

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**TESIS**

**ANÁLISIS DE DESARROLLO DE UN PARQUE EÓLICO.**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Area: Eléctrica y Electrónica**

**PRESENTA**

**RODRIGO MÉNDEZ MÉNDEZ**

**DIRECTOR DE TESIS**

**ING. BENJAMÍN RAMÍREZ HERNÁNDEZ**



**CIUDAD UNIVERSITARIA.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo es la culminación de una etapa y un logro muy importante en mi vida, pero también es el inicio de algo nuevo y mejor. No solo para mí, sino para toda mi familia.

Me es importante agradecer a los innumerables actores que han contribuido en diversas etapas de mi formación y de mi vida, en especial:

### **A LA UNIVERSIDAD:**

A mi alma máter por darme la gran oportunidad de ser parte de ella, formarme de manera académica, social, cultural y personal. Y contribuir en mí persona para ser un ser profesional pleno y satisfecho de sus logros.

### **A MI DIRECTOR DE TESIS:**

Por orientarme y ayudarme a dar este gran paso en mi trayectoria personal y profesional. Mil gracias.

### **A MI FAMILIA:**

A mis hermanos, SAÚL, ROLANDO y NORMA por darme siempre su amor y apoyo incondicional.

A toda mi familia por siempre apoyarme.

### **A MIS PADRES:**

A mi Padre, FÉLIPE. A mi madre JOSEFINA.

Que el amor y cariño que me han dado día a día, ha sido para mí, las herramientas más importantes para realizar todos los logros de mi vida. Y que me han dado lo mejor de los dos: la vida misma.

Los amo.

### **A MI ESPOSA E HIJOS:**

A mi esposa JEANETT, por darme la oportunidad de caminar juntos y compartir los mejores momentos de la vida.

A mi hijo LEONARDO. La más grande oportunidad y lección, que me ha dado la vida para aprender y enseñar. A ti amado Leo un gran guerrero de la vida.

A mi hija FERNANDA. Que ha llenado con alegría y felicidad los corazones en nuestra pequeña familia.

Jany, Leo y Fer. La vida tiene preparado lo mejor para ustedes. Los amo con todo mí ser.

**Gracias, a la VIDA, por todas las riquezas que me ha dado.**

## CONTENIDO

CONTENIDO .....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 El porqué de las energías renovables.....	7
1.2 La energía eólica mundial. ....	11
1.3 Datos relevantes de mercado actual.....	11
1.3.1 Caso México .....	15
1.4 Previsiones futuras del mercado eólico.....	17
1.4.1 Caso México .....	17
1.5 Bases de la Energía Eólica. ....	20
1.6 Que es el viento.....	26
1.7 Nociones de meteorología.....	30
1.8 Aerogeneradores.....	33
2. DESARROLLO DE PROYECTO DEL PARQUE EOLICO .....	49
2.1 Marco legal y regulatorio Mexicano.....	54
2.2 Permisos y Licencias. ....	57
2.3 Localización e investigación de emplazamientos eólicos .....	64
2.4 Búsqueda de emplazamiento. ....	66
2.5 Negociaciones del terreno .....	68
2.6 Evaluación del aprovechamiento eólico.....	70
3. ASPECTOS TÉCNICOS.....	76
3.1 Aspectos Técnicos. ....	76
3.2 Memoria básica proyecto de un parque eólico.....	77
3.3 Infraestructura eléctrica del parque.....	83
3.4 Costos generales del proyecto.....	86

3.5	Aspectos medioambientales.....	94
3.5.1	Estudio de impacto ambiental .....	94
3.5.2	Uso de suelo.....	95
3.5.3	Ruido.....	95
3.6	Construcción .....	96
3.7	Obra civil, electromecánica.....	104
3.7.1	Obra civil. ....	104
3.7.2	Obra electromecánica.....	110
4.	CONCLUSIONES.....	122
5.	GLOSARIO DE TERMINOS.....	131
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	135
	LISTADO DE FIGURAS .....	142

# **CAPITULO 1**

## **Análisis de desarrollo de un parque eólico**

El objetivo es investigar, analizar y plasmar en este documento lo que se tiene que hacer para realizar un proyecto de energía eólica el cual sirva de guía básica para el desarrollo de estos proyectos en México.

### **1. INTRODUCCIÓN**

A lo largo de la historia, el desarrollo de la humanidad siempre ha estado ligado al uso de distintos tipos de energía.

Los primeros hombres utilizaron por varios miles de años solo un tipo de fuente de energía: la de sus alimentos, es decir Bioenergía. Posteriormente, al descubrir el fuego, se mantuvo utilizando energía renovable, en este caso Biomasa. Básicamente hasta el siglo XVIII, los recursos energéticos explotados por el hombre fueron ENERGÍAS RENOVABLES.

No es sino hasta la aparición de la máquina de vapor en el siglo XIX, la única energía de origen no animal utilizada para realización de trabajo mecánico era la proveniente del agua y del viento.

La fuente de energía que involucra el desarrollo de este documento es el viento, por lo que se hará mayor énfasis al respecto de este tipo de energía. La primera y más sencilla, forma de aprovechamiento de la energía eólica que desde los tiempos más remotos, es la aplicada a la navegación; las primeras referencias de la utilización de embarcaciones a vela proceden de Egipto y datan del IV ó V milenio A.C.

En China hay referencias de la existencia de molinos de eje vertical y palas a base de telas colocadas sobre un armazón de madera, que eran utilizados para el bombeo de agua, los cuales fueron precursoras de los molinos persas. Los de eje horizontal surgieron en el área de la antigua Persia y fueron utilizados para moler granos y bombear agua en todos los territorios de influencia islámica

Los molinos de viento fueron utilizados en Europa en la Edad Media, comenzando a extenderse por Grecia, Italia, Francia y Holanda.

Sea cual fuese la forma de aparición de estas máquinas en diversos países, lo cierto es que se encuentran abundantes ejemplos de la importancia que los molinos de viento llegaron a tener en diversas aplicaciones; cito como ejemplo relevante: los molinos utilizados para la molienda y los no menos conocidos molinos holandeses todos ellos de eje horizontal, usados desde 1430 para la desecación de los polders. Recordemos que polders es un término holandés describe las superficies terrestres ganadas al mar. En el siglo XVI Holanda perfecciona el diseño de los molinos y los utiliza para el drenaje; sin embargo, no sólo utilizaron los molinos para drenar el agua, sino también para extraer aceites de semillas, moler grano, etc.; precisamente el nombre de molinos proviene de este tipo de aplicaciones.

Una idea de la importancia que en el pasado adquirió la energía eólica nos la da el hecho de que en el siglo XVIII, los holandeses tenían instalados y en funcionamiento molinos, que les proporcionaban una media de 20 KW cada uno, energía nada despreciable para las necesidades de aquella época.

Para el año 1910, Dinamarca tenía instalada una potencia eólica de 200MW. Sin embargo, debido a una mayor oferta de combustibles fósiles como carbón mineral y petróleo para generación de electricidad y aplicaciones industriales, se frenó fuertemente su desarrollo.

### **1.1 El porqué de las energías renovables**

En la actualidad es difícil concebir la vida humana sin el uso de la energía, principalmente energía eléctrica.

Así pues, con el inicio de la revolución industrial se lleva de manera acelerada la invención y desarrollo de máquinas que utilizan energía eléctrica. Los combustibles fósiles, y en particular el petróleo, empezaban a imponerse como la principal e insustituible fuente de energía. Sin embargo, el petróleo presentaba un grave inconveniente al crear una dependencia entre los países consumidores y los productores, de forma que cuando el orden económico se veía alterado por alguna crisis y la dependencia energética se hacía patente, se adoptaban políticas de apoyo de los recursos autónomos, que se abandonaban una vez superada la crisis.

La primera de estas etapas fue una consecuencia inmediata de la Primera Guerra Mundial. Con una fuerte expansión de la electricidad como sistema energético universal y escasez de recursos para importar petróleo.

Pero no fue sino hasta la crisis petrolera de los años 1970s' y el aumento de los precios de los combustibles fósiles que estimuló la generación de la energía eólica como una fuente alternativa económicamente viable. En todo el mundo surgieron programas de investigación y desarrollo que resultaron en sistemas eólicos modernos con costos cada vez más bajos.

De igual forma el llamado cambio climático es un fenómeno global provocado por la incesante acumulación de gases de efecto invernadero (GEI), producidos, principalmente, durante la quema de combustibles fósiles como petróleo, carbón y gas. Este proceso de quema de combustible nos permite obtener energía eléctrica, con la cual nos transportamos y fabricamos los productos que usamos en la vida cotidiana. Entre los gases más dañinos y que más contribuyen en generar el cambio climático está el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Desde hace 250 años, la temperatura global del planeta se ha incrementado en alrededor de 0.8 grados centígrados (°C) debido a la acumulación de GEI en la atmósfera.

Este incremento ha ocasionado una crisis climática que ya rebasó los hallazgos y pronósticos científicos: la excesiva concentración de GEI en la atmósfera está aumentando la temperatura de todo el planeta a un ritmo acelerado, afectando a los ecosistemas y provocando en promedio 150 mil muertes al año por hambre, enfermedades, inundaciones y sequías. Un aumento de la

temperatura promedio global de 2°C desencadenaría un cambio climático peligroso con impactos de dimensiones catastróficas. Si queremos mantener el equilibrio de los ecosistemas y la vida tal como hoy la conocemos, el aumento de la temperatura global del planeta debe estar por abajo de los 2°C para fines de este siglo.

Así pues, con estos argumentos, ha existido una clara preocupación en todas las sociedades y países por generar energía, a partir de fuentes renovables.

Cabe mencionar que son diversas las energías consideradas como renovables, las cuales se pueden definir como las que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Casi todas las fuentes de energía renovables, provienen, en último término, del sol. Las más aceptadas y no contaminantes son:

- Energía hidráulica
- Energía solar térmica
- Biomasa
- Energía solar
- Energía geotérmica
- Energía mareomotriz
- Energía eólica

- **Energía hidráulica**

La energía potencial del agua acumulada puede ser transformada en energía cinética y finalmente obtener energía eléctrica a través del generador eléctrico. Las centrales hidroeléctricas aprovechan este tipo de energía.

Uno de los recursos más importantes cuantitativamente en la estructura de las energías renovables es la procedente de las instalaciones hidroeléctricas; una fuente energética limpia y autóctona, para la que se necesita construir, infraestructuras que permitan aprovechar el potencial disponible con un coste nulo de combustible.

- **Energía solar térmica**

Se trata de recoger la energía del sol a través de paneles solares y convertirla en calor el cual puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para dar calefacción a hogares, hoteles, colegios o fábricas. También, se podrá conseguir refrigeración durante las épocas cálidas. Con este tipo de energía se podría reducir más del 25% del consumo de energía convencional en viviendas de nueva construcción con la consiguiente reducción de quema de combustibles fósiles y deterioro ambiental.

- **Biomasa**

La formación de biomasa a partir de la energía solar se lleva a cabo por el proceso denominado fotosíntesis vegetal, que a su vez es desencadenante de la cadena biológica. Mediante la fotosíntesis, las plantas que contienen clorofila, transforman el dióxido de carbono y el agua de productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético,

los cuales a su vez sirven de alimento a otros seres vivos. La biomasa mediante estos procesos almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. La energía almacenada en el proceso fotosintético puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal, liberando de nuevo el dióxido de carbono almacenado.

