

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**"CONSTRUCCIÓN DE UN AEROGENERADOR CASERO PARA LA
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA"**

TESIS

QUE PRESENTA

LIZETH NOEMÍ GONZÁLEZ JIMÉNEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

ING. EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2012

“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

“CONSTRUCCIÓN DE UN AEROGENERADOR CASERO PARA LA GENERACIÓN
DE ENERGÍA ELÉCTRICA”

TESIS QUE SE PRESENTA PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

POR:
LIZETH NOEMÍ GONZÁLEZ JIMÉNEZ

APROBADA POR EL H. CUERPO DE ASESORES

ASESOR PRINCIPAL



ING. JOEL LIMONES AVITIA

ASESOR



MC. RAMIRO GONZÁLEZ ÁVALOS

ASESOR



DR. ALFREDO OGAZ

ASESOR SUPLENTE



MC. CYNTHIA DINORAH RUEDAS ALBA



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS



COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2012

TESIS QUE SE SOMETE A CONSIDERACION DEL H. JURADO
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

PRESIDENTE




ING. JOEL LIMONES AVITIA

VOCAL



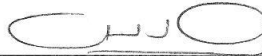
MC. RAMIRO GONZÁLEZ ÁVALOS

VOCAL



DR. ALFREDO OGAZ

VOCAL SUPLENTE



MC. CYNTHIA DINORAH RUÉDAS ALBA



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2012

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por darme la oportunidad de vivir y protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mi "ALMA TERRA MATER":

Por darme la oportunidad de crecer profesionalmente en esta bella institución.

A mis Maestros y Maestras:

Por todas sus enseñanzas, consejos y la paciencia que me brindaron a lo largo de mi estancia en la Universidad.

DEDICATORIAS

A mis padres:

A ustedes por todo su amor, porque he tenido el mejor ejemplo para luchar y triunfar en la vida, porque me han brindado todo el apoyo que he necesitado para lograr mis metas, por no dejarme caer en los obstáculos que se me han presentado en la vida, por confiar en mí, por prepararme para la vida. A pesar de la distancia siempre pude sentir su apoyo y amor. Gracias

A mi hermana:

Gracias por estar conmigo y apoyarme, por decirme las palabras que necesitaba escuchar para superar mis obstáculos.

A mis Abuelas:

Porque me han brindado su apoyo incondicional, palabras de amor y de aliento y por estar conmigo en los mejores y peores momentos.

A mis Abuelos (QEPD):

A pesar de que hoy ya no se encuentran conmigo me demostraron su amor y me ayudaron a crecer con los mejores valores y ejemplos.

A mis Tíos y Tías:

Por su apoyo incondicional, gracias por haber estado conmigo en las etapas más difíciles con los mejores consejos para superar todo y cumplir mis metas.

A mis Primas y Primos:

Por todos los momentos que hemos vivido juntos compartiendo travesuras, risas y tristezas, por sus consejos y todo su apoyo incluso a pesar de la distancia.

A mis Sobrinas y Sobrinos:

Por haberme brindado innumerables momentos de alegría con sus travesuras y ocurrencias ayudándome con ello a sobrellevar los momentos difíciles.

A mis Amigas y Amigos:

Gracias por su amistad, por haber compartido conmigo a lo largo de los años todos los buenos y malos momentos, por escucharme, por darme sus consejos, por ayudarme a confiar en mí.

Finalmente agradezco a todas las personas que de alguna manera han estado conmigo ayudándome a crecer y a lograr mis metas.

ÍNDICE

RESUMEN	v
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
Objetivo general	4
Objetivo específico	4
HIPÓTESIS	4
REVISIÓN DE LITERATURA	5
Historia de las energías.	5
Energías alternativas	5
Desarrollo energético sostenible	6
Sector energético	6
Energía Eólica.....	7
Desarrollo económico	11
Cantidad de Energía Producida	11
Demanda de energía	11
Ventajas:	13
Tipos de aerogeneradores	14
Componentes de un aerogenerador	16
Rotor	17
Góndola	18
Generador	19
Multiplicador	20
Sistema de control	21
Sistema de orientación.....	23
Tamaño del aerogenerador.....	25
Potencia del aerogenerador	27
Costo del aerogenerador	27
Energía Eólica en México	28
Desarrollo de Parques eólicos en México	29

Potencial de la energía eólica en México.....	30
Oaxaca.....	30
Península de Yucatán.....	30
Región Centro Norte.....	31
Energía eólica en el mundo.....	31
MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
ESQUEMA DE CONSTRUCCIÓN:.....	39
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	40
CONCLUSIONES.....	42
RECOMENDACIONES.....	43
LITERATURA CITADA.....	44

RESUMEN

La primera aplicación de la energía eólica probablemente sea la navegación a vela, de la que se tiene noticias desde la época del antiguo Egipto. Hoy seguimos utilizando el viento en barcos recreativos y podemos ver en pie molinos de viento que se han utilizado para moler grano o bombear agua.

Un aerogenerador es una máquina que transforma la energía cinética del viento en energía eléctrica. La fuerza del viento mueve las aspas del aerogenerador, la energía cinética del viento se convierte en energía mecánica rotacional y este movimiento se transmite mediante una serie de engranajes a un generador que produce la energía eléctrica.

Los componentes claves de un aerogenerador son la torre que soporta la góndola, las aspas y el generador eléctrico. La mayoría de los aerogeneradores modernos son de tres palas, de eje horizontal y poseen mecanismos de orientación para obtener el máximo rendimiento y proteger el aerogenerador en caso de vientos fuertes.

El máximo inconveniente de un aerogenerador es el impacto visual que provoca en la zona donde se instala. Asociaciones ecologistas también se quejan de la mortandad que provocan entre las aves migratorias.

En los últimos años en nuestro país ha habido un fuerte aumento del empleo en el sector de la energía eólica. La construcción e instalación de un aerogenerador y la investigación para conseguir modelos más eficaces requieren la formación y el reciclaje de profesionales especializados.

Palabras clave: Aerogenerador, Eólica, Energía cinética, Reciclaje, Viento.

INTRODUCCIÓN

Históricamente, el desarrollo de la sociedad humana se ha basado en el aprovechamiento de fuentes energéticas primarias de tipo fósil. Producto de su uso indiscriminado se ha generado un deterioro ambiental global que puede llegar a niveles insostenibles si no se toman correctivos oportunos. El continuo y creciente deterioro del ecosistema mundial y el agotamiento a mediano plazo de las reservas de combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas; son las principales consecuencias del actual sistema energético mundial. El sistema se basa en la utilización intensiva de dichas fuentes. Por esta razón es imperativo el desarrollo de fuentes energéticas alternativas que sean armónicas ambientalmente, renovables e inagotables (Posso, 2002).

El sistema energético se encuentra en un punto crítico ya que el consumo masivo de combustibles fósiles, que son la principal fuente de energía, es el mayor responsable de las emisiones que están comenzando a provocar cambios climáticos severos. De continuar por este camino, es muy probable que se superen los límites que la naturaleza puede soportar, lo que podría provocar para la mayoría de las especies animales dificultades para adaptarse a cambios tan intensos y rápidos. Esta situación no es considerada con la debida importancia por los gobiernos ni tampoco por las empresas energéticas privadas, pues continúan decidiendo inversiones multimillonarias buscando el aprovechamiento de las fuentes convencionales de energía, prolongando la existencia de un modelo energético insostenible. La única solución real al cambio climático se encuentra en la sustitución gradual de la energía de combustibles fósiles por las energías de fuentes renovables, acompañada necesariamente de un uso más eficiente de la energía (Baldovino *et al.*, 2007).

La primera crisis de la energía, en la década de los setenta, renovó el interés hacia estas fuentes energéticas relegadas por los combustibles fósiles; luego, en la década de los ochenta, ante las evidencias de un deterioro ambiental generalizado atribuido

principalmente a la quema de aquellos, el desarrollo de las energías alternativas adquirió mayor importancia (Posso, 2002).

Las fuentes renovables de energía por excelencia son la energía solar y sus manifestaciones como el viento, que es producto de un calentamiento desigual de la superficie de la Tierra por la radiación solar; la hidráulica, que tiene su origen en la evaporación, también por la acción del calor solar, del agua de los océanos, lagos y ríos, encharcamientos, etcétera, y su posterior condensación y caída en forma de lluvia; la biomasa, que es materia orgánica que está formada por arbustos, árboles, pastos, cultivos, residuos orgánicos, etcétera, que se nutrieron con la participación de la energía del Sol; el oleaje marino, que es a su vez ocasionado por el viento, entre otras (Rincón y Pereyra, 2006).

La primera aplicación de la energía eólica probablemente sea la navegación a vela, de la que se tiene noticias desde la época del antiguo Egipto. Como todas las energías alternativas el impulso definitivo se dio cuando realmente se tuvo necesidad de ella. El accidente de la central nuclear de Chernóbil potenció todavía más el desarrollo de las energías renovables. Se ha investigado y desarrollado diversos tipos de molinos, que en la actualidad se denominan aerogeneradores (Ruiz, 2004).

La industria eólica en el mundo ha logrado avances significativos desde las primeras granjas de viento de última tecnología, sin embargo, la década reciente ha sido por demás relevante. Este crecimiento tiene su explicación en la situación energética mundial y en la respuesta estratégica de gobiernos, empresas y comunidades; así mismo, el desarrollo tecnológico y los éxitos de los pioneros han motivado dicho efecto multiplicador. La capacidad mundial de generación de energía eólica se ha duplicado cada 3.5 años desde 1990. La industria eólica capta el 43% de la inversión en el sector eléctrico mundial y crece a un ritmo de entre 20% y 30% cada año. Las proyecciones de la Asociación Mundial de Energía Eólica indican que la capacidad instalada llegará a los 190,000 MW para el año 2010 (Romero *et al.*, 2009).

Un aerogenerador es una maquina, cuya función es la de transformar la mayor parte de la energía proveniente del viento en otro tipo de energía útil. En la mayor parte de los casos prácticos, esta energía útil es eléctrica, al chocar el aire sobre aspas oblicuas del aerogenerador, la energía cinética del viento se convierte en energía mecánica. La energía mecánica a su vez es transformada en energía eléctrica mediante un generador (Sosa, 2003).

OBJETIVOS

Objetivo general

Alimentar de energía eléctrica a una casa, mediante la construcción y funcionamiento de un generador eólico casero.

Objetivo específico.

Obtener energía eléctrica mediante la transformación de la energía eólica, por medio de uso de aerogenerador.

HIPÓTESIS

El uso del movimiento del aire ayuda a generar energía eléctrica, mediante equipos denominados aerogeneradores.

