad.

Como proyectos futuros, la CFE ha incluido en el plan de expansión la instalación de 500 MW eólicos de capacidad adicional en la región sur del istmo de Tehuantepec; adicionalmente la iniciativa privada tiene proyectada la instalación de otros 2,000 MW eólicos bajo la modalidad de autoabastecimiento.

Cabe señalar que para la evacuación de la energía que será producida por estas grandes centrales eólicas, la Secretaría de Energía (SENER), la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y la CFE desarrollaron un proyecto para la construcción de la infraestructura eléctrica requerida, líneas y subestaciones, que serán amortizadas por los desarrolladores de esos proyectos.

## Características de la Central La Venta II

La central eoloelectrica La Venta II esta localizada en la región sur del Istmo de Tehuantepec, al norte del ejido La Venta, municipio de Juchitán de Zaragoza; aproximadamente a 310 km al Este-Sureste de la Ciudad de Oaxaca.

La central se construyó bajo la modalidad de Obra Publica Financiada y tuvo un plazo de ejecución de 16 meses. Entre sus principales características están las siguientes:

Capacidad de la central	83.3 MW
Capacidad por unidad	850 kW
Clasificación IEC	Clase I
Altura de la torre	44 m
Diámetro del rotor	52 m
Separación entre unidades	2.5 diámetros
Separación entre líneas	600 m aprox.
Transformador por unidad	Seco encapsulado 690/34kV
Buses colectores	Subterráneos 34.5 kV
Monitoreo y Control	Local y remoto
Subestación elevadora	34.5 kV / 230 kV
Línea de transmisión	Doble circuito 20 km 230 kV
Punto de interconexión	SE Juchitán II
Superficie ocupada	960 ha
Régimen propiedad predios	ejidal

La Central está integrada por 98 aerogeneradores de 850 KW cada uno. Los aerogeneradores están dispuestos en 4 filas distribuidas en el área del predio de aproximadamente 900 ha, separadas aproximadamente 600 m, 10 veces el diámetro del rotor entre una y otra fila. La separación entre un aerogenerador y otro adyacente, es de 2.5 veces el diámetro del rotor, es decir 130 m, ya que las turbinas son de 52 metros de diámetro de rotor. Cada aerogenerador esta soportado por una torre tubular de acero de 44 m de altura. El rotor esta conectado al generador eléctrico a través de una caja multiplicadora.

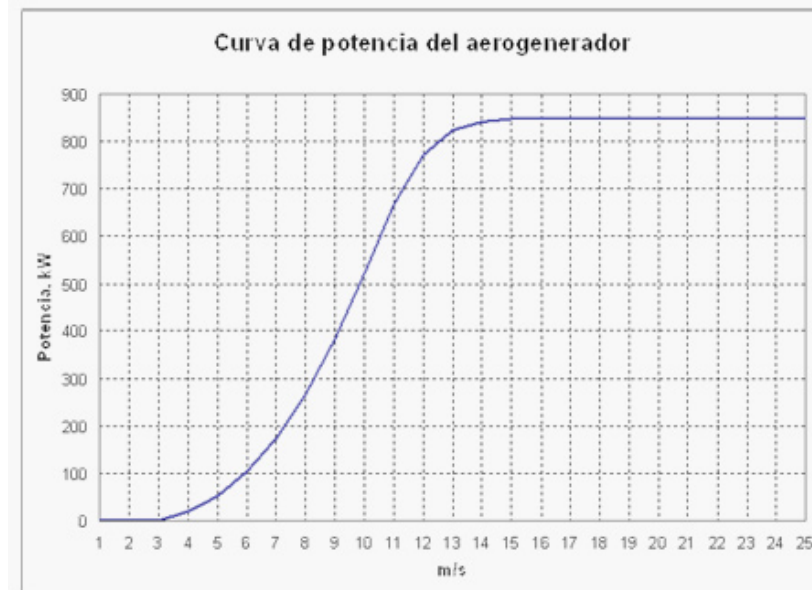
El aerogenerador comienza a generar cuando la velocidad del viento alcanza los 4 m/s y produce su potencia nominal a los 15 m/s; manteniéndose constante a regímenes mayores de velocidad, y se detiene, por razones de seguridad, cuando la velocidad es de 25 m/s, tal como se muestra en la curva de Potencia – Velocidad de Viento del aerogenerador, figura 5. De igual manera cuenta con un sistema de orientación el cual permite seguir a la dirección del viento para su mejor aprovechamiento

El generador eléctrico es del tipo inducción cuya velocidad es variable en un rango de 900 a 1450 RPM. El



voltaje de generación es de 690 V y cada aerogenerador cuenta con un transformador elevador cuya relación de transformación es 690 V / 34.5 KV; este es del tipo seco encapsulado y esta instalado en el interior de la torre.