- **Energía solar**

La energía solar es una fuente de vida y origen de la mayoría de las demás formas de energía en la Tierra. Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad. Recogiendo de forma adecuada la radiación solar, esta puede transformarse en otras formas de energía como energía térmica o energía eléctrica utilizando paneles solares.

- **Energía geotérmica**

La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el hombre mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra.

Parte del calor interno de la Tierra (5,000 °C) llega a la corteza terrestre. En algunas zonas del planeta, cerca de la superficie, las aguas subterráneas pueden alcanzar temperaturas de ebullición y por tanto, servir para accionar turbinas eléctricas o para calentar. Geotérmico viene del griego geo, "Tierra", y de thermos, "calor", literalmente "calor de la Tierra".

- **Energía mareomotriz**

La energía mareomotriz se debe a las fuerzas gravitatorias entre la Luna, la Tierra y el Sol, que originan las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa entre estos tres astros. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse en lugares estratégicos como golfos, bahías o estuarios utilizando turbinas hidráulicas que se interponen en el movimiento natural de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje. Mediante su acoplamiento a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más útil y aprovechable.

- **Energía eólica**

La energía eólica es la energía obtenida de la fuerza del viento, es decir, mediante la utilización de la energía cinética generada por las corrientes de aire. La energía eólica es la más desarrollada de todas las fuentes de energía renovable.

Las principales ventajas al utilizar la fuerza del viento para generación de energía son:

- La energía eólica no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático, no contribuye al efecto invernadero, ni destruye la capa de ozono; y tampoco crea lluvia ácida. Es una tecnología de aprovechamiento totalmente madura pero con constantes mejoras tecnológicas.
- Es una fuente de energía relativamente barata, que puede competir en rentabilidad con otras fuentes energéticas tradicionales como las centrales térmicas de carbón (considerado tradicionalmente como el combustible más barato), las centrales de combustible e incluso con la energía nuclear, si se consideran los costes de reparar los daños medioambientales.

- Se suprimen radicalmente los impactos originados por los combustibles durante su extracción, transformación, transporte y combustión, lo que beneficia la atmósfera, el suelo, el agua, la fauna y la vegetación.
- La utilización de la energía eólica para la generación de electricidad presenta nula incidencia sobre las características fisicoquímicas del suelo o su erosión, ya que no se produce ningún contaminante que incida sobre este medio, ni tampoco vertidos o grandes movimientos de tierras.
- Cada KWh de electricidad generada por energía eólica en lugar de carbón, evita:
  - 0,60 Kg. de CO<sup>2</sup>, dióxido de carbono.
  - 1,33 gr. de SO<sup>2</sup>, dióxido de azufre
  - 1,67 gr. de NOx, óxido de nitrógeno.
- La electricidad producida por un aerogenerador evita que se quemen diariamente miles de litros de petróleo y miles de kilogramos de lignito negro en las centrales térmicas. Ese mismo generador produce idéntica cantidad de energía que la obtenida por quemar diariamente 1.000 Kg. de petróleo. Al no quemarse esos kilogramos. de carbón, se evita la emisión de 4.109 Kg. de CO<sub>2</sub>, lográndose un efecto similar al producido por 200 árboles. Se impide la emisión de 66 Kg. de dióxido de azufre -SO<sub>2</sub>- y de 10 Kg. de óxido de nitrógeno -NOx- principales causantes de la lluvia ácida.
- Un Parque de 10 MW de capacidad de generación de energía:
  - Evita 28.480 Toneladas. Al año de CO<sup>2</sup>
  - Sustituye 2.447 Toneladas equivalentes de petróleo.
  - Genera Energía eléctrica para 11,000 familias.

Las posibles desventajas al utilizar la fuerza del viento para generación de energía son:

- Impacto visual: su instalación genera una alta modificación del paisaje. Desde el punto de vista estético, la energía eólica produce un impacto visual inevitable, ya que por sus características precisa unos emplazamientos que normalmente resultan ser los que más evidencian la presencia de las máquinas en cerros, colinas o litorales. En este sentido, la implantación de la energía eólica a gran escala, puede producir una alteración clara sobre el paisaje, que deberá ser evaluada en función de la situación previa existente en cada localización
- Impacto sobre la avifauna: principalmente por el choque de las aves contra las palas y efectos desconocidos sobre la modificación de los comportamientos habituales de migración y anidación.
- Otro impacto negativo es el ruido producido por el giro del rotor, pero su efecto no es más que el generado por una instalación de tipo industrial de similar entidad y siempre que estemos muy próximos a los molinos.

## 1.2 La energía eólica mundial.

Si bien los sistemas de generación eléctrica eólica o eoloelectrica presentaron un desarrollo importante durante las primeras décadas del siglo XX, la primera y segunda guerras mundiales retuvieron su crecimiento y es hasta la década de 1970 con la primer crisis mundial del petrolero, que se reactiva su expansión. Actualmente, de las fuentes renovables de energía, la energía eólica es la de mayor crecimiento y de mayor desarrollo tecnológico.

El avance más dramático se ubica en el aumento de la capacidad de generación eléctrica y en el incremento en la eficiencia de conversión de la energía eólica por turbina. Los primeros aerogeneradores presentaban potencias de apenas 25 kilowatts (KW) hace 25 años y en el presente la gama comercial típica es a partir de 750 hasta 7,000 KW (7.0 MW) o más. Así, cada turbina de 3 MW produce más energía eléctrica que 250 máquinas que se comercializaban a finales de la década de 1980. Figura 1.1.

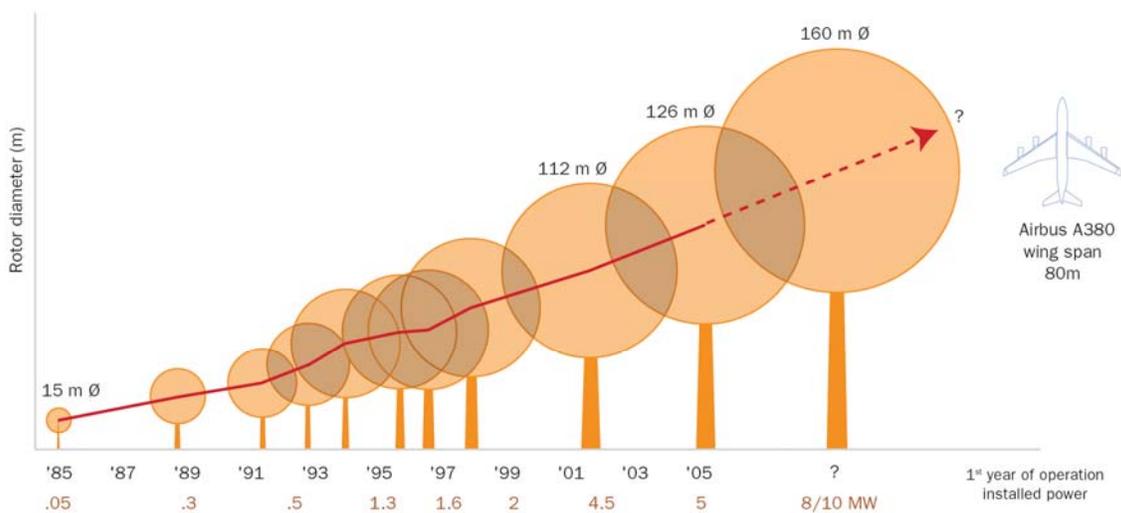


Figura 1.1. Evolución de aerogeneradores por tamaño y capacidad de generación de energía  
Fuente: Asociación Europea de Energía Eólica.

El auge en la fabricación de estos nuevos aerogeneradores tiene su base principalmente en mayores conocimientos en aerodinámica, mecánica y eléctrica, así como en los beneficios económicos de las técnicas de su producción en masa, sin olvidar desde luego los recursos económicos en ciencia y tecnología que ha permitido reducir sustancialmente los costos de generación de energía eléctrica a partir de esta tecnología.

## 1.3 Datos relevantes de mercado actual

Según los datos de GWEC (Consejo Mundial de la Energía Eólica) para finales del año 2010, se tenía una capacidad mundial instalada de 194,390 MW. Figura 1.2 y 1.3

La energía eólica mostró una tasa de crecimiento del 22.4%. China y Estados Unidos lideran la capacidad acumulada con 42,287 MW los Chinos y 40,180 MW los Norteamericanos, lo que representa un 21.8% y 20.7% de la capacidad mundial acumulada.

De igual forma el incremento anual también está encabezado por esos dos países con una capacidad instalada en el año 2010 de 16,500 MW por China y 5,115 MW por Estados Unidos. Figura 1.4

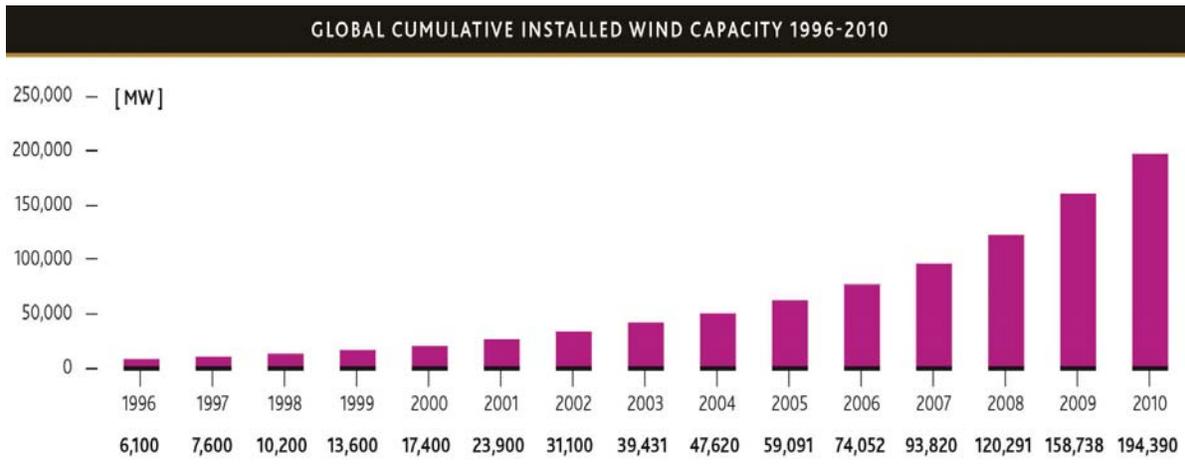


Figura 1.2. Capacidad mundial acumulada de generación de energía eólica.  
Fuente: GWEC (Consejo Mundial de la Energía Eólica).