REVISIÓN DE LITERATURA

Historia de las energías

El agotamiento de las fuentes tradicionales de energía (combustibles fósiles) de manera acelerada dada la sobre explotación de las mismas y el incremento de los precios del petróleo en el mercado mundial, hacen que la máxima dirección del país haya priorizado los estudios a corto plazo para la utilización del viento mediante el emplazamiento de parques eólicos para la producción de energía eléctrica (Proenza *et al.*, 2007).

La presencia de fuentes de energía tradicionales no renovables, altamente contaminantes y costosas dentro de la matriz energética actual, no aseguran una sostenibilidad de la misma (Baldovino *et al.*, 2007).

Energías alternativas

Las energías alternativas, incluyendo la eólica son cada vez más aprovechada para proporcionar un potencial de generación de electricidad con emisiones insignificantes de dióxido de carbono. El recurso de la energía eólica es, naturalmente, una función del sistema climático porque el "combustible" es la velocidad del viento incidente y por lo tanto se determina por la circulación atmosférica (Pryor, 2011).

Las energías alternativas comprenden todas aquellas energías de origen no fósil y que no han participado significativamente en el mercado mundial de la energía (Posso, 2002).

Las energías renovables suministran el 17% de la energía primaria mundial, incluyendo la tradicional biomasa, la gran energía hidráulica y nuevas energías renovables (moderna biomasa, pequeñas hidráulicas, eólica, solar, geotérmica y biocombustibles). La tradicional biomasa primaria utilizada en cocción y

calentamiento representa el 9% y su crecimiento es lento o aún en declive. La energía hidráulica, representa el 6% y con un lento crecimiento, mientras que las nuevas energías renovables representan el 2% con un crecimiento muy rápido sobretodo en países desarrollados y principalmente Europa (Santamarta, 2004).

Desarrollo energético sostenible

Será muy difícil aspirar al desarrollo energético sostenible si no se basa en estrategias energéticas sostenibles. Las tendencias energéticas actuales, como las basadas en energías renovables, crean propuestas que permitan llegar a las metas del desarrollo sostenible. Para lograr una nueva propuesta energética se tiene que contemplar:

- Uso eficiente de la energía, en especial por parte del consumidor final
- Aumento del uso de las fuentes de energía renovables
- Uso de nuevas tecnologías para reducir el consumo de combustibles fósiles.

El desarrollo sostenible es indispensable para que la humanidad pueda lograr un mundo duradero. La pobreza es uno de los problemas mayores y más urgente de resolver en el mundo. El vínculo pobreza-energía no ha sido suficientemente atendido a pesar de que la energía tiene una importancia vital para satisfacer las necesidades básicas de la humanidad, en particular, nutrición y salud. Un gran número de personas no disfruta de los beneficios de las fuentes de energía y aparatos modernos (Arrúa *et al.* 2002).

Sector energético

El sector energía comprende aproximadamente dos terceras partes de las emisiones globales totales de gases de efecto invernadero y por lo tanto ha sido un foco para los esfuerzos de mitigación del cambio climático (Sims, 2007). En consecuencia, las energías renovables, incluyendo la eólica, están siendo cada vez más aprovechada para ofrecer prácticamente las emisiones de gases de invernadero sin fuentes de

electricidad. El recurso eólico mundial actual supera con creces la demanda total de energía mundial (McElroy, 2009).

Energía Eólica

El caso de la energía eólica aparece, de hecho, como de un interés especial para ilustrar cuestiones relacionadas con la modernización ecológica. Frente a los límites de energías renovables, su elevado precio y los problemas ambientales que conllevan, la energía eólica se trata de una fuente barata, continua, descentralizada, limpia y no agresiva con el medio ambiente. Además, el número de empleos en el sector eólico crece de forma proporcional a su extensión mundial. Por si fuera poco, aun cuando las primeras previsiones hacían pensar en la energía eólica como un mero complemento, su historia reciente, el perfeccionamiento tecnológico de los últimos años y los estudios prospectivos actuales apuntan con gran optimismo a la posibilidad de conseguir buena parte de la energía del viento. La energía eólica parece constituir, de este modo, un extraordinario ejemplo de modernización ecológica en acción (González, 2008).

El calentamiento dispar de la superficie terrestre por acción de la radiación solar es el principal causante de los vientos. En las regiones ecuatoriales se produce una mayor absorción de radiación solar que en las polares; el aire caliente que se eleva en los trópicos es reemplazado por las masas de aire fresco superficiales proveniente de los polos. El ciclo se cierra con el desplazamiento, por la alta atmósfera, del aire caliente hacia los polos. Esta circulación general, que sería la observada si la tierra no girase, se ve profundamente alterada por el movimiento de rotación de la tierra generando zonas de vientos dominantes que responden a patrones definidos. A lo largo de un año las variaciones estacionales de la radiación solar incidente provocan variaciones en la intensidad y dirección de los vientos dominantes en cada uno de los puntos de la corteza terrestre (Moragues, 2003).

El viento es una fuente de energía importante y es considerado como una valiosa alternativa a las fuentes tradicionales de generación de energía eléctrica. Existe un

interés creciente en el desarrollo y la utilización de la energía eólica como un sustituto para la energía más convencional, debido a su alto potencial y el mínimo impacto sobre el medio ambiente (Billinton *et al.*, 2009).

De la energía del sol que llega al planeta, el 2% se convierte en viento. Esto se origina por el desplazamiento de grandes masas de aire de las zonas de alta presión a las de baja y por la rotación de la tierra (Cavallo *et al.*, 1993).

El viento, que es el aire en movimiento, es causado principalmente por el efecto térmico en capas bajas de la atmosfera. En la capa próxima a la superficie terrestre, hasta 15 Km, llamada troposfera, el aire es calentado indirectamente por la radiación solar. Esta energía es absorbida por la tierra e irradiada a la troposfera, que absorbe una parte. Las diferencias térmicas provocan, a su vez, diferencias de presión que originan la circulación de masas de aire facilitando el intercambio de calor entre el ecuador y los polos (Brizuela *et al.*, 2004).

La producción de energía aprovechando la energía cinética del viento es lo que denominamos como energía eólica. Con una maquina eólica aprovechamos la diferencia de velocidades del viento entre la entrada y salida mediante una aeroturbina. Es importante señalar que la velocidad del viento varia con la altura y depende fundamentalmente de la naturaleza del terreno sobre el cual se desplazan las masas de aire (Morales, 2009).

A pesar de que cada día son más los países que se incorporan a la carrera eólica, las diferencias entre las distintas regiones del planeta son evidentes. De los once países con más de 1,000 MW instalados siete están en Europa (Alemania, España, Dinamarca, Italia, Reino Unido, Holanda y Portugal), tres son asiáticos (India, China y Japón) y el otro es Estados Unidos (Puig, 2006).

Actualmente la energía eólica se aprovecha de dos formas diferenciadas: por una parte se utiliza para sacar agua de los pozos un tipo de eólica llamados aerobombas, donde hoy existe un modelo de máquina muy generalizado con los molinos multipalpas del tipo americano. Por otra parte, están ese tipo de eólicas que llevan unidas al sistema un generador eléctrico y producen corriente cuando sopla el viento,

las que reciben entonces el nombre de aerogeneradores o turbinas eólicas (Hernández, 1995).

La energía eólica se ha desarrollado muy rápidamente, y muchos aerogeneradores comerciales actualmente en el mercado tienen clasificaciones de capacidad de 1 MW o más (Milborrow, 2001).

La energía eólica se ha convertido en una fuente de generación de energía alrededor del mundo, implementándose en más de 70 países. Según el Consejo Mundial de Energía Eólica (GWEC; por sus siglas en idioma inglés) y Greenpeace International encontró que la energía eólica podría desempeñar un papel clave en la reducción de emisiones de CO₂. Se calcula que para el 2020 la energía eólica podría contribuir a reducir las emisiones de CO₂ en más de 10 millones de toneladas, 1.5 millones de toneladas por año. (GWEC, 2008)

Primeras aplicaciones de la Energía Eólica

Históricamente, las primeras aplicaciones de la energía eólica fue la navegación a vela, el bombeo de agua, la molienda de granos y, solo a finales del siglo XIX, la generación de electricidad. Los molinos de viento proveyeron de energía a las civilizaciones europeas en la Europa Medieval, con el advenimiento de la energía basada en fósiles en el siglo XVIII y la electricidad a finales del siglo XIX, la energía eólica cayo mas y mas en desuso y estaba virtualmente extinta en la segunda mitad del siglo XX en la mayoría de los países industrializados (Hills, 1994)

Hoy seguimos utilizando el viento en barcos recreativos y podemos ver en pie molinos de viento que se han utilizado para moler grano o bombear agua. Una tecnología más avanzada logró aplicar el movimiento rotativo de las palas para conseguir la propulsión de los aviones de hélice y de los helicópteros. Como todas las energías alternativas el impulso definitivo se dio cuando realmente se tuvo necesidad de ella. Esto ocurrió a partir de la crisis del petróleo de 1973 en la que el precio del crudo se disparó y los países productores llegaron a amenazar con interrumpir el suministro a quienes apoyaran a Israel en su lucha contra los palestinos. El accidente de la central nuclear de Chernóbil potenció todavía más el

desarrollo de las energías renovables. Se ha investigado y desarrollado diversos tipos de molinos, que en la actualidad se denominan aerogeneradores (Ruiz, 2004).

Los primeros molinos eran estructuras de madera que se hacían girar a mano alrededor de un poste central para levantar sus aspas. Con el paso del tiempo se fueron modernizando. En 1745 se agregó el abanico de aspas que los hacía girar a más velocidad y en 1772 se introdujo el aspa con resortes que permitía mantener una velocidad de giro constante, en caso de vientos variables, y que consistía en un sistema de cerraduras de madera que podía controlarse de forma manual o automática. Poco después se añadió el freno hidráulico para detener el movimiento, y se recurrió al uso de aspas aerodinámicas, en forma de hélices, para aumentar el rendimiento en zonas con vientos débiles (Cuesta *et al.*, 2008).