Eléctricamente, la Central se divide en 5 circuitos colectores, de aproximadamente 20 MW de capacidad cada uno. Los circuitos colectores forman la red subterránea de media tensión a 34.5 KV, instalando, mediante ductos o zanjas, los cables monopolares con aislamiento XLP, de los cuales, se instalaron aproximadamente 40 Km y que finalmente entregan la energía al tablero de Media Tensión tipo Metal Clad.



*Figura 5.- Curva de potencia - velocidad de los aerogeneradores instalado en La Venta II*

Este tablero tiene la función de concentrar la energía recolectada de cada uno de los aerogeneradores; es de doble barra y consta de varias celdas modulares aisladas en gas SF6 las cuales cuentan con equipos de interrupción, control y medición de la energía eléctrica; la energía total del parque es llevada hacia la subestación principal.

La subestación principal (ver Figura 6) consta de 4 transformadores monofásicos (3 en uso más uno de reserva), están aislados en aceite y forman el arreglo principal de la subestación. Cada uno de estos transformadores tiene un sistema de protecciones eléctricas, de protección contra explosión e incendio y sus sistemas de monitoreo. Además de los transformadores, otros equipos que forman parte de la subestación son los transformadores de corriente y voltaje, interruptores, cuchillas, conductores aéreos así como las estructuras y herrajes necesarios para soportar dichos elementos.

Desde la subestación principal, se lleva la energía eléctrica hacia otra subestación, mediante una línea de transmisión de doble circuito<sup>1</sup>, que llega a una subestación denominada Juchitán II, la cual es el punto de interconexión al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

<sup>1</sup> Actualmente se tiene solo un circuito habilitado, pero con las preparaciones para el segundo circuito.





*Figura 6.- Subestación eléctrica La Venta II 230 kV*

Cada uno de los sistemas cuenta con elementos de monitoreo, supervisión y control, local y remoto (ubicado en la ciudad de Juchitán, a 30 km aproximadamente de la central) los cuales emiten señales que se concentran a través de estaciones de supervisión dedicadas, local y remota; así mismo se tienen enlaces de comunicaciones para el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) de la CFE, para la supervisión y control de la central.

### **Producción de electricidad y emisiones evitadas**

La producción anual de la central La Venta II se ha estimado en 307.7 GWh, cuya incorporación a la red eléctrica de CFE evitará emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera estimadas en más de 180,000 toneladas por año. México registró este proyecto en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) en el marco del Protocolo de Kyoto para contribuir a la mitigación del cambio climático.

Al mes de Julio del 2007, la central ha producido los volúmenes de energía mostrados en la Tabla 1. Cabe señalar que a pesar de ser los meses de enero y febrero los de viento más intenso, el factor de planta para estos meses resultó bajo debido a los ajustes normales que se realizaron durante la puesta en operación de la central.

<b>Tabla 1.- Producción de la Central eólica La Venta II</b>		
Año 2007		
<b>Mes</b>	<b>G. MWh</b>	<b>FP</b>
ENE	15,306.60	24.7%
FEB	19,153.43	34.2%
MAR	26,437.29	42.6%
ABR	21,845.10	36.4%

MAY	19,915.15	32.1%
JUN	12,768.28	21.3%
JUL	9,784.42	15.8%
<b>Total</b>	<b>125,210</b>	<b>29.6%</b>

Por otro lado, un aspecto social importante, es el beneficio que los ejidatarios de La Venta reciben por permitir el usufructo de sus terrenos para el proyecto. Estos beneficios consisten en un pago anual durante la vida útil del proyecto. Esta modalidad de pago se deriva del tipo de acuerdos que actualmente se llevan a cabo en otros países, lo cual es del conocimiento de los ejidatarios y de las autoridades agrarias.

Cabe señalar que el área de ocupación efectiva de la central esta entre 2 y 3% del área total del predio, considerando los caminos de acceso, bases de aerogeneradores y subestación de la central, lo que significa una afectación mínima al terreno; es decir, los predios pueden seguir siendo utilizados para cultivo agrícola y pastoreo.

### Conclusiones

La central eólica La Venta II ha permitido incrementar y diversificar la participación de la energía renovable en la oferta nacional, está contribuyendo a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera y tiene un impacto social positivo, con lo cual se promueve el desarrollo sostenible y sienta las bases para la futura explotación masiva del viento como fuente de energía en nuestro país.

### Referencias

[1] Página electrónica de Comisión Federal de Electricidad CFE, <http://www.cfe.gob.mx/>

[2] Página electrónica de Estadísticas Mundiales de la Energía Eólica, 8-nov-2007, Holanda, <http://home.wxs.nl/~windsh/stats.html>

[3] Revista Windstats Newsletter Vol. 20, N° 1, Winter 2007, Denmark.