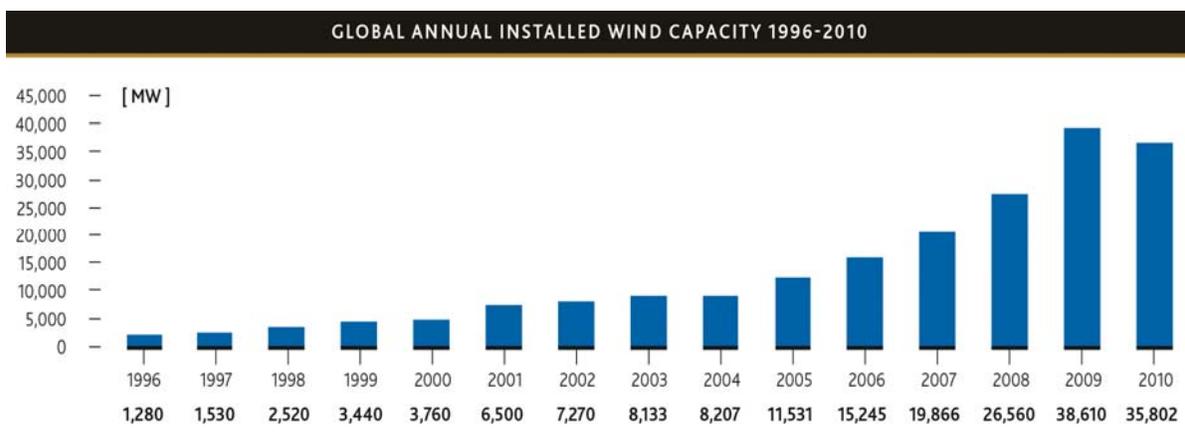


Figura 1.3. Capacidad mundial anual de generación de energía eólica.  
Fuente: GWEC (Consejo Mundial de la Energía Eólica).

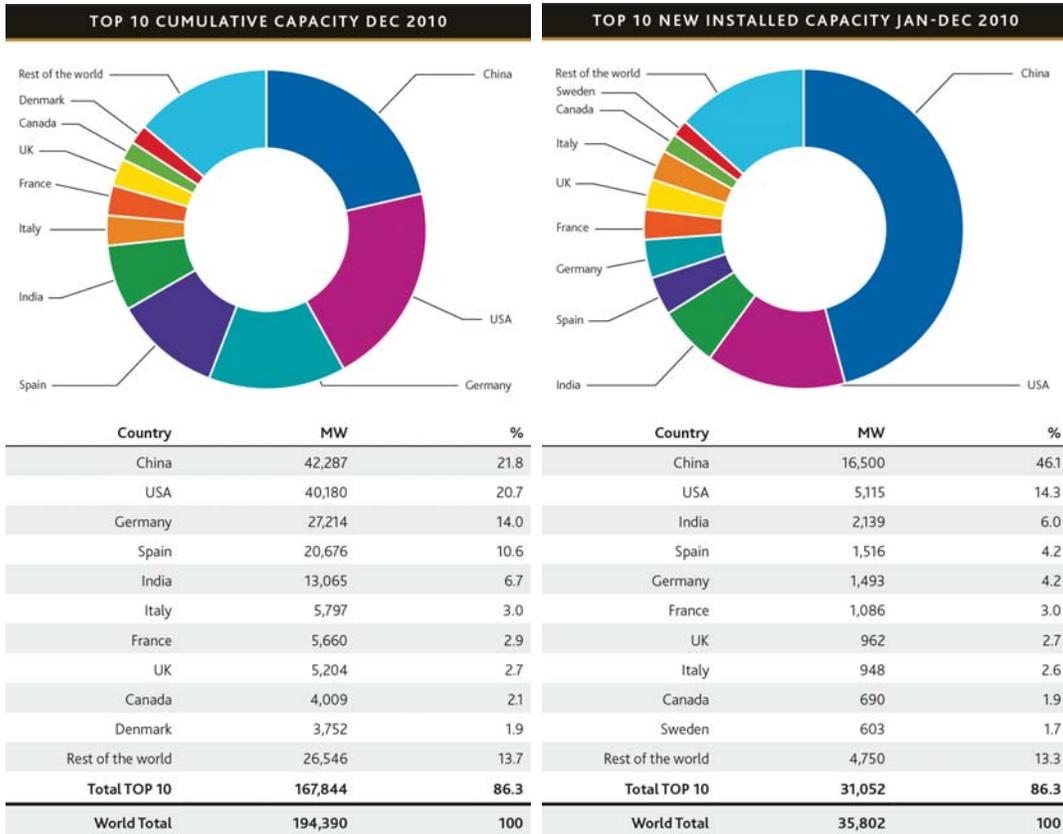


Figura 1.4. Top 10 por capacidad acumulada y capacidad instalada en el 2010.

Fuente: GWEC (Consejo Mundial de la Energía Eólica).

La región de mayor crecimiento en nuevas instalaciones eólicas fue Asia, apoyado básicamente por China. Figura 1.5 y 1.6.

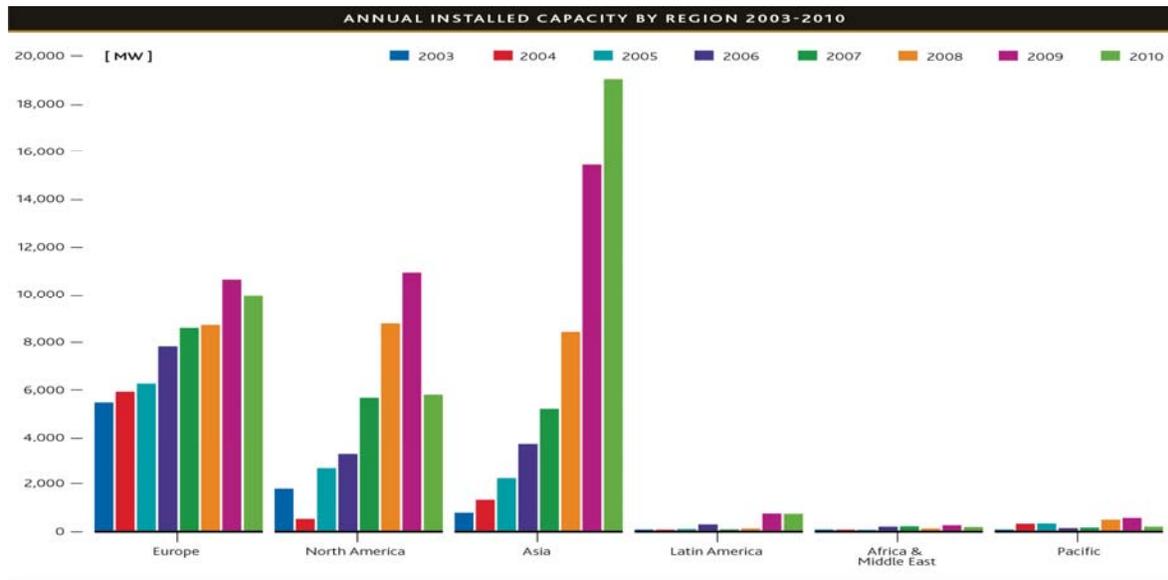


Figura 1.5. Capacidad anual instalada por región mundial en el 2010.

Fuente: GWEC (Consejo Mundial de la Energía Eólica).

**GLOBAL INSTALLED WIND POWER CAPACITY (MW) – REGIONAL DISTRIBUTION**

	End 2009	Installed 2010	End 2010
<b>AFRICA &amp; MIDDLE EAST</b>			
Egypt	430	120	550
Morocco	253	33	286
Tunisia	54	60	114
Iran	92	0	92
Other <sup>1)</sup>	37	0	37
<b>Total</b>	<b>866</b>	<b>213</b>	<b>1,079</b>
<b>ASIA</b>			
China*	25,805	16,500	42,287
India	10,926	2,139	13,065
Japan	2,085	221	2,304
Taiwan	436	83	519
South Korea	348	31	379
Philippines	33	0	33
Other <sup>2)</sup>	6	48	54
<b>Total</b>	<b>39,639</b>	<b>19,022</b>	<b>58,641</b>
<b>EUROPE</b>			
Germany	25,777	1,493	27,214
Spain	19,160	1,516	20,676
Italy	4,849	948	5,797
France	4,574	1,086	5,660
UK	4,245	962	5,204
Denmark*	3,465	327	3,752
Portugal	3,357	345	3,702
Netherlands*	2,223	15	2,237
Sweden	1,560	603	2,163
Ireland	1,310	118	1,428
Turkey	801	528	1,329
Greece	1,086	123	1,208
Poland	725	382	1,107
Austria	995	16	1,011
Belgium	563	350	911
Rest of Europe <sup>3)</sup>	1,611	1,071	2,677
<b>Total Europe</b>	<b>76,300</b>	<b>9,883</b>	<b>86,075</b>
of which EU-27 <sup>4)</sup>	74,919	9,259	84,074
<b>LATIN AMERICA &amp; CARIBBEAN</b>			
Brazil	606	326	931
Mexico	202	316	517
Chile	168	4	172
Costa Rica	123	0	123
Caribbean	91	8	99
Argentina	34	27	60
Others <sup>5)</sup>	83	23	106
<b>Total</b>	<b>1,306</b>	<b>703</b>	<b>2,008</b>
<b>NORTH AMERICA</b>			
USA	35,086	5,115	40,180
Canada	3,319	690	4,009
<b>Total</b>	<b>38,405</b>	<b>5,805</b>	<b>44,189</b>
<b>PACIFIC REGION</b>			
Australia	1,712	167	1,880
New Zealand	497	9	506
Pacific Islands	12	0	12
<b>Total</b>	<b>2,221</b>	<b>176</b>	<b>2,397</b>
<b>WORLD TOTAL</b>	<b>158,738</b>	<b>35,802</b>	<b>194,390</b>

Source: GWEC

Figura 1.6. Capacidad anual instalada por región mundial en el 2010.  
Fuente: GWEC (Consejo Mundial de la Energía Eólica)

Se puede mencionar que todas las turbinas eólicas instaladas globalmente al final del 2009 contribuyeron con 340 TWh al suministro de electricidad a nivel mundial, lo que representa 2% de la demanda global de electricidad.

Esta cantidad de energía iguala la necesidad de electricidad de Italia, un país industrializado con 60 millones de habitantes y la séptima economía mayor del mundo.

### 1.3.1 Caso México

México contaba en el 2008 con alrededor de 1,924.8 MW de capacidad instalada de generación eléctrica con base en energías renovables, que incluye la capacidad destinada al servicio público, cogeneración y autoabastecimiento, representando el 3.3% de la capacidad instalada en el servicio público del país. En dicho porcentaje se incluía pequeñas hidroeléctricas, geotérmica biomasa, biogás y por supuesto la energía eólica. Figura 1.7.

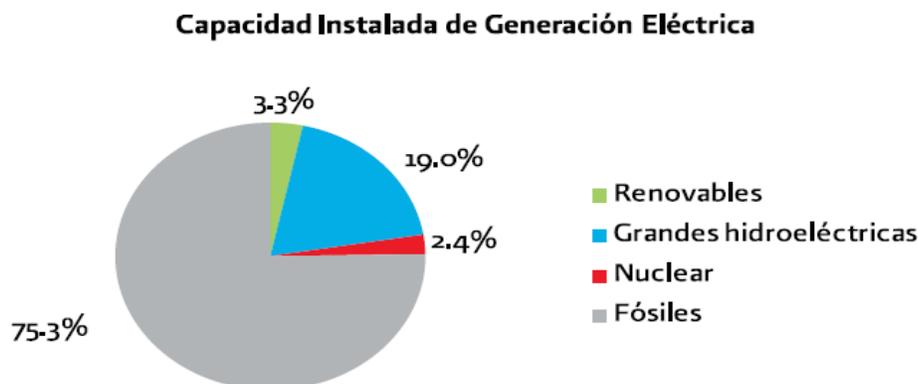


Figura 1.7. Capacidad instalada en México en el 2008.  
Fuente: Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables

En el país ya han iniciado las aplicaciones comerciales de la generación eoloelectrónica, particularmente en la modalidad de centrales interconectadas a red.