Los intentos de producir electricidad mediante energía eólica surgen por primera vez en 1802, cuando Lord Kelvin tuvo la idea de acoplar un generador eléctrico a una máquina eólica. No obstante, hubo que esperar hasta 1850 cuando se inventó la Dínamo. En 1888 Brush, en EE.UU., construyó la primera turbina eólica de funcionamiento automático para generar electricidad. Se trataba de un auténtico gigante con un rotor que tenía de diámetro 17 m y 144 palas fabricadas con madera de cedro. Pero fue en 1892, en Dinamarca, cuando La Cour diseñó el primer aerogenerador eléctrico, constituido por cuatro palas de 25 metros de diámetro y capaz de desarrollar entre 5 y 25 Kw de potencia. Los trabajos de La Cour constituyeron los primeros pasos para los aerogeneradores modernos, pero la aerodinámica no estaba aún suficientemente desarrollada y estas máquinas eólicas, a pesar de ser las más avanzadas de la época, seguían siendo rotores clásicos de bajo rendimiento (Cuesta *et al.* 2008).

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. Los primeros mecanismos impulsados por el viento fueron molinos de eje vertical, usados para bombeo de agua en China. Los de eje horizontal surgieron en el área de la antigua Persia; por ejemplo, el molino tipo

mediterráneo, con su característico rotor a vela, el cual se utilizó para moler granos y bombear agua en todos los territorios de influencia islámica.

Desarrollo económico

En los países de mayor desarrollo económico hay una creciente necesidad de comprometerse con un ambiente saludable que permita compensar los efectos nocivos de la contaminación del agua, el aire y la tierra provocada por un desarrollo acelerado de ciertos sectores de la economía (Romero, 2009).

Los cambios económicos que se presentan hoy en día en el ámbito global obligan a repensar las opciones energéticas que existen en el mundo moderno. El desarrollo tecnológico aunado a la conciencia ecológica de la sociedad actual han propiciado el surgimiento y fortalecimiento de alternativas de generación de energía más amigables con el medio ambiente, que propicien un desarrollo con mayor armonía en las sociedades modernas (Romero, 2009).

Cantidad de Energía Producida

La cantidad de energía que puede generar una turbina eólica depende mucho de las características del viento. El viento es una masa de aire en movimiento y como tal posee una energía. Los aerogeneradores permiten utilizar dicha energía para generar directamente electricidad (Cuesta *et al.*, 2008).

Demanda de energía

El incremento de la demanda de energía está íntimamente ligado al desarrollo socioeconómico en un entorno global, en el que se deben de congregar tanto la carestía de las fuentes de energía a precios asumibles, como la preocupación creciente por la no sostenibilidad de los procesos energéticos seleccionados (Guerra, 2008).

Esta situación ha forzado la toma de posición por parte de los distintos países, cuyo máximo compromiso se ha producido en la Unión Europea, fijándose dentro de un

conjunto de objetivos: alcanzar un porcentaje del 20% de Energías Renovables en el consumo total de energía a 2020, objetivo altamente exigente y de difícil cumplimiento, si se observa la evolución y el cumplimiento del objetivo anterior que no era otro que alcanzar el 12% al 2010 (Guerra, 2008).

Una de las cuestiones previas es porque la eólica y no el resto de fuentes renovables; en este punto, la respuesta viene dada por combinación de distintos factores que la convierten en la única capaz, hoy día, de alcanzar los objetivos previstos, basándose en:

- 1.-Disponer de una madurez tecnológica, industrial y comercial suficiente.
- 2.-Disponer de un potencial energético suficiente.
- 3.- tener un costo de generación actual sensiblemente inferior al resto de energía y competitivo con otras fuentes, sobre todo si en su comparativa se realiza a coste total incorporando externalidades que no se soportan directamente o no están incluidas en el costo de generación del kWh, ni en cuantía ni en el mismo horizonte temporal, sino por el sistema energético o por la sociedad en general. La Variable tiempo es fundamental en el proceso de asignación de costos, ya que, en definitiva, lo que estamos haciendo es suscribir una hipoteca para financiar un elemento de consumo a corto plazo, cuyas cuotas habrá que ir pagando en el futuro (Guerra, 2008).

Lo cierto es que la energía eólica es la fuente de energía que más se está desarrollando en el mundo, con fuertes incrementos anuales y una potencia instalada, en la actualidad, cercana a los 40,000 MW y de ellos cerca de las tres cuartas partes corresponden a Europa (Calvo *et al.*, 2004).

La energía eólica es una atractiva alternativa renovable de generación eléctrica, que ha tenido un desarrollo considerable en los países desarrollados. No obstante, este avance vertiginoso puede traer consecuencias desfavorables de las cuales no se habla comúnmente. México posee un amplio potencial para desarrollar la generación de energía Eoloeléctrica y en la actualidad su capacidad total instalada supera los 50,000 MW. La región del Istmo de Tehuantepec en el estado de Oaxaca es un sitio

excepcional, con velocidades medias del viento superiores a 6.5 m/s y un potencial estimado de más de 15,000 MW. A la planta existente de 1.5 MW se le añadirá una de 83 MW, actualmente en construcción, y se espera tener hacia 2014, una capacidad adicional de 588 MW (Ambriz, 2002).

El aprovechamiento actual que se hace de la energía eólica, o energía cinética contenida en el viento, se concreta de dos formas: por una parte se utiliza un tipo de eólica que se conoce como aerobomba y se emplea para la extracción de agua de los pozos mediante la utilización de unos molinos a través de la energía mecánica, sin más ayuda que la del viento.

Ventajas:

- Fuente de energía segura y renovable
- No produce emisiones a la atmósfera ni genera residuos, salvo los de la fabricación de los equipos y el aceite de los engranajes
- Permite aumentar la potencia instalada mediante la incorporación de nuevos módulos
- Tiene una vida útil superior a 20 años

Uso actual de la Energía Eólica

Los desarrollos actuales empezaron en los años 70, en especial los aerogeneradores; en su versión moderna, los mismos se diseñan aprovechando el principio termodinámico del empuje similar al de las alas de los aviones y con una potencia teórica máxima de conversión del 59% (Posso, 2002)

Los molinos de viento, aeromotores, máquinas eólicas (términos que pueden ser considerados sinónimos), o los aerogeneradores, o turbinas eólicas en su acepción, son dispositivos que convierten la energía cinética del viento en energía mecánica. Aunque existen dos tipos básicos de molinos, eje horizontal y eje vertical, el principio de operación es esencialmente el mismo. La captación de la energía eólica se realiza mediante la acción del viento sobre las palas, las cuales están unidas al eje a través

de un elemento denominado cubo (conjunto que recibe el nombre de rotor). El principio aerodinámico, por el cual este conjunto gira, es similar al que hace que los aviones vuelen (Moragues, 2003).

Aerogeneradores

Los aerogeneradores más pequeños o “micro”, <1 Kw, se emplean en una gran variedad de aplicaciones tales como la carga de baterías para embarcaciones, sistemas de comunicación, refugios de montaña, etc. Las turbinas de 1 a 10 Kw se suelen usar en granjas, para bombear agua, viviendas aisladas, comunidades de vecinos, etc. Las turbinas para aplicaciones residenciales pueden estar en el rango de 400 W hasta los 100 Kw dependiendo de la cantidad de electricidad que se desee generar. Por ejemplo, una turbina de 1.5Kw podría cubrir las necesidades en un hogar que consuma alrededor de 300 kWh al mes en un sitio con una velocidad de viento de 6.26 m/s (Cuesta *et al.*, 2008).

Tipos de aerogeneradores

Dependiendo de la posición del eje de giro de los aerogeneradores respecto a la dirección del viento, los aerogeneradores se pueden clasificar en dos grandes grupos:

a) Aerogeneradores de eje horizontal o HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine). En estos modelos el eje de rotación es paralelo a la dirección del viento, de forma similar a la de los clásicos molinos de viento. Este tipo de aerogeneradores, a su vez, se pueden clasificar, según su velocidad de giro, en:

- Aerogeneradores lentos: En general, están constituidos por un número alto de palas, multipalas, que cubren casi toda la superficie del rotor. Poseen un elevado par de arranque, gracias al cual pueden ponerse en marcha incluso con velocidades de viento muy bajas. Su baja velocidad de rotación hace que sean poco útiles para la producción de electricidad, siendo su uso más frecuente para el bombeo de agua.

- Aerogeneradores rápidos: Presentan un par de arranque pequeño y requieren velocidades de viento del orden de 4 a 5 m/s para su puesta en marcha. La mayoría poseen tres palas y se utilizan para la producción de electricidad, a través de su acoplamiento con un alternador. Su gama de potencias es muy amplia, va desde modelos de 1 Kw, usados en instalaciones autónomas, a modelos de gran potencia.

- Aerogeneradores de velocidad intermedia: Tienen entre 3 y 6 palas y sus prestaciones están comprendidas entre las correspondientes a los dos casos anteriores. Se utilizan cuando las condiciones de viento no son muy favorables y en general son de pequeña potencia. Su aplicación principal es en equipos autónomos para producción de electricidad.

b) Aerogeneradores de eje vertical o VAWT (Vertical Axis Wind Turbine). En éstos el eje de rotación es perpendicular a la dirección del viento y existen dos diseños básicos:

- Tipo Savonios: En 1924, el ingeniero Savonios diseñó un rotor cuya principal ventaja consiste en trabajar con velocidades de viento muy bajas. Se compone de dos semicilindros de igual diámetro situados paralelamente al eje vertical de giro en el diseño original estaban separados una pequeña distancia el uno del otro. La fuerza que el viento ejerce en las caras de los cilindros (cara cóncava y cara convexa) es distinta, por lo que las hace girar alrededor de eje. Este sistema presenta buenas características aerodinámicas para el autoarranque y la autorregulación. Su campo de aplicación está en la producción autónoma de electricidad o el bombeo de agua.

- Tipo Darrieus: Este tipo de aerogeneradores fue patentado por el académico francés G. J .M. Darrieus. Están formados por dos o tres palas de forma ovalada de perfil aerodinámico y tienen características parecidas a las de eje horizontal, presentando un par de arranque muy pequeño. Los laboratorios Sandia construyó en 1974 un primer prototipo de 5 m de diámetro Su potencia es pequeña y aunque su aplicación es similar a los aerogeneradores rápidos de eje horizontal, están poco implantados (Cuesta, *Et Al.*, 2008).

Componentes de un aerogenerador

Sintéticamente un aerogenerador está conformado por dos elementos principales: un rotor compuesto por un eje y la o las palas que es accionado por el viento, y un generador que se mueve por arrastre del rotor. Los rotores de los aerogeneradores de potencia mediana en adelante (más de 20 Kw) no desarrollan gran número de revoluciones, considerándose como normal el orden de 60 a 70 revoluciones por minuto. Teniendo en cuenta que los generadores normalmente trabajan a unas 1.500 r.p.m., para adecuar las distintas velocidades de trabajo de estos dos elementos se intercala una caja multiplicadora. En las máquinas pequeñas el generador suele ser un alternador conectado directamente al eje de rotación. Se puede diferenciar a los aerogeneradores en dos grandes grupos según sea la posición del eje de rotación: de eje vertical y de eje horizontal. Ambas tecnologías tienen aspectos favorables y desfavorables. Los aerogeneradores de eje vertical tienen la ventaja de no necesitar orientarse respecto a la dirección de donde sopla el viento, porque cualquiera sea ella, acciona en la misma forma sobre su rotor. Además, los equipos de generación y control se ubican al pie de la estructura simplificando de esta manera el acceso a los mismos y abaratando por consiguiente el mantenimiento. También ofrecen una robustez y resistencia destacable para ser utilizados en zonas de vientos arranchados y de direcciones cambiarias. Como principal elemento desfavorable se puede mencionar que la eficiencia de conversión energética es algo menor que la de los del otro tipo. En los aerogeneradores de eje horizontal, el plan de rotación debe conservarse perpendicular a la dirección del viento para poder captar la máxima energía. En consecuencia, para adecuarse a las variaciones de dirección, debe instalarse algún mecanismo que oriente la posición del rotor. En equipos pequeños y medianos (hasta unos 10 ó 15 Kw) el sistema de orientación es sencillo y mecánico, representado por un timón de cola que reacciona en forma automática (Secretaría de Energía, 2008).

Técnicamente las turbinas de bajo potencial eólico tienen una estructura similar a las grandes, solo que su diseño es más simple. Como en general, el aerogenerador más

empleado es el de eje horizontal, a continuación se hace una descripción de los componentes principales que constituyen ese tipo de aerogenerador

Rotor

La función del rotor es transformar la energía cinética del viento en energía mecánica. Cuanto mayor sea el área barrida por el rotor mayor será la producción de energía. Por ejemplo un aerogenerador de 10 Kw de potencia tiene un diámetro, aproximadamente e, de siete metros, mientras que una turbina eólica de 750 Kw posee un diámetro de 24 metros. Según la disposición del rotor se distinguen básicamente dos tipos de aerogeneradores

- Rotor a barlovento: el viento incide primero sobre el plano del rotor y posteriormente sobre la torre de sustentación, con lo cual se minimiza la influencia de su sombra sobre el rotor. En este tipo se requiere un sistema de orientación que mantenga siempre el plano de giro del rotor perpendicular a la dirección del viento.

- Rotor a sotavento: en este caso no se requiere ningún dispositivo de orientación. Su desventaja radica, además de los efectos de sombra que producen la góndola y la torre sobre las palas del rotor, con la consiguiente pérdida de potencia y aumento de tensiones de fatiga, en la disposición del sistema de cables conductores que deben transportar la energía eléctrica producida por el generador situado en el interior de la góndola, al ser ésta giratoria.

En la mayoría de los casos el rotor se encuentra situado a barlovento, con el objeto de reducir las cargas cíclicas sobre las aspas.

El rotor está formado por dos partes bien diferenciadas.

a) Las palas.- El número de palas en una turbina eólica es muy variable, una, dos, tres o multipalas. A la hora de diseñar un aerogenerador hay que considerar que el rotor girará a mayor velocidad cuanto menor sea el número de palas que posee y que para la generación de electricidad es aconsejable que el rotor gire al mayor número de revoluciones posibles. Por lo tanto, el número de palas debe de ser bajo,

1, 2 ó 3 palas. En general, los aerogeneradores constan de tres palas ya que es el menor número de palas que permite ahorrar más material y peso sin complicar el sistema. Algunos modelos utilizan rotores bipalas monopalas, que logran un ahorro todavía mayor pero tienen el inconveniente de que son menos eficientes y deben de introducir sistemas de control más complicados para mejorar su estabilidad. Además, en el caso de los aerogeneradores tripalas cabe destacar que producen menor ruido aerodinámico que los monopalas y bipalas, propiedad que es muy importante, sobre todo, cuando este tipo de turbinas son utilizadas para el abastecimiento eléctrico en puntos aislados, o lugares urbanos donde generalmente la máquina se debe emplazar en las cercanías de la población y se debe minimizar la perturbación introducida en el hábitat natural.

Los materiales tradicionales, madera, aluminio, etc., que se utilizaban, inicialmente, para la fabricación de las palas se han visto desplazados por la utilización de plásticos y resinas. La mayoría de las pequeñas turbinas eólicas usan materiales compuestos, tal como fibra de vidrio y actualmente existe una tendencia clara al uso de epoxy (generalmente resina de poliéster) reforzado de fibra de vidrio o de carbono, solo algún fabricante usa madera. El aluminio, actualmente, no se utiliza ya que es un metal propenso a la fatiga.

b) El buje.- Es el elemento al que se encuentran unidas las palas y a través del cual la potencia eólica captada por el rotor se transmite a la caja multiplicadora o variador de velocidad.

Góndola

La góndola es el compartimiento en cuyo interior se encuentra el generador eléctrico, la caja multiplicadora y los sistemas de control, regulación, orientación y frenado. Generalmente está formado por una estructura metálica, construida con placa y perfiles de acero, que se sitúa en el extremo superior de la torre.

Generador

La función del generador es transformar la energía mecánica procedente del rotor en energía eléctrica.

Existen diferentes tipos de generadores:

a) Generador de Corriente Continua (Dínamos)

b) Generador de Corriente Alterna

- Síncronos o Alternadores
- De polos formados por electroimanes alimentados por corriente continua
- De polos formados por imanes fijos o permanentes
- Asíncronos o de Inducción
- De jaula de ardilla
- De rotor devanado

Las dínamos, generadores de corriente continua, son máquinas eléctricas sencillas que tienen la ventaja de no necesitar sistemas especiales para cargar baterías y generan corriente aún para bajas velocidades de giro. Sin embargo, su uso cada vez es menor, se han ido reemplazando por los generadores de corriente alterna ya que presentan el inconveniente de que necesitan un mantenimiento periódico y son más pesadas y caras que los generadores de corriente alterna de igual potencia, aunque hay que tener en cuenta que son idóneos para los aerogeneradores de muy pequeño tamaño (decenas de vatios).

Los generadores síncronos o alternadores que existen son de velocidad variable, es decir suministran corrientes de frecuencia variables. Por lo tanto, para conectarlos directamente a la red de corriente alterna es preciso utilizar un convertidor de frecuencia como elemento intermedio entre el generador y la red. Esta desventaja se

compensa con una mayor eficiencia de la turbina y una mejor compatibilidad con la red.

Principalmente, este tipo de generadores se usan en máquinas que alimentan instalaciones autónomas, como en aplicaciones para iluminación, calefacción, etc., y la mayoría utilizan alternadores de imán permanente ya que se trata de la configuración más sencilla y robusta.

El generador asíncrono o de inducción se caracteriza porque usa corriente de la red eléctrica para crear su campo magnético. En principio, este tipo de generador no es capaz de operar sin la red. Sin embargo, sistemas electrónicos pueden engañar a los generadores de inducción por medio de condensadores para cargar el campo, permitiendo así a estos generadores ser utilizados en sistemas de potencias aislados. Por ejemplo, las turbinas eólicas Vergnet trabajan con generadores de inducción en sistemas híbridos eólico-diesel y para cargar baterías.

En general, el generador más utilizado en las pequeñas turbinas eólicas es el alternador de imanes permanentes que parece ser el modelo ideal para las micro y mini turbinas eólicas. En los aerogeneradores de tamaño doméstico hay más diversidad. Por ejemplo, la Bergey Windpower se decidió por los alternadores de imanes permanentes, pero la Wind Turbine Industries usa un alternador convencional de arrollamientos, mientras que la Vergnet emplea un generador de inducción, comercial.

Multiplicador

El acoplamiento entre el rotor eólico y el generador, en la mayoría de los casos, se realiza a través de una caja multiplicadora y su función es multiplicar la velocidad de giro que llega del rotor para adaptarla a las necesidades del generador. Su empleo es necesario a medida que crece el diámetro del rotor, pues se deben limitar las rpm del rotor para evitar que las puntas de las palas trabajen a velocidades que comprometen la resistencia de los materiales empleados o induzcan vibraciones perjudiciales. Pero en el caso de las turbinas con una potencia inferior a 10 Kw,

generalmente, no se usa el multiplicador ya que el rotor está conectado directamente al generador.

Sistema de control

Toda turbina eólica necesita un sistema de control que permita por un lado detener la máquina y limitar su velocidad por razones de seguridad y por el otro optimizar el funcionamiento. Además, en el caso de generación eléctrica a frecuencia constante es necesario mantener la velocidad de giro del rotor dentro de ciertos límites para obtener un alto rendimiento. El sistema de control es diferente en función del tamaño del aerogenerador.

a) Sistemas con ángulo de paso fijo y variación del área de captación “Furling”. Su principio fundamentales reducir el área de captación o área del rotor en posición perpendicular a la corriente de aire incidente cuando la velocidad de éste supera cierto valor crítico. El sistema de detección de la energía en exceso y el de actuación lo forman el mismo rotor y su vinculación a la torre a través de la góndola. El rotor oscila lateralmente fuera del viento (alrededor de un eje vertical) para disminuir la potencia. En la práctica, esta técnica sólo se usa en aerogeneradores muy pequeños (< 5 Kw), pues somete al rotor a fuerzas que varían cíclicamente y que a la larga pueden dañar toda la estructura, y en lugares que se encuentren alejados de la población debido a la gran emisión de ruido acústico que producen.

b) Sistema de ángulo de paso fijo por pérdida aerodinámica “stall regulation”. Este es un sistema de control pasivo que reacciona con la velocidad del viento. En este tipo de sistema de control, las palas están unidas al buje en un ángulo fijo. El perfil de la pala ha sido aerodinámicamente diseñado para asegurar que a medida que aumente la velocidad real del viento en la zona, el ángulo de ataque de la pala del rotor también aumente hasta llegar al punto donde empieza a perder sustentación. La pala está ligeramente torsionada a lo largo de su eje longitudinal. Esto es así en parte para asegurar que la pala pierde la sustentación de forma gradual, en lugar de hacerlo bruscamente, cuando la velocidad del viento alcanza su valor crítico. La principal ventaja de este sistema es que se evitan las partes móviles del rotor y un

complejo sistema de control. Sin embargo, la regulación por pérdida aerodinámica representa un problema de diseño muy complejo y comporta retos en el diseño de la dinámica estructural de toda la turbina, para evitar las vibraciones provocadas por la pérdida de sustentación. Alrededor de las dos terceras partes de los aerogeneradores que actualmente se están instalando en todo el mundo son máquinas de regulación por pérdida aerodinámica.