A partir del año 2006, se inició el desarrollo de diversos parques eólicos bajo un proyecto que se denominó Temporada Abierta en el estado de Oaxaca, en la zona de la Ventosa.

A través del proyecto Temporada Abierta se acordó la construcción de infraestructura y reforzamientos de transmisión para interconectar 2,473 MW de proyectos eólicos públicos y privados en Oaxaca entre 2009 y 2012.

Para dicho fin, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) a expedido permisos a varias empresas privadas, mientras que la Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha celebrado acuerdos y compromisos en firme con dichas empresas para el financiamiento y la construcción de una línea de transmisión de electricidad con capacidad de 2,000 MW que permitirá interconectar los proyectos eoloelectrónicos a realizarse en el Istmo de Tehuantepec con el sistema eléctrico nacional.

Algunos otros proyectos se han desarrollado en la región de la Rumorosa en el estado de Baja California.

Según la Asociación Mexicana de Energía Eléctrica (AMDEE) se tiene instalada al año 2010 una capacidad de 518.63 MW en diversos proyectos. Figura 1.8 y 1.9.

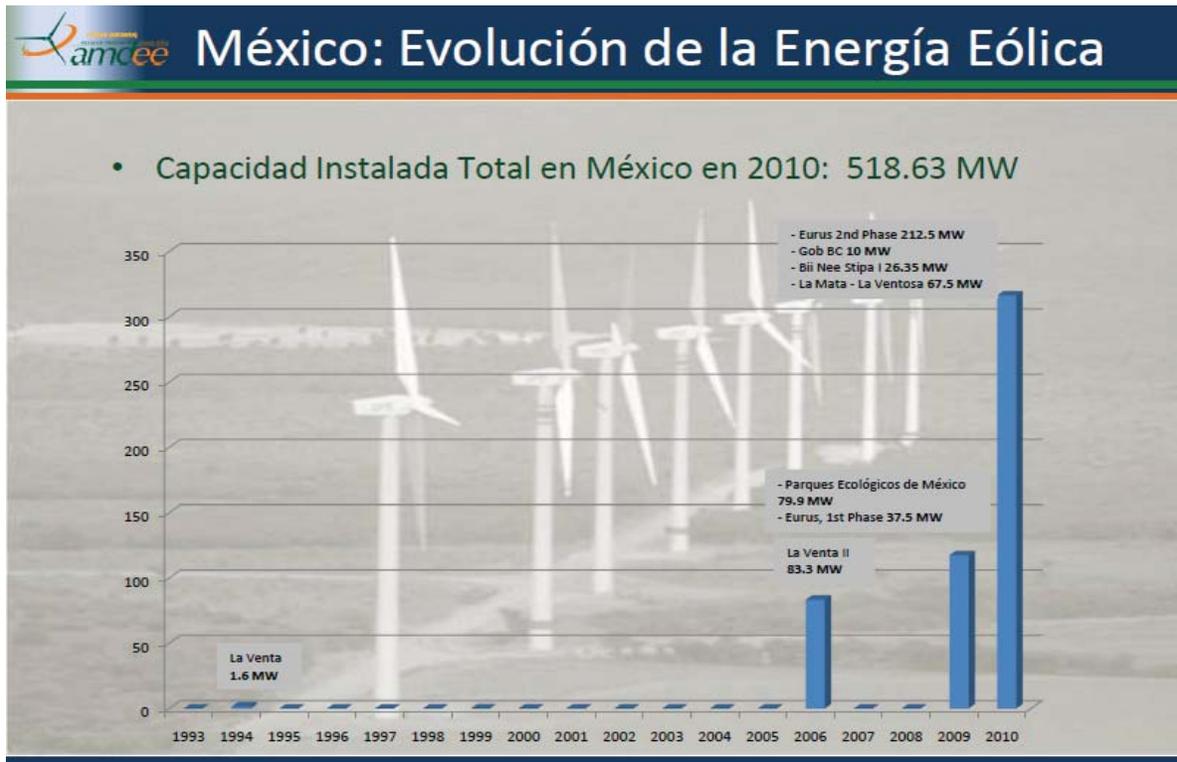


Figura 1.8. Capacidad eólica acumulada en México al 2010.  
Fuente: Asociación Mexicana de Energía eólica AMDEE

**Proyectos Eólicos en México**

Proyectos Eólicos en Operación						
Proyecto	Ubicación	Esquema	Desarrollador	Turbinas	FOC	MW
La Venta	Oaxaca	OPF	CFE	Vestas	1994	1.6
La Venta II	Oaxaca	OPF	CFE	Gamesa	2006	83.3
Parques Ecológicos de México	Oaxaca	Autoabast.	Iberdrola	Gamesa	2009	79.9
Eurus, 1st Phase	Oaxaca	Autoabast.	Cemex/Acciona	Acciona	2009	37.5
Eurus 2nd Phase	Oaxaca	Autoabast.	Cemex/Acciona	Acciona	2010	212.5
Gobierno Baja California	Baja California	OPF	GBC/Turbo Power Services	Gamesa	2010	10
Bii Nee Stipa I	Oaxaca	Autoabast.	Cisa-Gamesa	Gamesa	2010	26.35
La Mata - La Ventosa	Oaxaca	Autoabast.	Electrica del Valle de México (EDF-EN)	Clipper	2010	67.5
						<b>518.63</b>

Figura 1.9. Proyectos Eólicos en México al 2010.  
Fuente: Asociación Mexicana de Energía eólica AMDEE

## **1.4 Previsiones futuras del mercado eólico**

Los resultados de los escenarios globales de la energía eólica demuestran que, incluso bajo un escenario conservador, como muestra la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés). esta fuente podría proveer 5% de la electricidad del mundo antes del 2030 y 6.6% antes del 2050.

Bajo la proyección “moderada” del crecimiento de la energía eólica se considera también un ahorro energético ambicioso, así que la energía del viento podría proveer el 15.6% de la electricidad del mundo antes de 2030 y 17.7% antes de 2050.

En el escenario “avanzado” del desarrollo de la energía del viento, se considera igualmente un ahorro muy ambicioso y una muy alta eficiencia de la electricidad, estimándose entonces que la eólica podría proveer 29.1% de la demanda eléctrica del mundo antes de 2030 y 34.2% antes de 2050.

En el nivel de penetración denominado “avanzado” se requiere que la producción eléctrica vía eólica cuente con respaldo, almacenamiento o bien se utilice igualmente en la obtención de otras Energías renovables.

A nivel global destaca un alto crecimiento en el consumo final de energía, impulsado principalmente por India y China que representan más del 50% del crecimiento al 2030. El crecimiento mundial de consumo de energía está impulsado principalmente por los países que no son parte de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), quienes representan más del 90% del incremento de uso de energía al 2030 e incrementarán su participación en la demanda mundial de energía de 52% a 63%. En contraste, se estima que el consumo de energía en Estados Unidos crecerá sólo 0.1% y en Japón caerá 0.2% por año.

El sector eólico va a continuar aumentando su mercado por la implantación de nuevos parques para lograr los objetivos previstos.

### **1.4.1 Caso México**

El potencial en México es muy vasto, inclusive el gobierno federal estima llegar hasta más de 70 MW.

En México se han identificado diferentes zonas con potencial para la explotación eólica, aparte de las mencionadas de Oaxaca y Baja California, en los estados de Zacatecas, Hidalgo, Veracruz, Tamaulipas, Querétaro y en la Península de Yucatán, entre otros.

El potencial eólico del país está siendo evaluado de manera exhaustiva. Se han realizado, sin embargo, evaluaciones del recurso en regiones específicas. En particular el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos ha coordinado la realización de mapas eólicos para Oaxaca, Baja California Sur, las costas de Yucatán y de Quintana Roo y las franjas fronterizas de los estados de Baja California, Sonora y Chihuahua. Estos mapas se han realizado conjuntando información de estaciones meteorológicas con técnicas de prospección remota.

Como parte del proyecto “Plan de acción para eliminar barreras para el desarrollo de la generación eoloelectrónica en México”, el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) ha instalado anemómetros en diversos puntos del país lo cual ha permitido contar recientemente con un mapa de prospección eólico nacional. Figura 1.10.

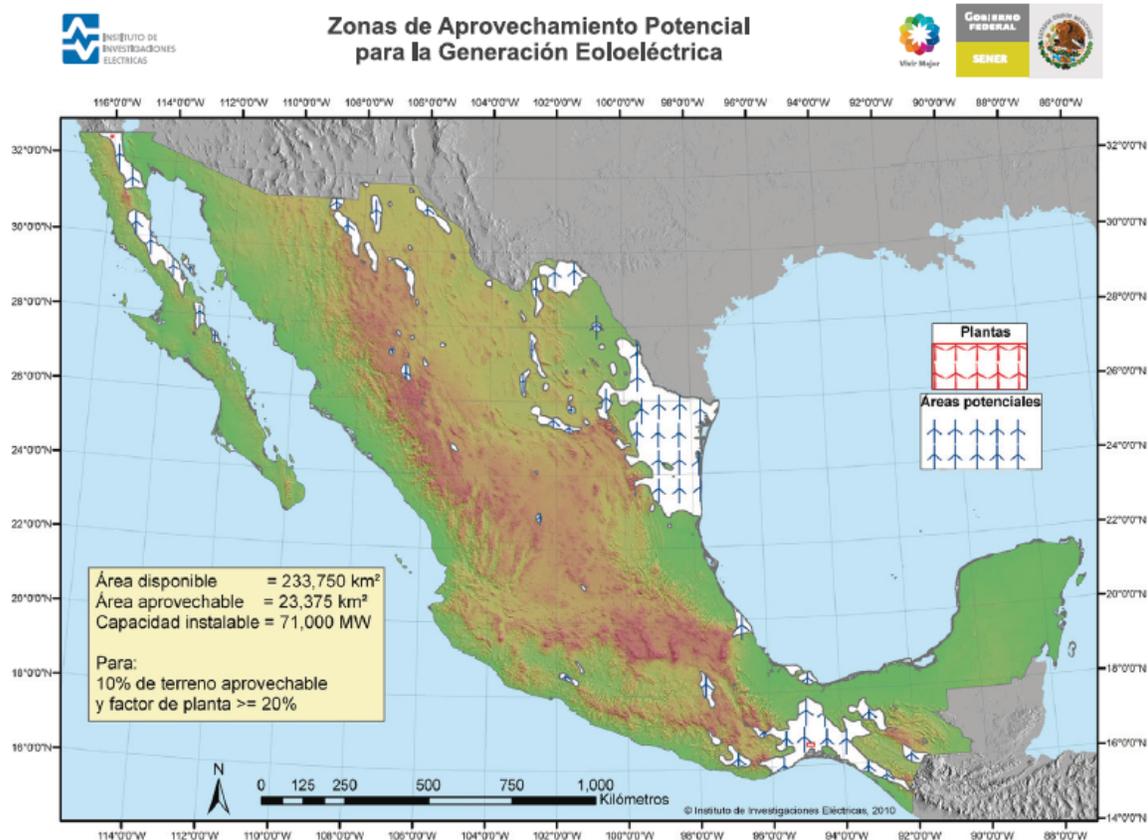


Figura 1.10. Zonas de aprovechamiento eólico Nacional.  
Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas.