c) Sistema con ángulo de paso variable o “pitch regulation”. Este método de control consiste en que las palas varían su ángulo de incidencia con respecto al viento. En este tipo de sistema, un ordenador comprueba varias veces por segundo la potencia generada. Cuando ésta alcanza un valor demasiado alto, el controlador envía una orden al mecanismo de cambio del ángulo de paso, que inmediatamente hace girar las palas del rotor ligeramente fuera del viento. Y a la inversa, las palas son vueltas hacia el viento cuando éste disminuye de nuevo. El diseño de aerogeneradores controlados por este tipo de sistema requiere una ingeniería muy desarrollada, para asegurar que las palas giren exactamente el ángulo deseado. En este tipo de aerogeneradores, el ordenador generalmente girará las palas unos pocos grados cada vez que el viento cambie, para mantener un ángulo óptimo que proporcione el máximo rendimiento a todas las velocidades de viento. El mecanismo de cambio del ángulo de paso suele funcionar de forma hidráulica. Este tipo de sistema es más frecuente en eólicas de gran potencia, con diámetros superiores a 20 m, así como en aerogeneradores que trabajan en paralelo con grupos electrógenos (sistemas mixtos eólico-diesel). En estos sistemas activos de paso variable, se encuentran a su vez dos posibles configuraciones:

- Sistemas en los que gira toda la pala alrededor de su eje longitudinal, cambiando el ángulo de paso de la misma para situarse siempre en condiciones de máximo rendimiento o para sacar a la pala de la acción del viento y parar el rotor.
- Sistemas en los que el giro se realiza sólo en el tramo final de la pala correspondiente al extremo o punta de la misma, de forma similar al funcionamiento del alerón en un avión.

d) Sistema de regulación activa por pérdida aerodinámica. Un número creciente de grandes aerogeneradores (a partir de 1 MW) están siendo desarrollados con un mecanismo de regulación activa por pérdida aerodinámica. Técnicamente, las máquinas de regulación activa por pérdida aerodinámica se parecen a las de regulación por cambio del ángulo de paso, en el sentido de que ambos tienen palas que pueden girar. Para tener un momento de torsión (fuerza de giro) razonablemente alto a bajas velocidades del viento, este tipo de máquinas serán normalmente programadas para girar sus palas como las de regulación por cambio del ángulo de paso a bajas velocidades del viento (a menudo sólo utilizan unos pocos pasos fijos, dependiendo de la velocidad del viento). Sin embargo, cuando la máquina alcanza su potencia nominal, este tipo de máquinas presentan una gran diferencia respecto a las máquinas reguladas por cambio del ángulo de paso: si el generador va a sobrecargarse, la máquina girará las palas en la dirección contraria a la que lo haría una máquina de regulación por cambio del ángulo de paso. En otras palabras, aumentará el ángulo de paso de las palas para llevarlas hasta una posición de mayor pérdida de sustentación, y poder así consumir el exceso de energía del viento.

Una de las ventajas de la regulación activa por pérdida aerodinámica es que la producción de potencia puede ser controlada de forma más exacta que con la regulación pasiva, con el fin de evitar que al principio de una ráfaga de viento la potencia nominal sea sobrepasada. Otra de las ventajas es que la máquina puede funcionar casi exactamente a la potencia nominal a todas las velocidades de viento. Un aerogenerador normal de regulación pasiva por pérdida aerodinámica tendrá generalmente una caída en la producción de potencia eléctrica a altas velocidades de viento, dado que las palas alcanzan una mayor pérdida de sustentación. El mecanismo de cambio del ángulo de paso suele operarse mediante sistemas hidráulicos o motores eléctricos paso a paso.

Sistema de orientación

A fin de optimizar el aprovechamiento energético del viento, el plano de rotación del rotor debe mantenerse perpendicular a la dirección del viento. En el caso de que el

rotor esté situado a sotavento, como ya se comentó anteriormente, no es necesario un sistema de orientación ya que mediante una conicidad adecuada de las palas el sistema es auto orientable. En cambio en los rotores situados a barlovento, delante de la torre, si se debe incorporar algún sistema de orientación. Entre estos sistemas cabe distinguir los siguientes:

a) Eólicas auxiliares: en particular molinos de cola, usados sólo en algunas eólicas pequeñas. Es un sistema poco fiable.

b) Veletas de cola: se usan en pequeñas turbinas, formando parte del conjunto timón-veleta. La orientación del rotor se realiza de forma mecánica, al incidir el viento sobre el timón-veleta y ejerciendo sobre éste un par de fuerzas que hace que el rotor se coloque perpendicularmente a la dirección del viento.

c) Rotor a barlovento con orientación asistida: es el sistema más utilizado en grandes aerogeneradores. Incorpora un sensor con un ordenador y, en función de la dirección y la velocidad del viento, envía las correspondientes órdenes de control a un servomotor para la orientación del plano de giro del rotor. El servomotor (eléctrico o hidráulico, acciona, a través de un sistema de piñones, una corona dentada que a su vez hace girar el plano del rotor para colocarlo perpendicularmente a la dirección del viento.

Debido a sus dimensiones, las pequeñas turbinas eólicas no pueden acomodar los mecanismos de transmisión y los motores de orientación que se emplean en las turbinas más grandes. Casi todas las pequeñas turbinas utilizan veletas de cola, aunque una de las pocas excepciones es la turbina de espalda al viento de la Proven Engineering.

Torre

Las máquinas eólicas deben estar situadas sobre una estructura de soporte capaz de aguantar el empuje del viento. Existen varios tipos de torres como los que se describen a continuación:

a) Torres tubulares de acero.- En el caso de los grandes aerogeneradores generalmente se utilizan torres tubulares de acero (Figura 7a), fabricadas en secciones de 20-30 metros con bridas en cada uno de los extremos, y son unidas con pernos "in situ". Las torres son tronco-cónicas, es decir con un diámetro creciente hacia la base, con el fin de aumentar su resistencia y al mismo tiempo ahorrar material.

b) Torres de celosía.- Son fabricadas utilizando perfiles de acero soldados (Figura 7b). La ventaja básica de las torres de celosía es su costo, puesto que para su fabricación se requiere sólo la mitad de material que en una torre tubular. La principal desventaja de este tipo de torres es su apariencia visual. En cualquier caso, por razones estéticas, las torres de celosía han desaparecido prácticamente en los grandes aerogeneradores modernos. Son muy comunes en la India, aunque se encuentran en otros países como Alemania y EE.UU.

c) Torres de mástil tensado.- Muchos de los aerogeneradores pequeños están contruidos con delgadas torres de mástil sostenidas por cables tensores (Figura 7c). La ventaja es el ahorro de peso y, por lo tanto, de costo. Las desventajas son el difícil acceso a las zonas alrededor de la torre, lo que las hace menos apropiadas para zonas agrícolas. Las torres tubulares son las que ofrecen una vista más agradable, pero son las más costosas y, a menos que estén articuladas para arriarlas, son también las que ofrecen más dificultades a la hora de efectuar el mantenimiento de la turbina. Las torres con tensores son las menos costosas.

d) Torres híbridas.- Algunas torres están hechas con diferentes combinaciones de las ya mencionadas. Un ejemplo es la torre de tres patas Bonus 95 Kw, de la que podría decirse que es un híbrido entre una torre de celosía y una torre tensada con vientos (Cuesta *et al.*, 2008).

Tamaño del aerogenerador

El tamaño del aerogenerador que usted necesita depende de la intención de uso que tenga para él. Las turbinas eólicas para usos residencial e industrial abarcan el

tamaño de entre 20W a 50kW. Las turbinas más pequeñas se usan en diversas aplicaciones, tales como la recarga de baterías de vehículos de recreo y barcos de vela. Para aplicaciones más grandes, para determinar el tamaño de la turbina que necesita, es conveniente definir el monto global de energía que se desea obtener. Antes de que empiece a considerar una turbina eólica, debe también asegurarse de que está obteniendo una eficiencia energética óptima en su casa, finca o negocio. Esto, a su vez, reducirá el costo de su aerogenerador. Otro punto a considerar antes de invertir en un sistema de energía eólica es la presencia de algún posible obstáculo. Algunos municipios limitan la altura de las estructuras permitidas en áreas residenciales. Para obtener más información acerca de las ordenanzas de planificación urbana en su zona, contacte con las autoridades locales. Ellos pueden decirle si necesitará obtener un permiso de edificación y pueden también proporcionarle una lista de requisitos. Además de estas cuestiones relativas a la planificación urbana, necesitará igualmente el acuerdo de sus vecinos, ya que éstos pudieran oponerse a la instalación de una eólica por motivos de ruido potencial y/o degradación de las vistas (Hulshorst, 2011)

Los generadores eléctricos pueden ser de corriente continua (dínamos) o de corriente alterna, existiendo en este último caso dos tipos: generadores sincrónicos o alternadores y generadores asincrónicos o de inducción. Las dínamos tienen el inconveniente de utilizar escobillas, que exigen mantenimiento periódico, y son más pesadas y caras que los generadores de corriente alterna (C.A.) de igual potencia; aunque tienen la ventaja de no necesitar de sistemas especiales para cargar baterías, su uso se ha ido abandonando reemplazándolos por los generadores de C.A., con la excepción de algunos equipos para proveer muy bajas potencias, de construcción artesanal. El tipo de generador de C.A. que se utilice depende fundamentalmente de las características del servicio a prestar. Como regla general puede decirse que los alternadores son mayoritariamente usados en máquinas que alimentan instalaciones autónomas y los generadores de inducción en turbinas eólicas interconectados con otros sistemas de generación. Esto es así pues los generadores de inducción tienen la enorme ventaja de que, una vez en marcha y conectados a las líneas de distribución, giran a una velocidad constante impuesta por

la frecuencia de la red, entregando más o menos energía según la intensidad del viento, pero siempre rotando al mismo número de revoluciones. En otras palabras, los aerogeneradores no requieren de costosos sistemas de regulación de velocidad, ventaja a la que se adiciona la apreciable diferencia de costos entre un generador asincrónico y un alternador de la misma potencia (Moragues, 2003).

Potencia del aerogenerador

Los aerogeneradores de baja potencia presentan características que hacen que sean una opción muy interesante en la producción de la energía eléctrica y entre ellas cabe destacar las siguientes: se evitan pérdidas en transporte, ya que la energía se producirá en el mismo lugar que se demanda. No requieren grandes espacios para su instalación, en las zonas urbanas se pueden instalar en los tejados de los edificios y además esta tecnología permite al consumidor ser productor de energía, vendiendo la energía excedente a los demás consumidores (Cuesta *et al.*, 2008).

Costo del aerogenerador

En cuanto a costos, la electricidad eólica ya es hoy competitiva. Los avances tecnológicos en diseño y transmisión han causado disminuciones significativas en el costo de inversión y producción, tal que los precios han bajado en un 85% en los últimos 20 años (Posso, 2002).

En cuanto a la economía, mientras que el mercado global va creciendo, la energía eólica va experimentando una importante baja de sus costes. En relación a 20 años atrás, un aerogenerador moderno produce anualmente 180 veces más electricidad que sus predecesores y a menos de la mitad del costo por unidad. En las buenas localizaciones, el viento puede competir en costes con la energía del carbón y del gas. La competitividad de la energía eólica, se ha visto todavía más realzada por las recientes subidas de los precios de los combustibles fósiles. Si los costes externos del combustible fósil y de la generación nuclear fueran considerados en su totalidad y por lo tanto, fueran efectivamente evaluados por sus efectos sobre la salud y la

contaminación, la energía del viento resultaría incluso más barata (Greenpeace & Global Wind Energy Council, 2006).

Las proyecciones de expansión de la red de transmisión, así como la generación de energía eléctrica en México, es uno de los temas más importantes de la agenda energética en el país. México enfrenta hoy un problema a futuro: los combustibles fósiles. La explotación de éstos no ha podido ser a un ritmo adecuado para el crecimiento económico y a la par de la preservación del medio ambiente. La construcción y planeación mayoritaria de plantas de ciclo combinado para afrontar la demanda energética próxima complica seriamente la diversidad energética. Con respecto al gas natural, no alcanza a satisfacer la demanda interna, la mayoría de su uso proviene de la importación, principalmente por ducto desde los Estados Unidos y, recientemente, desde países más lejanos gracias al empleo del gas natural licuado. Los precios volátiles en el mercado han provocado continuamente un déficit presupuestal que conlleva a una inestabilidad económica. Las opciones renovables en México, constituyen una alternativa sustancial en la búsqueda de tecnologías para la demanda futura. En la agenda del sector público y de Comisión Federal de Electricidad existen varios proyectos de este tipo que ayudarían a crear energías sostenibles. Cabe destacar que la reestructuración del sector energético ha desembocado en la participación cada vez mayor de la inversión privada nacional y extranjera bajo diferentes esquemas, promoviendo así la construcción y ampliación del servicio eléctrico nacional (Arrúa, 2002).

Energía Eólica en México

En México se cuenta con una diversidad de sitios para generar energía eólica, los lugares con mayor potencial eólico los posee Oaxaca, existiendo también otras regiones identificadas como: Zacatecas, Tabasco, la cadena montañosa de la Rumorosa y el litoral de la península de Baja California, así como también extensiones de litorales del Pacífico y Golfo de México. (Cadenas y Saldívar, 2007).

En el informe 2009 de Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México (SENER), el estado actual de la energía eólica en México es de 170 MW de capacidad eólica en operación, dividiéndose en:

- 85 MW en los proyectos La Venta I y La Venta II, operados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en el Istmo de Tehuantepec, con 105 unidades, con un factor de planta de 33.4%.
- 80 MW en el proyecto de autoabastecimiento Parques Eólicos de México, que entró gradualmente en operación desde enero del 2009.
- 0.6 MW en una turbina de la CFE en Guerrero Negro, Baja California Sur.
- 2 MW en pequeños aerogeneradores en sitios aislados de la red.
- 3 MW en pequeñas aerobombas (turbinas eólicas que impulsan bombas hidráulicas) (Zamora 2010).

Desarrollo de Parques eólicos en México

Parque Eólico La Rumorosa I

Está ubicada en el poblado la Rumorosa, con una extensión de más de 42 hectáreas, propiedad del Gobierno del Estado.

La inversión del Parque Eólico es de 26.1 M USD, contando con una capacidad instalada de 10 MW, con una generación estimada promedio anual de 27,156 MWh, que se utilizarán para el alumbrado público, beneficiando a 35 mil familias, aproximadamente. En la Figura 4, se muestra una imagen de los cinco aerogeneradores del Parque Eólico la Rumorosa I. Con este tipo de generación de energía se abatirán en Baja California, anualmente, 17 mil Toneladas de emisiones CO₂ a la atmósfera. El Parque Eólico La Rumorosa I es el primero en el Norte de México, con aerogeneradores de mayor altura y capacidad nominal en nuestro país. Representa además un aumento en la generación de energías renovables y una disminución de emisiones de CO₂ a la atmósfera. El potencial de la energía eólica en

México es superior a 10,000 MW según un boletín de prensa realizado por la SENER, por lo que falta mucho potencial eólico por explotar. Una vez identificados los lugares se debe realizar un estudio más detallado para la realización de proyectos a menor escala para aquellas comunidades del país que no cuentan todavía con el servicio de energía eléctrica. (Zamora, 2010).

Potencial de la energía eólica en México

En la actualidad, en México existen solamente mediciones puntuales del potencial eólico del país, susceptible de ser aprovechado para la generación eléctrica. Estas mediciones provienen de pequeñas redes anemométricas que han confirmado la existencia de manifestaciones eólicas aprovechables, tanto desde el punto de vista técnico como económico, en las siguientes regiones:

Oaxaca

Esta región cubre un área aproximada de 2000 kilómetros cuadrados en la que, debido a fenómenos monzónicos entre los golfos de México y de Tehuantepec originados por corrientes marinas calientes que dan lugar a gradientes térmicos y de presión, causando la presencia de fuertes vientos prácticamente constantes y de octubre a abril. En esta región el potencial eólico es de 3000 MW y los factores de carga anuales esperados son del 60%. Esta aseveración ya fue confirmada con los primeros meses de operación de la central Eolo eléctrica de La Venta en los que obtuvo un factor de planta real de 57.98%.

Península de Baja California

En la franja comprendida entre la Sierra de Juárez y la de San Pedro Mártir, en Ensenada, la Rumorosa, Rosarito y en general en toda la península las manifestaciones eólicas pueden totalizar aproximadamente 500MW, que serian de gran utilidad para el desarrollo industrial de la región.

Península de Yucatán

La exposición de la península a los vientos alisios de primavera y de verano, la presencia de nortes en la época invernal, las permanentes e intensas corrientes marinas entre Playa del Carmen y la isla Cozumel representan un importante potencial eólico de hasta 100 MW.

Región Centro Norte

Esta región cubre desde los estados de Durango y Zacatecas hasta Hidalgo y Tlaxcala. En toda esta región es posible lograr un potencial del orden de los 400 MW.

En conclusión, a pesar de la falta de información confiable sobre el recurso eólico de México es factible, en los próximos 20 años, lograr una capacidad instalada de 5000 MW, mismos que con un factor de planta promedio anual de 40% pueden generar 17520 GWH anuales, los cuales servirían para dejar de quemar 43.8 millones de barriles de petróleo y no se emitieran 876 toneladas de bióxido de carbono a la atmosfera (Morales, 2009).

Energía eólica en el mundo

En el año 2010, 83 países, uno más que en 2009, utilizaron la energía eólica para la generación eléctrica. 52 países incrementaron su capacidad instalada, luego de que 49 lo hicieron el año anterior. La capacidad instalada a nivel mundial alcanzó los 196'630 Megavatios, de los cuales 37'642 Megavatios fueron añadidos en 2010, cifra un poco menor que la de 2009.

- La energía eólica tuvo un crecimiento de 23,6 % en el 2010, la tasa más baja desde el año 2004 y la segunda más baja de la década anterior.
- Todas las turbinas instaladas en el mundo durante el año 2010 pueden generar 430 Teravatios-hora por año, más que la demanda eléctrica del Reino Unido, la sexta economía más grande del mundo, igualando el 2,5 % del consumo eléctrico a nivel mundial.

- El sector eólico tuvo una facturación en 2010 de 40 billones de Euros y empleó a 670'000 personas a nivel mundial.
- China se convirtió en el país con mayor capacidad instalada a nivel mundial y el centro de la industria eólica a nivel internacional. Añadió 18'928 Megavatios durante el año, contabilizando más del 50 % de la capacidad instalada a nivel mundial durante el 2010.
- Norte América registró la disminución más importante de la tasa de crecimiento a nivel mundial. EEUU perdió el primer lugar en la lista de países con mayor capacidad instalada.
- Muchos países de Europa occidental muestran estancamiento, mientras que hay un fuerte crecimiento en varios países de Europa del Este.
- Alemania mantiene la primera posición en Europa, con 27'215 Megavatios, seguido por España con 20'676 Megavatios.
- Las mayores tasas de contribución de la energía eólica en la generación eléctrica se encuentran en tres países europeos: Dinamarca (21 %), Portugal (18 %) y España (16 %).
- Asia contabilizó el 54,6 % de la capacidad instalada durante el 2010, seguido por Europa (27,0 %) y Norte América (16,7 %).
- Latino América (1,2 %) y África (0,4 %) continúan jugando un papel poco relevante dentro de las nuevas instalaciones.
- África: El norte de África posee la mayor parte de la capacidad instalada. La energía eólica aun no juega un papel importante en la África Subsahariana.
- El desastre nuclear en Japón y el derrame de petróleo en el Golfo de México van a tener un impacto a largo plazo en el futuro de la energía eólica. Los Gobiernos necesitan reforzar urgentemente las políticas sobre energía eólica.

- La WWEA cree posible llegar a una capacidad instalada a nivel mundial de 600'000 Megavatios para el año 2015 y más de 1'500'000 Megavatios para el 2020 (WWEA, 2011).

En Canadá se están vendiendo una media de 800 aerogeneradores de baja potencia al año. En los últimos años se ha experimentado un importante crecimiento en el mercado, especialmente en los aerogeneradores de 1 Kw de potencia. Las aplicaciones con mayor futuro parecen ser para carga de baterías, en viviendas residenciales con conexión a red, en granjas, lugares comerciales y en comunidades aisladas en el norte del país. En el intervalo comprendido entre 300 W y 3 Kw, los aerogeneradores, principalmente, proceden de empresas estadounidenses (Bergey, Aeromax, SouthwestWindpower, WindTurbina Industries Corp.) aunque también algunos son de origen europeo como ProvenEnergyProductsLtd., Windmission y Bornay, e incluso del algún fabricante canadiense como Electrovent. En el rango de 10kW a 100 Kw, la mayoría son de fabricación interna (Aerojoule, AtlanticOrientCanada Inc., WenvorTechnologies) o procedentes de Europa (Vergnet, Fuhrländer). Los sistemas de 10 a 100 Kw principalmente están conectados a red.