No obstante, el desarrollo comercial de la generación eoloeléctrica en México está iniciando con varias desventajas importantes para el País que limitan, en gran medida, que los mayores beneficios de dicha actividad se queden en el País. Existen grandes retos en el diseño, desarrollo e integración de sistemas. En buena medida una política agresiva para la implementación de las grandes centrales eólicas en México se debe llevar a cabo. De tal manera es necesario consolidar el marco legal y regulatorio en la generación eólica y proporcionar los incentivos fiscales y económicos para el desarrollo de un mercado nacional.

Para alcanzar metas más ambiciosas en la participación de la energía eólica en el país se hacen necesarias las siguientes acciones:

- Evaluar el recurso eólico que se estima es abundante en el país, superior al de varias naciones ahora líderes en generación eoloeléctrica.
- Estructurar una base de datos del recurso eólico de alta confiabilidad (variables atmosféricas de micro y macro escala), con objetivo de planificar, modelar y hacer la estimación técnico-económica con bases realistas, así como para dar seguridad y atraer las inversiones necesarias.

- Desarrollar modelos prospectivos de la variabilidad del recurso, a diferentes plazos (corto: días-semanas y largo: semanas-meses) y con alta certidumbre, así como para instalaciones en terrenos complejos.
- Fomentar la capacidad industrial potencial, a fin de fabricar aerogeneradores, sus subsistemas y varios de sus componentes en el país, con la consecuente creación de empleos.
- Coordinar bajo objetivos específicos y comunes, los recursos humanos abocados a las diversas especialidades de esta fuente, tanto en investigación y desarrollo tecnológico, como los industriales.
- Promover el desarrollo tecnológico nacional de aerogeneradores, incluyendo sus subsistemas aerodinámico, mecánico, eléctrico y de control.
- Aprovechar el interés de inversionistas e industriales en conformar una industria eoloeléctrica propia, lo que además se conjuga con la tendencia a la escasez de aerogeneradores en el ámbito internacional, en los próximos 10-15 años.

Actualmente la AMDEE indica que en México, con los proyectos construidos al 2010 y los que se están proyectando y construyendo se tiene una potencia por alcanzar de 4,728.7 MW. Figura 1.11.

Proyectos Eólicos en Operación						
Proyecto	Ubicación	Esquema	Desarrollador	Turbinas	FOC	MW
La Venta	Oaxaca	OPF	CFE	Vestas	1994	1.6
La Venta II	Oaxaca	OPF	CFE	Gamesa	2006	83.3
Parques Ecológicos de México	Oaxaca	Autoabast.	Iberdrola	Gamesa	2009	79.9
Eurus, 1st Phase	Oaxaca	Autoabast.	Cemex/Acciona	Acciona	2009	37.5
Eurus 2nd Phase	Oaxaca	Autoabast.	Cemex/Acciona	Acciona	2010	212.5
Gobierno Baja California	Baja California	OPF	GBC/Turbo Power Services	Gamesa	2010	10
Bii Nee Stipa I	Oaxaca	Autoabast.	Cisa-Gamesa	Gamesa	2010	26.35
La Mata - La Ventosa	Oaxaca	Autoabast.	Electrica del Valle de México (EDF-EN)	Clipper	2010	67.5
						518.63
Proyectos Eólicos Bajo Construcción						
Proyecto	Ubicación	Esquema	Desarrollador	Turbinas	FOC	MW
Fuerza Eólica del Istmo	Oaxaca	Autoabast.	Peñoles		2011	50
La Venta III	Oaxaca	PIE	CFE/Iberdrola		2011	101
Oaxaca II, III y IV	Oaxaca	PIE	CFE/Acciona	Acciona	2011-2012	304.2
Oaxaca I	Oaxaca	PIE	CFE/EYRA	Vestas	2010	101
Los Vergeles	Tamaulipas	Autoabast.	GSEER	Siemens	2010-2011	161
						717.2
Proyectos Eólicos en Desarrollo						
Proyecto	Ubicación	Esquema	Desarrollador	Turbinas	FOC	MW
Vientos del Istmo	Oaxaca	Autoabast.	Preneal	Por Definir	2011-2014	395.9
Fuerza Eólica del Istmo	Oaxaca	Autoabast.	Peñoles	Clipper	2011-2012	30
Bii Hioxio	Oaxaca	Autoabast.	Unión Fenosa	Por Definir	2011-2014	227.5
Bii Stinú	Oaxaca	Autoabast.	Eoliatec del Istmo (Eolia)	Por Definir	2011-2013	164
Santo Domingo	Oaxaca	Autoabast.	Eoliatec del Pacifico (Eolia)	Por Definir	2011-2014	160
Bii Nee Stipa	Oaxaca	Autoabast.	Cisa-Gamesa	Gamesa	2011-2014	288
Desarrollo Eólicos Mexicanos	Oaxaca	Autoabast.	Renovalia	Por Definir	2011-2014	227.5
Union Fenosa	Baja California	Exportación	Gas Natural/Union Fenosa	Por Definir	2011-2014	400
Sempre	Baja California	Exportación	Sempre	Por Definir	2011-2014	1200
Fuerza Eólica	Baja California	Exportación	Fuerza Eólica	Por Definir	2011-2014	400
OPF: Obra Pública Financiada						3,492.9
PIE: Productor Independiente de Energía						
FOC: Fecha de Operación Comercial						
<b>Total MW</b>						<b>4,728.7</b>

Figura 1.11. Proyectos eólicos en operación, bajo construcción y en desarrollo en México.  
Fuente: Asociación Mexicana de Energía eólica AMDEE.

## 1.5 Bases de la Energía Eólica.

Todas las fuentes de energía renovables, excepto quizás la geotérmica, e incluso la energía de los combustibles fósiles, provienen, en último término, del sol. El sol irradia 174,423,000,000,000 KWh de energía por hora hacia la Tierra.

En otras palabras, la Tierra recibe  $1.74 \times 10^{17}$  Watts de potencia.

Alrededor de un 1% a un 2% por ciento de la energía proveniente del sol es convertida en energía eólica.

Recordemos que la energía eólica es toda aquella que se obtiene del viento y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas.

Hoy en día, para captar la energía que transporta el viento y transformarla en energía eléctrica, se usan máquinas eólicas llamadas aerogeneradores. Lo habitual, en esta época, es que sólo tengan tres palas, de forma alargada y aerodinámica y que se sitúen sobre una torre, ya que la velocidad del viento aumenta con la altura. Con su giro, las palas mueven un generador eléctrico contenido en una góndola o nacelle, produciendo así energía eléctrica.

Hay aerogeneradores tan grandes que cada uno de ellos puede proporcionar energía eléctrica a mil familias. Frecuentemente, los aerogeneradores se agrupan en los llamados parques eólicos, para verter a la red eléctrica toda la energía producida por este conjunto de molinos. De esta manera se

consigue producir en un espacio relativamente pequeño de terreno gran cantidad de electricidad limpia.

Pero no siempre la energía eólica se vierte a la red eléctrica. En otros casos se utilizan aerogeneradores de menor tamaño para generar la electricidad que necesita una vivienda aislada o una pequeña embarcación, para hacer funcionar electrodomésticos y otros aparatos eléctricos o para extraer agua del subsuelo y regar con ella campos de cultivo.

Los parques eólicos se suelen construir en espacios abiertos, tanto en superficies terrestres como en el mar. Es más común encontrarlos en tierra, aunque parece ser que en los últimos años se ha popularizado lo de construirlos en el mar, supuestamente porque el suelo del mar no será tan caro como el de los terrenos y por supuesto porque hay mejores condiciones de viento en mar.

Antes de construir un parque eólico, se tienen muy en cuenta diferentes características del ambiente y del suelo existente. Se suele tomar un plazo de tiempo importante para tomar las medidas necesarias que hacen que sea propicio construir un parque eólico, tomando en cuenta sobre todo la dirección y potencia del viento.

La cantidad de energía, mecánica o eléctrica, que pueda generar un aerogenerador o turbina eólica depende mucho de las características del viento vigentes en el sitio de instalación. De hecho, la producción puede variar en un factor de dos a tres entre un sitio regular y uno excelente, de manera que la rentabilidad de un proyecto depende directamente del recurso eólico local. Por esta razón, es necesario un estudio técnico detallado de las características del viento en un sitio específico antes de avanzar en un proyecto de cualquier magnitud.

El análisis requerido depende directamente de la aplicación y la escala prevista; naturalmente, un proyecto a gran escala conectado a la red requiere de un estudio más profundo que un pequeño sistema aislado. El método más exacto (aunque más costoso) para conocer el potencial de producción de energía del viento, es la instalación de uno o más torres de medición de viento con uno o varios anemómetros, los cuales, periódicamente, generan datos de la velocidad y la dirección del viento en forma electrónica.

Estos datos se analizan detalladamente en relación con las características del terreno y las mediciones de estaciones meteorológicas cercanas, con el fin de estimar la producción potencial de energía a largo plazo y durante diferentes épocas del año. La información meteorológica de sitios aledaños puede apoyar el análisis del potencial eólico; sin embargo, este tipo de información generalmente tiende a subestimar el recurso eólico.

Hay tres componentes del viento que determinan la potencia disponible de un sistema de conversión de energía eólica:

**Velocidad del viento:** Es un parámetro crítico porque la potencia varía según el cubo de la velocidad del viento. Además, la velocidad varía directamente con la altitud sobre el suelo, por la fricción causada por montañas, árboles, edificios y otros objetos. Las turbinas eólicas requieren una velocidad de viento mínima para empezar a generar energía: para pequeñas turbinas, este es, aproximadamente, de 3.5 metros por segundo (m/s); para turbinas grandes de 3 a 6 m/s, como mínimo.

**Características del viento (turbulencia):** Mientras que los modelos de viento globales describen los movimientos del aire y determinan, a grandes rasgos, el recurso del viento en una región; rasgos topográficos locales, que incluyen formaciones geográficas, flora y estructuras artificiales, pueden mostrar la diferencia entre un recurso eólico utilizable y uno que no lo es.

**Densidad del aire:** Temperaturas bajas producen una densidad del aire más alta. Mayor densidad significa más fluidez de las moléculas en un volumen de aire dado y más fluidez de las moléculas encima de una pala de la turbina produce un rendimiento más alto de la potencia, para una velocidad del viento dada.

Un aerogenerador obtiene su potencia de entrada convirtiendo la fuerza cinética del viento en un par (fuerza de giro) actuando sobre las palas del rotor. La cantidad de energía transferida al rotor por el viento depende de la densidad del aire, del área de barrido del rotor y de la velocidad del viento.

### **Fórmula de la Potencia del viento:**

La potencia del viento que pasa perpendicularmente a través de un área circular es:

$$P_v = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

Donde

$P_v$  = Potencia extraída del viento, medida en W (Watts).

$\rho$  = Densidad del aire seco = 1.225, medida en kg/m<sup>3</sup> (kilogramos por metro cúbico, a la presión atmosférica promedio, a nivel del mar y a 15° C).

$V$  = Velocidad del viento medida en m/s (metros por segundo).

$A$  = Área en m<sup>2</sup>. Recordemos que el área de un región circular es  $\pi * r^2$

$r$  = radio de la longitud de las aspas del aerogenerador

Podemos observar que la potencia del viento es una función del cubo de la velocidad, es decir que si la velocidad se duplica, la potencia es ocho veces más ( $2 \times 2 \times 2 = 8$ ).