EE.UU. ha lanzado ambiciosos programas de fomento de la instalación de pequeños aerogeneradores. La Asociación Americana de Energía Eólica (AWEA) ha realizado estudios de mercado dentro de este sector indicando que el crecimiento reciente anual fue del 35 % y con objetivos de crecimiento en torno al 20% anual hasta 2010. Todo ello teniendo en cuenta que la industria estadounidense de pequeños aerogeneradores es líder a nivel mundial, copiando un tercio del mercado mundial. Dos empresas de EE.UU. son las líderes, SouthwestWindpower de Flagstaff (Arizona) y Bergey Windpower de Norman (Oklahoma). Sólo SouthwestWindpower vendió en 2006 aerogeneradores de pequeña potencia por valor de 10 millones de dólares, controlando prácticamente el mercado mundial. El 40 % las unidades se vendieron en EE.UU. Hasta esa fecha, Bergey Windpower ha producido más de 4 800 unidades entre 1 Kw y 10 Kw Además, en EE.UU. se realizan importantes inversiones dentro del campo de la investigación. Por ejemplo, NPS estaba desarrollando una nueva versión de aerogeneradores con una potencia de 100 Kw,

la empresa SouthwestWindpower estaba llevando a cabo un nuevo prototipo de aerogeneradores de 1.8 Kw(SkyStream), AbundantRenewableEnergy está realizando un aerogenerador de 6 Kw, CompositeEngineering investiga una nueva pala de bajo coste de fabricación de 7.5 m de longitud, PricentonPowerSystems estudia un nuevo convertidor para aerogeneradores de potencia inferior a 100 Kw, SNL Distributed Energy Technology Laboratory ensaya dos nuevos prototipos de aerogeneradores de 50 Kw, etc.

Actualmente, en España los aerogeneradores con potencias inferiores a 100 Kw sólo se utilizan para generar electricidad en entornos aislados, alejados de la red y generan en total, aunque es difícil de predecir, una potencia de 7 MW. La falta de un marco regulatorio propio y la falta de incentivos fiscales impide que se active este mercado y se impulse la fabricación en masa de este tipo de máquinas. Ecologistas en Acción ha pedido una tarifa específica que fomente la conexión a red de estos equipos ya que actualmente este tipo de energía recibe el mismo incentivo que la gran eólica –unos 6. 6 céntimos de euro el kWh– y ese dinero difícilmente compensan el largo y complicado trámite burocrático de conectar un aerogenerador de baja potencia a la red. En el campo de la investigación, cabe destacar la puesta en marcha del Proyecto “Singular Estratégico Mini eólica”, dotado con 13 millones de euros, liderado por el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) y el centro Tecnológico especializado en Energía RobotikerEnergía; si bien participan un total de siete empresas privadas y seis centros de Investigación de distinta naturaleza. El objetivo de este proyecto es incrementar la viabilidad de las aplicaciones eólicas de pequeña potencia a través de la investigación y desarrollo de los aerogeneradores de pequeña potencia, para su optimización en términos de fiabilidad, reducción de emisiones de ruido y aumento de la energía capturada e innovación, tanto en los distintos componentes que lo constituyen como en los nuevos desarrollos. Asimismo, se pretende acometer la certificación de todos los aerogeneradores comerciales de pequeña potencia fabricados en España, para avalar la calidad, fiabilidad y sobre todo la seguridad de sus diseños tanto en aplicaciones aisladas como conectadas a la red eléctrica. Por último se pretende desarrollar varios proyectos innovadores que sirvan de

demostración de este tipo de instalaciones, mostrando su gran utilidad para generación de energía en lugares con viento moderado, como integraciones en los tejados de las viviendas o en polígonos industriales, desalación o tratamientos de agua, aire acondicionado o sistemas de detección de incendios, entre otros. Dentro de la Unión Europea, este proyecto es el más ambicioso en investigación y desarrollo en tecnología eólica de pequeña potencia y uno de los mayores del mundo, tras algunos proyectos desarrollados en EE.UU. y Japón. En la actualidad en España hay tres fábricas de aerogeneradores de baja potencia, Bornay, Solener y Windeco

Aunque en Finlandia el desarrollo de turbinas eólicas de baja potencia no es muy favorable, la empresa Wlindside Oy es uno de los principales actores europeos en el mercado de la producción de turbinas de baja potencia y de eje vertical. Además, cabe destacar que Pem-Energy Oy ha lanzado a finales de 2007 una pequeña turbina eólica, "My Power", de 2 Kw de potencia, lo que es suficiente para cubrir las

Necesidades de una pequeña casa. Las palas tienen un diámetro de 3.5 m y puede ser fácilmente instalada en los tejados. Además, si el espacio lo permite se pueden conectar varias unidades en serie.

En Italia, durante el año 2006, los fabricantes de turbinas de baja potencia sufrieron un importante impulso, que se mantuvo durante el 2007, gracias a la nueva regulación que se aprobó para la electricidad y el gas. En esta regulación se indica que el intercambio de energía entre la red y las plantas de energías renovables subirá a una capacidad de 20 Kw Gracias a esta medida y a la reducción a 50 MWh el umbral de la energía para obtener los certificados verdes, la industria de fabricación de aerogeneradores de baja potencia espera importantes crecimientos. Entre los últimos desarrollos cabe destacar la turbina eólica, modelo JIMP20, diseñada por Jonicalmpianti, en 2006, para la producción en serie. Una nueva compañía BluMiniPower ha entrado en el mercado con el modelo de aerogenerador de baja potencia, 20 Kw, Maestrale Forza 20, la turbina tiene un rotor de 8 m de diámetro con una velocidad de 12 m/s. Otras compañías, también recientes dentro de este sector, son el Grupo Tozzi y Cepa. En el caso del Grupo Tozzi cabe destacar, junto la Universidad deTrento y la Universidad Politécnica de Milán, el

proyecto enfocado al diseño y construcción de dos tipos de turbinas: una de eje vertical con una potencia inferior a 3 Kw, para ser usada en áreas urbanas y otra de eje horizontal de hasta 80 Kw para aplicaciones industriales, rurales, etc. Cabe destacar, que en Italia la actividad dentro del desarrollo de las turbinas urbanas parece estar por encima del término medio. Hay varias empresas como Jonicalimpianti o Ropatec que trabajan dentro de este campo.

En Japón, últimamente la empresa Zephyr Corp. desarrolló el modelo Z-1000 Airdolphin, de 1 Kw Este tipo de turbina eólica está siendo demostrada en muchos lugares alrededor del mundo, tales como: Tarifa (España), Soria (España), Rímini (Italia) en el Reino Unido y en distintas ciudades de Japón. Esta empresa así como también Toshiba Engineering, Matsushita Ecology system, TORISHIMA Pump o Fuji HeavyIndustries Ltd, son activos actores en el mercado dinámico de turbinas urbanas en Japón.

En Portugal se están realizando importantes avances en el uso de aerogeneradores de baja potencia. Así, en Noviembre de 2007, se aprobó un decreto ley para diferentes tecnologías de micro generación: eólica, solar, hidráulica, cogeneración de biomasa, etc. En este decreto se establece una tarifa única de referencia de 650 €/MWh, durante los 5 primeros años de vida de la instalación y para los primeros 10 MW que se instalen en el país. Por cada 10 MW adicionales que se instalen la tarifa irá disminuyendo un 5 % y después de los cinco primeros años la instalación percibirá durante los próximos 10 años, anualmente, la tarifa única que corresponda a la del 1 de enero de ese año, aplicable a las nuevas instalaciones que sean equivalentes. Después de este período de 15 años, las instalaciones pasarán al régimen general. Cada tecnología recibirá un porcentaje de esta tarifa única. En el caso de la energía mini eólica, será el 70 % de la misma, es decir 450 €/kWh. Dentro del campo de la investigación cabe destacar el NationalInstituteforEngineeringTechnology and Innovation I.P. (INETI). INETI está desarrollando turbinas de bajo coste para uso urbano. Es un proyecto Nacional, T.URBan, que está financiado por el Programa Nacional DEMTEC- Sistema de Incentivos a la Realización de Proyectos Piloto Relativos a Productos, Procesos y

Sistemas Tecnológicamente Innovadores. El proyecto se espera que esté finalizado a mediados de 2008.

En Reino Unido, la energía eólica de baja potencia cada vez va teniendo más importancia debido a la iniciativa que se estableció en 2004 “Microgeneration Strategy” y que marca como objetivo que en el 2050 entre el 30 % y 40 % de la demanda eléctrica del país sea abastecida por tecnologías de micro generación, como la mini eólica, la fotovoltaica y la mini hidráulica, así como reducir las emisiones de CO₂ en un 15 % al año. Posteriormente, y a partir de 2006, el gobierno está proporcionando subvenciones para las instalaciones de tecnologías de micro generación bajo el Plan LowCarbonBuildingProgramme de Edificios de Bajo Carbono (LCBP), que reemplaza al anterior programa Clear Skies. En Reino Unido cabe destacar el último trimestre de 2006 ya que en esa época se pusieron a la venta, en comercios esparcidos por toda Inglaterra, aerogeneradores eólicos de potencias inferiores 1 Kw, al alcance de todo el mundo, con manual de instalación y garantía de funcionamiento de 10 años. Estimaciones preliminares señalan que pueden producir hasta el 30 % de la energía eléctrica consumida en una casa y además está la posibilidad de interconectarlos a red de forma que la energía de red de distribución sólo se utilizará cuando la generación propia no sea suficiente. En relación con los aerogeneradores con una potencia inferior a 10 Kw hay que señalar que aunque el número de instalaciones realizadas y potencialmente previsibles en los próximos años es alto, su contribución energética es muy baja. Se estima que hacia el año 2010 puede existir una potencia instalada total de unos 13 000 Kw. Los aerogeneradores entre 10 y 100 Kw, se utilizaron en la década pasada con fines experimentales y actualmente se utilizan en aplicaciones concretas con limitaciones de potencia. En dicho país existen más de ocho fabricantes, Proven Energy, Gazelle, Iskra, Ampair, Windsave, RenewablesDevicesSwift, Rutland-Marlec (Tabla 3). Entre ellos, Proven Energy es el líder mundial de proveedores de aerogeneradores de baja potencia, tiene más de 1 500 aerogeneradores instalados por todo el mundo (Cuesta *et al.*, 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se realizó en la ciudad de Torreón, Coahuila durante los meses comprendidos de julio a noviembre del 2012. Su objetivo es elaborar un generador eólico casero, con el que se busca disminuir el gasto de energía eléctrica en los hogares ayudando además a evitar la contaminación ambiental.