Igualmente, si escribimos el área como función del diámetro  $A = \pi D^2 \div 4$ , podemos ver que la potencia es proporcional al cuadrado del diámetro que cubren las aspas del aerogenerador. Al incrementar el diámetro al doble, la potencia es cuatro veces más.

La velocidad del viento y el diámetro del área barrida del aerogenerador (o área del rotor) son los dos parámetros que se maneja en la producción de energía de un aerogenerador.

Si toda la energía cinética del viento se convierte en movimiento del rotor, el viento se pararía. Y, en este caso, ¿el aire a donde se va? Sabemos que esto no es posible, así es que debe haber un límite a la cantidad de energía que puede entregarse al rotor. Esto viene determinado por la Ley de Betz.

La Ley de Betz se puede entender de la siguiente manera: Si en el camino del viento a velocidad  $V_1$  que llega a un aerogenerador de diámetro  $D$ , se produce un frenado del viento reduciendo su velocidad a  $V_2$ , ya que el volumen se debe mantener constante a ambos lados del rotor. Figura 1.12.

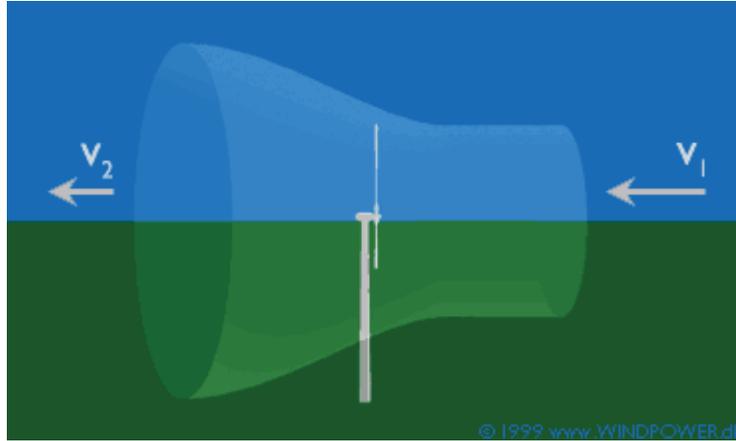


Figura 1.12. Tubo de corriente para ley de Betz.  
Fuente: [www.windpower.dk](http://www.windpower.dk)

El flujo de viento toma una forma de botella o tubo de corriente con la estela o parte más ancha atrás del rotor.

Con ello se define un Coeficiente de Potencia ( $C_p$ ) que es una función de  $(V_2/V_1)$ . Cuando  $C_p = 1/3$  la relación  $P_t/P_v$  es máxima y podemos concluir que la máxima potencia que el viento puede entregar a un aerogenerador de rotor giratorio es  $16/27$  o  $0.5926$  de la potencia del viento. Esto se conoce como el Límite de Betz y teóricamente indica que puede obtenerse, como máximo, el 59% de la energía que llega al rotor.

La ecuación de la potencia del aerogenerador es:

$$P_t = C_p * P_v = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

Valores de  $C_p$  para aerogeneradores comerciales están en el orden de 0.4. Esto significa que hoy en día, un aerogenerador aprovecha cerca del 40% de la energía almacenada en el viento. Un porcentaje muy alto, pues supone extraer la gran mayoría una vez aplicado el Límite de Betz.

### Densidad del Aire, Presión y Temperatura.

La fuerza que toma un aerogenerador proviene del aire: mientras más pesado el aire más fuerza se podrá entregar. El aire cambia de densidad de acuerdo con la temperatura y la presión según la relación:

$$\rho = P / RT$$

Donde:

$\rho$  = densidad del aire en  $\text{kg/m}^3$

$R$  = constante del gas =  $8,31 [\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}] = 287 [\text{L K}^{-1} \text{kg}^{-1}]$

$T$  = Temperatura absoluta en K

$P$  = Presión en Pascal [Pa]

En zonas cálidas el aire es más caliente pero la presión es mayor. Lo contrario ocurre en zonas altas. La presión atmosférica a nivel del mar es  $1,013.25$  hecto pascales [hPa].

La densidad ( $\rho$ ) y la temperatura cambian con la altura sobre el nivel del mar,  $Hm$ , de acuerdo a las relaciones:

$$\rho = \rho_0 - 1,194 \cdot 10^{-4} * Hm \quad [kg \ m^3]$$

$$T = 15.5 - (19.83Hm / 3,043) \quad [^{\circ}C]$$

Donde:

$Hm$  = altura sobre el nivel del mar en metros

$\rho_0$  = densidad del aire a nivel del mar = 1,225 kg/m<sup>3</sup>

$\rho$  = densidad del aire a la altura  $Hm$  en kg/m<sup>3</sup>

$T$  = temperatura a la altura  $Hm$  en  $^{\circ}C$ .

La energía cinética de un cuerpo en movimiento es proporcional a su masa (o peso). Así, la energía cinética del viento depende de la densidad del aire, es decir, de su masa por unidad de volumen.

En otras palabras, cuanto "más pesado" sea el aire más energía recibirá la turbina.

A presión atmosférica normal y a 15 $^{\circ}C$  el aire pesa unos 1,225 kilogramos por metro cúbico, aunque la densidad disminuye ligeramente con el aumento de la humedad.

Además, el aire es más denso cuando hace frío que cuando hace calor. A grandes altitudes (en las montañas) la presión del aire es más baja y el aire es menos denso.

### Rugosidad del Terreno

Otro aspecto de interés en la implantación de un parque eólico o de la instalación de un aerogenerador es el del cambio de la velocidad del viento con la altura sobre el terreno. La Figura 1.13 muestra el perfil vertical del viento.

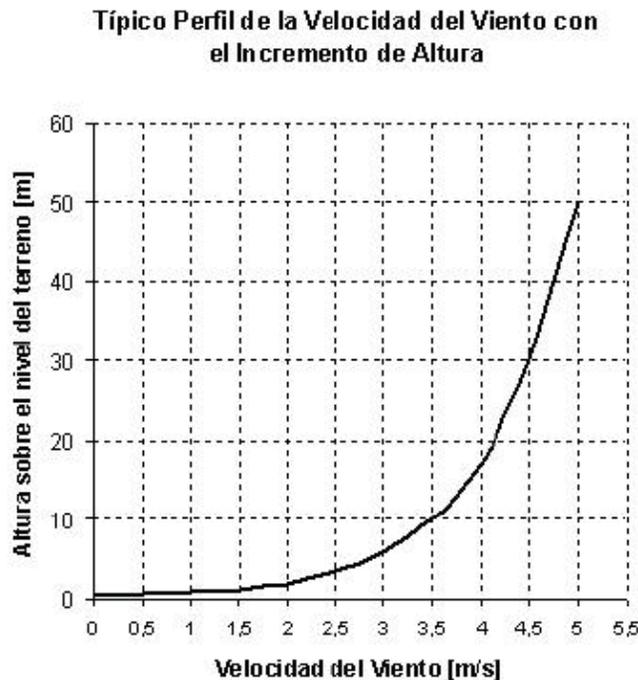


Figura 1.13. Variación de la velocidad del viento con la altura

Debido a la rugosidad del terreno y a los árboles u obstáculos, el viento forma turbulencias mientras más cerca está del suelo, por lo que se debe instalar lo más alto posible y buscar un flujo laminar del viento. Por lo general, en sistemas pequeños de pocos KW la altura debe ser entre 10 y 20 metros. Para sistemas grandes la altura puede llegar a los 80 metros sobre el nivel del terreno o más. Esto se conoce como cizallamiento del viento. La corrección de la velocidad del viento por la diferencia de altura entre la medida y la del eje del aerogenerador y el factor de longitud de rugosidad viene dada por la relación:

$$V_r = V_m(H_r / H_m)^\alpha$$

Donde:

$V_r$  = Velocidad del viento corregida a la altura del eje del rotor en m/s

$V_m$  = Velocidad de viento medida a la altura de la torre de medición en m/s

$H_r$  = Altura del eje del rotor en metros

$H_m$  = Altura de la medición en metros

$\alpha$  = Longitud de rugosidad del terreno en metros

A continuación se indican valores de longitud de rugosidad, asociados con la clase de rugosidad, el índice de energía aprovechable y el tipo de terreno o paisaje.

Clase de Rugosidad	Longitud de Rugosidad [m]	Índice de Energía	Tipo de Paisaje
0	0,0002	100	Superficie del agua.
0,5	0,0024	73	Terreno plano completamente abierto con una superficie lisa, por ejemplo, pistas de hormigón en los aeropuertos, césped cortado, etc.
1	0,03	52	Área agrícola abierta sin cercados ni setos y con edificios muy dispersos. Solo colinas suavemente redondeadas.
1,5	0,055	45	Terreno agrícola con algunas casas y setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 1250 m.
2	0,1	39	Terreno agrícola con algunas casas y setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 500 m.
2,5	0,2	31	Terreno agrícola con muchas casas, arbustos y plantas, o setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 250 m.
3	0,4	24	Pueblos, ciudades pequeñas, terreno agrícola, con muchos o altos setos resguardantes, bosques y terreno accidentado y muy desigual.
3,5	0,8	18	Ciudades más grandes con edificios altos.
4	1,6	13	Ciudades muy grandes con edificios altos y rascacielos.

Figura 1.14. Clases y longitudes de rugosidad del terreno.

## 1.6 Que es el viento.

Pero, ¿cuál es el origen del viento? La respuesta está en que la atmósfera de la Tierra absorbe la radiación solar de forma irregular debido a diversos factores, como son: diferencias entre la superficie marina y la continental, elevación del suelo, alternancia del día y la noche, nubosidad, etc. y esa irregularidad hace que haya masas de aire con diferentes temperaturas y, en consecuencia, presiones. A su vez, las diferentes presiones provocan que el aire tienda a desplazarse desde las zonas de alta presión hacia las de baja presión, generando el movimiento del aire. Es decir, el viento.

Así pues, se considera viento a toda masa de aire en movimiento, que surge como consecuencia del desigual calentamiento de la superficie terrestre, siendo la fuente de energía eólica, o mejor dicho, la energía mecánica que en forma de energía cinética transporta el aire en movimiento.

El aire caliente es más ligero que el aire frío, por lo que subirá hasta alcanzar una altura aproximada de 10 km y se extenderá hacia el norte y hacia el sur. Si el globo no rotase, el aire simplemente llegaría al Polo Norte y al Polo Sur, para posteriormente descender y volver al ecuador.

### La fuerza de Coriolis

Debido a la rotación del globo, cualquier movimiento en el hemisferio norte es desviado hacia la derecha, si se mira desde nuestra posición en el suelo (en el hemisferio sur es desviado hacia la izquierda). Esta aparente fuerza de curvatura es conocida como fuerza de Coriolis (debido al matemático francés Gustave Gaspard Coriolis (1792-1843)).

Puede no resultarle obvio que una partícula moviéndose en el hemisferio norte sea desviada hacia la derecha.

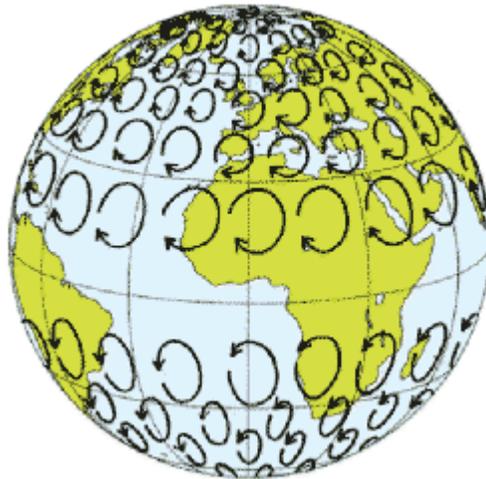


Figura 1.15. Fuerzas de Coriolis.

La fuerza de Coriolis es un fenómeno visible. Las vías del ferrocarril se desgastan más rápidamente de un lado que del otro. Las cuencas de los ríos están excavadas más profundamente en una cara que en la otra (de cual se trate depende en qué hemisferio nos encontremos: en el hemisferio norte las partículas sueltas son desviadas hacia la derecha).

En el hemisferio norte el viento tiende a girar en el sentido contrario al de las agujas del reloj (visto desde arriba) cuando se acerca a un área de bajas presiones. En el hemisferio sur el viento gira en el sentido de las agujas del reloj alrededor de áreas de bajas presiones.

Una vez puesto en movimiento el aire, como nos encontramos sobre una esfera (la Tierra), se produce un desvío inercial del viento hacia la izquierda en el Hemisferio Sur y hacia la derecha en el Hemisferio Norte.

### Distribución de Weibull

Para el análisis de la energía eólica es muy importante poder describir la variación de las velocidades del viento. Cuando se planifica montar una turbina se necesita la información para optimizar el diseño de los aerogeneradores, así como para minimizar los costos de generación.

Si se mide las velocidades del viento a lo largo de un año se observará que en la mayoría de áreas los fuertes vendavales son raros, mientras que los vientos frescos y moderados son bastante comunes.

La variación del viento en un emplazamiento típico suele describirse utilizando la llamada distribución de Weibull.

Si graficamos las mediciones de viento durante un día o un mes con un intervalo de 10 minutos se obtiene un gráfico como el que se muestra en la Figura 1.16.

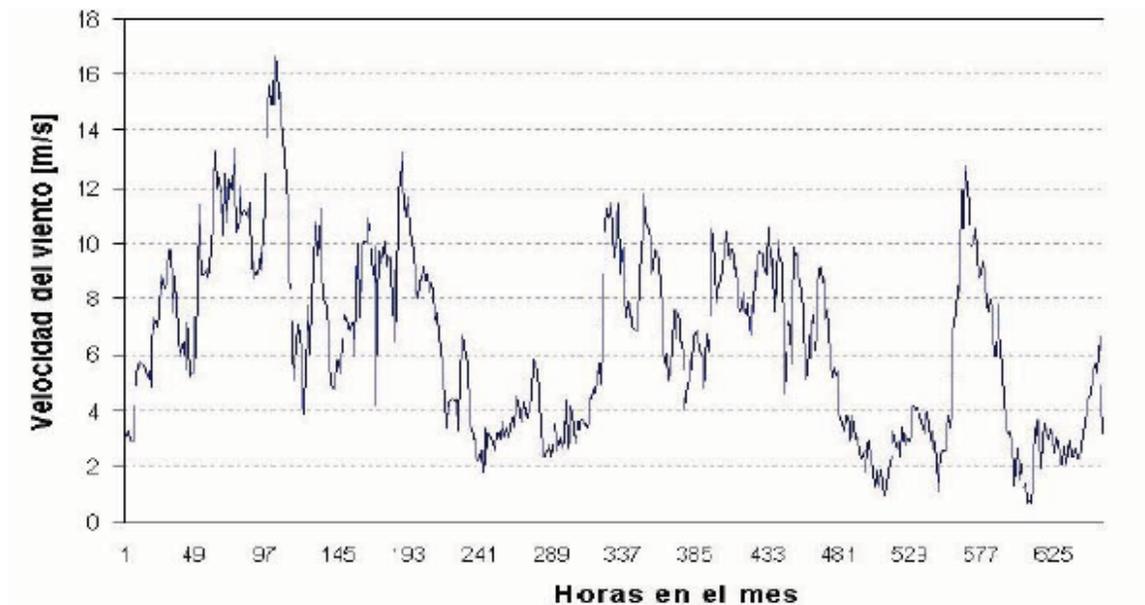


Figura 1.16. Mediciones de viento mensual.

Contando el número de veces en que la velocidad durante este período está entre 0 y 0.5 m/s, entre 0.5 y 1 m/s y así sucesivamente en rangos de 0.5 hasta llegar a la velocidad máxima, obtenemos una curva de distribución de velocidades como se muestra en figura 1.17, donde el eje vertical indica el porcentaje y el eje horizontal los rangos de velocidades o “bins”. La suma de los porcentajes de cada rango nos da el 100% (de las mediciones).

Hemos obtenido una curva estadística que se aproxima a la curva de distribución de probabilidades de Weibull.

En base a esta curva se calcula posteriormente la energía que puede producir durante un período, que es generalmente de un año, el aerogenerador.

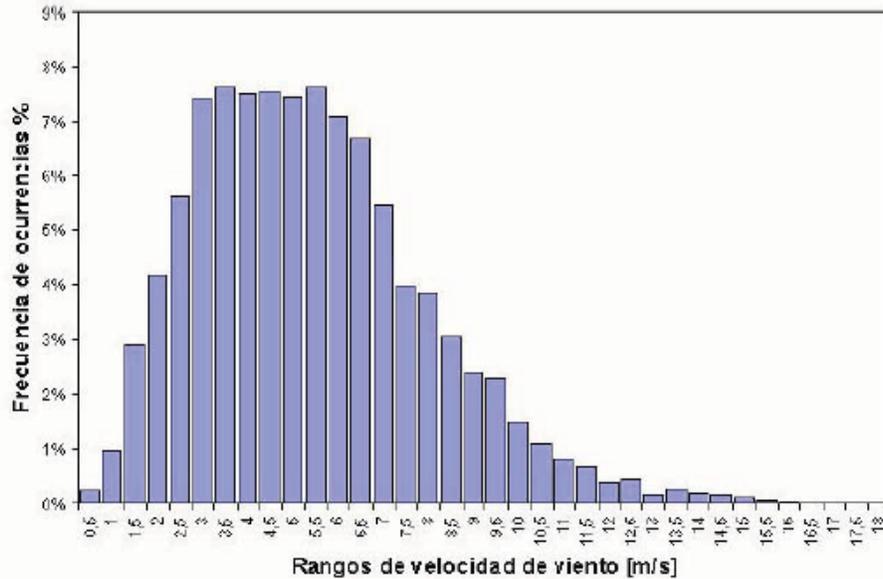


Figura 1.17. Curva de distribución de probabilidades de Weibull.

La distribución de Weibull se define por dos parámetros, el factor de escala  $c$  (o  $A$  en algunos textos) que nos da el valor de la velocidad media y el factor de forma  $k$  que nos da una idea de cuán angosta o sesgada hacia la izquierda (hacia cero) es la curva y puede variar entre 1 y 3. Si  $k=3$  la curva es una distribución Normal de probabilidades. Cuando  $k=2$  se conoce también como **Distribución de Rayleigh**. La Figura 1.18 muestra las curvas de distribución de probabilidad de Weibull para tres sitios, donde se puede ver el comportamiento diferente del viento y los parámetros de la distribución de Weibull para cada uno.

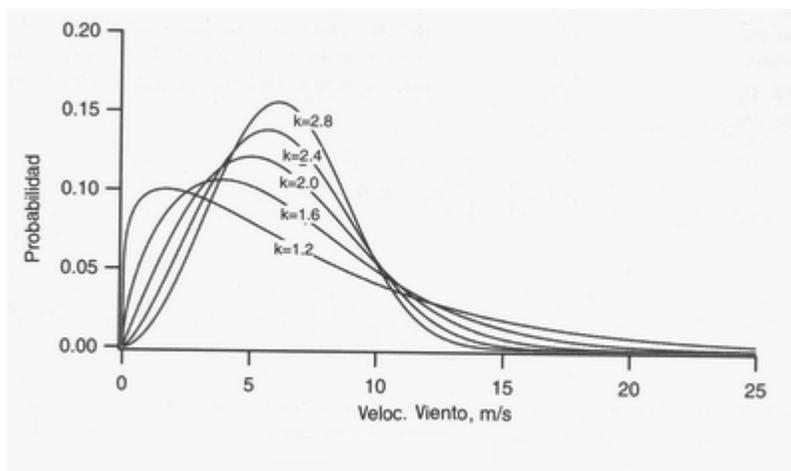


Figura 1.18. Distribución de probabilidades de Weibull.

Cuando hacemos un estudio del recurso viento en un sitio, obtenemos finalmente una distribución de Weibull característica de ese sitio. Eventualmente, si las condiciones del sitio son similares a otro se pueden tener distribuciones de Weibull similares, pero los valores cambian, por lo que se recomienda para grandes parques eólicos el estudio de cada sitio en particular.

La distribución estadística de Weibull de las velocidades del viento varía de un lugar a otro del globo, dependiendo de las condiciones climáticas locales, del paisaje y de su superficie. Por lo tanto, la distribución de Weibull puede variar tanto en la forma como en el valor medio.

### Velocidad y Clase del Viento

Cuando no se dispone de un anemómetro u otro equipo para medición del viento, se puede estimar preliminarmente la velocidad del viento utilizando la Escala de Beaufort, que es una convención sobre la fuerza del viento en el mar y que ha sido extendida para la tierra.

Esta escala de 1 a 12 se muestra en la Figura 1.19. Para aplicaciones de energía eólica en el Ecuador la escala máxima es 7.

TABLA II TABLA DE ESPECIFICACIONES PARA LA ESCALA BEAUFORT DE VIENTO.						
Número Beaufort	TÉRMINO DESCRIPTIVO	Velocidad del viento.				E SPECIFICACIONES
		m/seg	km/h	Millas por hora	Nudos	
0	Calma	0 a 0,2	1	1	0	Calma; el humo se eleva verticalmente.
1	Ventolina	0,3 a 1,5	1 a 5	1 a 3	1 a 3	La dirección del viento se revela por el movimiento del humo, pero no por la veleta.
2	Brisa suave	1,6 a 3,3	6 a 11	4 a 7	4 a 6	El viento se percibe en el rostro; las hojas se agitan; la veleta se mueve
3	Brisa leve	3,4 a 5,4	12 a 19	8 a 12	7 a 10	Hojas y ramitas agitadas constantemente; el viento despliega banderolas
4	Brisa moderada	5,5 a 7,9	20 a 28	13 a 18	11 a 16	El viento levanta polvo y hojitas de papel; ramitas agitadas.
5	Viento refrescante	8,0 a 10,7	29 a 38	19 a 24	17 a 21	Los arbustos con hojas se balancean; se forman alitas con cresta en las aguas interiores.
6	Viento fuerte	10,8 a 13,8	39 a 49	25 a 31	22 a 27	Las grandes ramas se agitan; los hilos telegráficos silban; el uso de paraguas se hace difícil.
7	Viento muy fuerte	13,9 a 17,1	50 a 61	32 a 38	28 a 33	Los árboles enteros se agitan; la marcha contra del viento es penosa.
8	Temporal	17,2 a 20,7	62 a 74	39 a 46	34 a 40	El viento rompe las ramas; es imposible la marcha contra el viento.
9	Temporal fuerte	20,8 a 24,4	75 a 88	47 a 54	41 a 47	El viento ocasiona ligeros daños en las viviendas (arranca cañerías, chimeneas, tejados).
10	Temporal muy fuerte	24,5 a 28,4	89 a 102	55 a 63	48 a 55	Raro en los continentes; árboles arrancados; importantes daños en las viviendas.
11	Tempestad	28,5 a 32,6	103 a 117	64 a 72	56 a 63	Observado muy raramente; acompañado de extensos destrozos.
12	Huracán	32,7 o más	118 o más	73 o más	64 o más	Estragos graves y extensos.