Todos los grandes aerogeneradores tienen tres palas fijadas al eje principal. El conjunto de estas palas se denomina rotor. El viento hace girar el rotor del aerogenerador con una velocidad de unas 22 revoluciones por minuto. El rotor provoca el giro de un generador -una dinamo- y se produce electricidad.

El aerogenerador será de bajo costo, fácil de operar, mantener y reparar. Puede proporcionar la energía eléctrica necesaria para un hogar sencillo.

Se puede obtener energía eléctrica con un sencillo equipo de Electricidad, o bien con material específico de Energías Alternativas. Solamente necesitas un alternador manual, imán, bombilla y cables, o bien un molino con un led luminoso y un secador de pelo para que giren las aspas y se genere electricidad.

Los aerogeneradores caseros producen electricidad de manera aislada tienen una pequeña o mediana potencia se usan para usos domésticos o agrícolas (iluminación, pequeños electrodomésticos. bombeo, irrigación, etc.), incluso en instalaciones industriales para desalación, repetidores aisladas de telefonía, tv, instalaciones turísticas y deportivas, etc. En caso de estar condicionados por "n" horario o una continuidad, se precisa introducir sistemas de baterías de acumulación o combinaciones con otro tipo de generadores eléctricos.

MATERIALES: Para la construcción del aerogenerador se utilizaron los siguientes materiales en su construcción:

- Poste de madera (Aluminio).
- Soportes para el poste.

- Dinamo.
- Una bombilla (Led).
- Unas aspas, hechas de plástico (Ventilador de computadora).
- Unos cables (Caimanes).
- Tuercas.
- Tornillos

ESQUEMA DE CONSTRUCCIÓN:

- Primero es necesario soldar los cables al dinamo.
- Unir el dinamo a las aspas del ventilador mediante un trozo de plástico.
- Unir los cables a la led.
- Colocar el dinamo en un poste.
- Sujetar el dinamo al poste.
- Sujetar el poste a una base de madera
- Verificar que todas las conexiones estén correctas.
- Hacer girar las aspas usando un secador de cabello.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

El procedimiento experimental fue llevado a cabo el día 06 de diciembre de 2012 en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" ubicada en Periférico y carretera a Santa Fe s/n.

Se desarrollo paso a paso el esquema de construcción y finalmente a utilizar el secador para hacer girar las aspas.

Al hacer girar las aspas del aerogenerador se transmitía el movimiento al motor mediante la unión plástica y este a su vez enviaba la energía eléctrica y hacia que se iluminara la bombilla (led).



Figura 1: Funcionamiento del led mediante energía eléctrica obtenida de la energía eólica.

La energía eólica se puede aplicar para el suministro de electricidad, para consumidores aislados, para cubrir parcialmente demandas ya conectadas a red o para bombeo de agua. Esto se consigue con pequeños aerogeneradores de diseño sencillo y de fácil instalación (Menéndez, 2001)

La energía eólica aprovecha la velocidad del viento para producir energía mecánica y electricidad (Castellanos *et al.*, 2007).

El aerogenerador es la maquina encargada de transformar la energía cinética del viento, en energía mecánica de rotación y aplicar esta sobre un generador eléctrico (Seguí, 2002).

Estas afirmaciones pudieron comprobarse al fabricar el aerogenerador casero y hacerlo funcionar.

CONCLUSIONES

La energía eólica de baja potencia constituye una importante opción energética, ya que tiene ventajas muy importantes frente a otras tecnologías, como es la posibilidad de ubicar sus instalaciones casi en cualquier sitio con un potencial eólico moderado.

Existe un prometedor mercado para el empleo de pequeños aerogeneradores en aplicaciones aisladas en países en vía de desarrollo, donde se está incrementando la demanda de instalaciones híbridas para sistemas aislados.

El mercado mundial de los pequeños aerogeneradores presenta un desarrollo prometedor. Actualmente, los fabricantes de grandes aerogeneradores empiezan a realizar incursiones en este sector.

Para la integración de este tipo de energía a la red es necesario en muchos países el desarrollo de nuevos marcos regulatorios que activen el mercado.

RECOMENDACIONES

El uso de la energía eólica es altamente recomendable para producir energía eléctrica ya que es una energía limpia que no contamina y que es prácticamente inagotable cuenta con muchas ventajas como por ejemplo:

- Reduce el uso de combustibles fósiles
- El tiempo de construcción es menor con respecto a otras fuentes de energía
- La búsqueda y desarrollo de nuevos diseños y materiales que sirvan para los aerogeneradores eólicos, hacen de la energía eólica una de las más dinámicas, por lo cual frecuentemente están saliendo al mercado nuevos productos más eficientes con mayor capacidad
- Y principalmente que pueden usarse materiales ecológicos para construcción de aerogeneradores a bajo costo

LITERATURA CITADA

- Ambriz, J. "Energía, contaminación y desarrollo sustentable". Memorias del IV Simposio de Contaminación Atmosférica. El Colegio Nacional y Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F., 5-7 de noviembre de 2002.
- Arrúa, T. Villarreal, A. Ambriz, J. 2002. "Sostenibilidad del uso de la energía eólica en México". Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F.
- Asociación Mundial de Energía Eólica WWEA. 2011. "Reporte Anual de la Energía Eólica en el Mundo 2010. WWEA Head Office Bonn, Alemania.
- Baldovino-Fernandini, E., Ramos-Mariño G., Calderón-Motta, V. 2007. "Propuesta Estratégica Para El Desarrollo De La Energía Eólica En El Perú". Universidad Católica Del Perú. Perú.
- Billinton, R., D. Huang. 2009. "Wind power modelling and the determination of capacity credit in an electric power system". University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.
- Brizuela A., C. Aguirre. 2004. "Energía no convencional - solar y eólica- para escuelas rurales en la provincia de entre ríos". Ciencia, Docencia y Tecnología. Universidad Nacional de Entre Ríos. Concepción del Uruguay, Argentina.
- Cadenas, R. G. Saldivar. 2007. "Educación y Nuevas Tecnologías Central Eoloeléctrica La Venta II". Revista Digital Universitaria. Vol. 8, No. 12
- Calvo, F. Et Al. 2004. "Energías y Medio Ambiente". Ediciones Universidad de Salamanca. Salamanca, España.
- Castellanos, P. Severo, N. Fernández, A. 2007. "Uso eficiente y sostenible de los recursos naturales". Universidad de Salamanca. Salamanca, España.
- Cavallo, A., J.Hock y Smith. 1993. "Wind Energy: Technology and economics". Washington D.C.

- Cuesta, M., M. Pérez, J. Cabrera. 2008. "Aerogeneradores de Potencia Inferior a 100 kw". Prospectiva y Vigilancia Tecnológica. España.
- Global Wind Energy Council. 2008. "Global wind energy outlook 2008". Disponible en: <http://www.gwec.net/index.php?id=92>
- González, M. 2008. "Modernización ecológica y activismo medioambiental: El caso de la energía eólica en España. Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad, vol. 4 numero 11. Buenos Aires, Argentina.
- Greenpeace & Global Wind Energy Council. 2006. "Perspectivas globales de la energía eólica". Obtenido el 19 de Noviembre de 2012 de <http://www.gwec.net/index.php?id=65>
- Guerra, I. 2008. "Fuentes de energía para el futuro". Ministerio de Educación, Subdirección General de Información y Publicaciones. España
- Hernández, G. 1995. "Estudio del potencial eólico en tres sitios de la región oriental". Santiago de Cuba.
- Hills, R. 1994. "Power from wind: A History of windmill Technology". Cambridge University Press, Cambridge.
- Hulshorst, W. 2011. "Manual Práctico de evaluación de una instalación de energía eólica a pequeña escala". ECON Internacional. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- McElroy, MB. 2009."Global potential for wind-generated electricity". ProcNatlAcadSci USA.
- Menéndez, E. 2001. "Energías renovables, sustentabilidad y creación de empleo". Fuencarral. Madrid, España.
- Milborrow, D.2001." Wind energy technology—the state of the art". The Gallops. Institution of Mechanical Engineers

Moragues, J., A. Rapallini. 2003. "Energía Eólica". Instituto Argentino de la Energía "General Mosconi". Argentina.

Morales, M. 2009. "Energía Eólica y Diseño de Control de Voltaje y Frecuencia para un Convertidor de Potencia con Topología CA/CD.CD/CD-CD/CA". Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.

Posso, F.2002."Energía y Ambiente: Pasado, Presente y Futuro. Parte dos: Sistema energético basado en energías alternativas". Geoenseñanza. Universidad de los Andes. San Cristóbal, Venezuela.

Proenza, J., R. Pérez, E. Díaz, J. PiñaSilva. 2007."Mapa de Potencial Eólico de la provincia Holguín" Ciencias Holguín, vol. XIII, núm. 3. Instituto de Información Científica y Tecnológica. Holguín, Cuba.

Pryor, S.2011 "Assessing climate change impacts on the near-term stability of the wind energy resource over the United States" College of Arts and Sciences and the Center for Research in Environmental Science, Indiana University.

Puig, J. 2006."La energía del viento no conoce fronteras". Energías Renovables. Obtenido el 19 de Noviembre de 2012 de http://www.wwindea.org/home/images/stories/publications/er46_elica_mundo.pdf

Rincón-Mejía, E., Aranda-Pereyra, M. 2006. "30 Años de Energía Solar en México". Asociación Nacional de Energía Solar A.C. México, D.F.

Romero-Paredes, A., Córdova, A., Guizar, R., Lino, M., Luengo, M., Oven, M. 2009."Elementos para la Promoción de la Energía Eólica en México". USAID. México, D.F.

Ruiz, A. 2004."Energía Eólica". Proyecto Comenius. Madrid, España.

Santamarta, J. 2004. "Las energías renovables son el futuro". WorldWatch. Obtenido el 19 de Noviembre de 2012 de <http://www.nodo50.org/worldwatch/ww/pdf/Renovables.pdf>

- Secretaría de Energía. "Energías Renovables - Energía Eólica". 2008. Secretaría de Energía. Coordinación de Energías Renovables.
- Seguí, S. 2002. "Fundamentos básicos de la electrónica de potencia". Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Sims, R. 2007. "Energy supply. Climate Change 2007: Mitigation". Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Univ Press, Cambridge, UK.
- Sosa, R. 2003. "Los aerogeneradores y la factibilidad de realización de un proyecto de energía eólica en Guatemala". Universidad Francisco Marroquín. Guatemala
- Zamora, M. Leyva, E. Lambert, A. 2010. "Recurso Eólico en Baja California". Revista Digital Universitaria. Volumen 11 Número 02 • ISSN: 1067-6079