Figura 1.19. Escala de Beaufort del viento.

Otra escala similar es el Índice de Deformidad de Griggs–Putnam de la Figura 1.20 que considera la deformidad de un árbol de pino ante la presencia de viento.

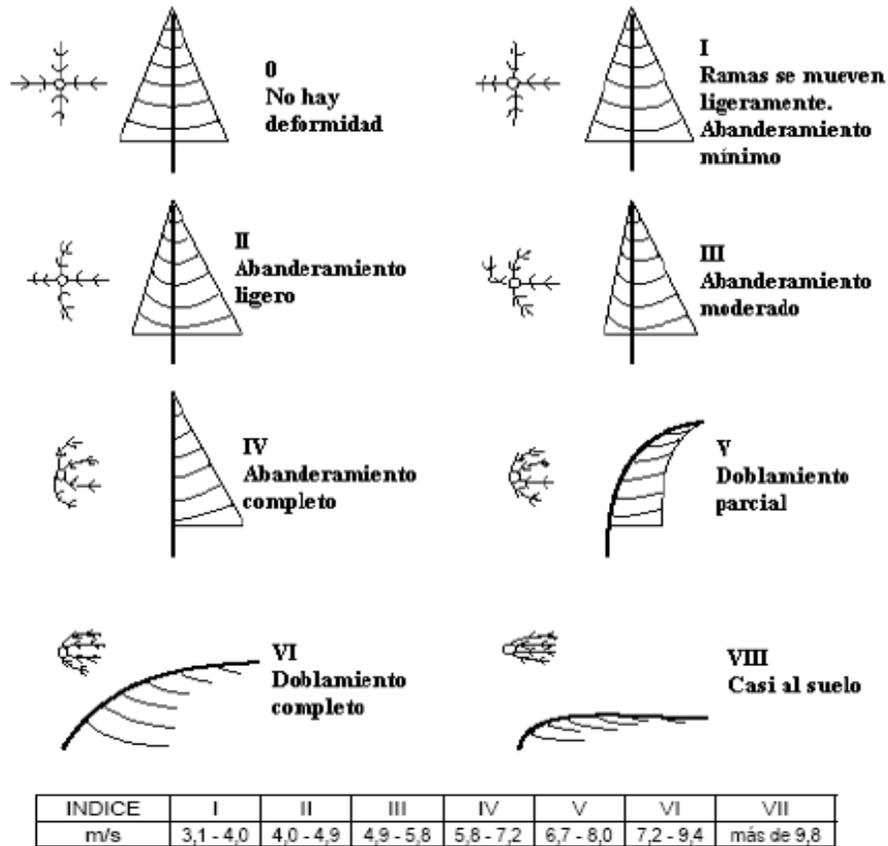


Figura 1.20. Índice de Deformidad de Griggs – Putnam del viento.

### 1.7 Nociones de meteorología.

Ya hemos hablado al respecto del Viento y de distintos factores que intervienen para obtener el mayor potencial de energía y que ésta sea mayormente utilizada, ahora expondremos algunos aspectos básicos de meteorología y su aplicación al desarrollo de proyectos eólicos.

La meteorología es el estudio de los fenómenos atmosféricos y de los mecanismos que producen el tiempo, orientados a su predicción. Del griego, meteoros (alto), logos (tratado).

Para estudiar la atmósfera nos valemos de las variables atmosféricas o fenómenos atmosféricos como son: temperatura del aire, presión, viento, humedad, tormentas, nieblas, ciclones o anticiclones etc., que caracterizan el estado del tiempo en un lugar específico y en un tiempo dado.

Los fenómenos atmosféricos o meteoros pueden ser:

- Aéreos, como el viento.
- Acuosos, como la lluvia, la nieve y el granizo
- Luminosos, como la aurora polar o el arco iris
- Eléctricos, como el rayo.

Sin embargo, la temperatura, la presión y la humedad son los factores climáticos fundamentales en el estudio y predicción del tiempo.

Resulta entonces de gran importancia el medir las características del viento y las meteorológicas a la altura a la que vaya a situarse el o los aerogeneradores y, cuando la zona sea grande o accidentada, simultáneamente, en varios puntos del emplazamiento. Y no vale sólo con una velocidad media, que no deja de ser un promedio de los vientos más rápidos y más lentos, y que no describe realmente la distribución estadística de la velocidad del viento. De hecho, puede llevar a sobreestimar o subestimar los recursos, pues puede ocurrir que vientos rápidos pero escasos, aporten mucha más energía que otros lentos muy abundantes, no hay que olvidar que la energía del viento aumenta con el cubo de la velocidad.

Las mediciones de las velocidades del viento se realizan normalmente usando anemómetros en los cuales el número de revoluciones por segundo se registran electrónicamente. La dirección del viento se comprueba mediante una veleta.

La torre de medición debe instalarse en un sitio abierto, libre de obstáculos y a una altura mínima de 10 m del suelo o sobre el sitio donde se instalará el aerogenerador; en la actualidad se utilizan torres de 80 mts.

En la Figura 1.21 se muestra una Torre metrológica tipo, que se utiliza para medición de los distintos factores meteorológicos. Está compuesta esencialmente por: la propia torre metálica, diversos anemómetros y veletas ubicados a varias altitudes, sensores de humedad, equipo para recopilar la información de los anemómetros – también llamado Data Logger -, una batería de 12 volts y un panel fotovoltaico.

### **El registrador de datos ('Data Logger')**

Los datos de las velocidades y direcciones de los vientos obtenidos por el o los anemómetros de la torre son recogidos en un chip electrónico en una pequeña computadora, denominado registrador de datos ('Data Logger'), que puede funcionar con batería durante un período de tiempo largo. En general, las velocidades del viento son medidas en intervalos de 10 minutos.

### **La rosa de los vientos**

El viento viene definido por dos parámetros esenciales que son: su dirección y su velocidad. La dirección del viento y su valoración a lo largo del tiempo o la distribución de velocidades del viento y la frecuencia de variación de las direcciones del viento, conducen a la elaboración de la llamada rosa de los vientos.

Los datos acumulados en los equipos Data Loggers, obtenidos de la medición de los parámetros del viento por un periodo determinado, son fundamentales para la realización de esta Rosa de Vientos.

Las rosas de los vientos varían de un lugar a otro. Son en realidad una especie de huella digital meteorológica.

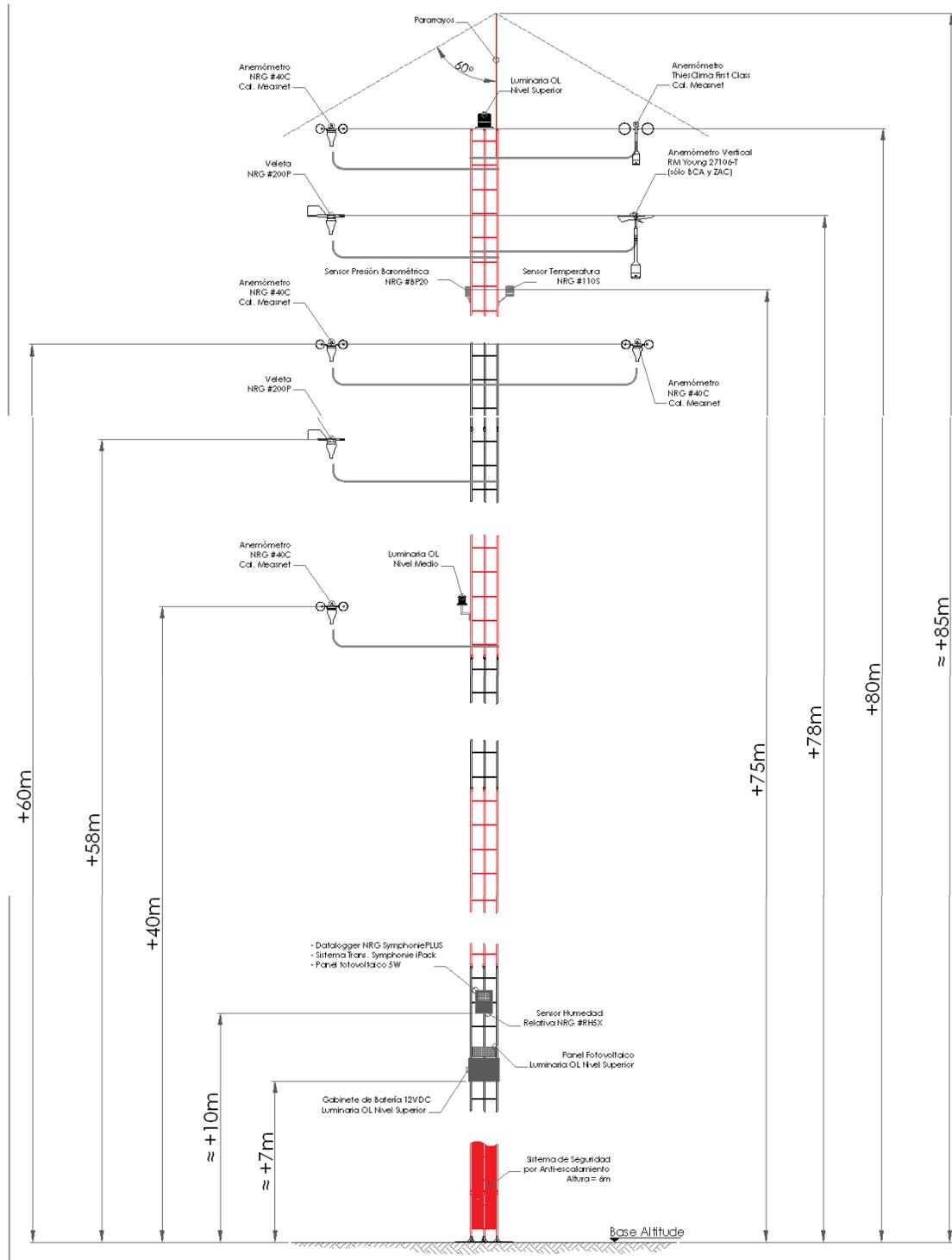
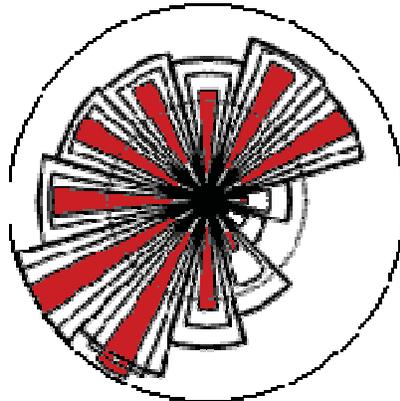


Figura 1.21. Torre de medición Meteorológica y sus distintos componentes.

En la Figura 1.22, se muestra la imagen de una la rosa de los vientos típica, la cual se ha dividido en doce sectores, abarcando cada uno 30° del horizonte, también puede dividirse en 8 ó 16 sectores, aunque 12 es el número de sectores que se utiliza como estándar.



© 1990 www.WINDPOWER.org

Figura 1.22. Rosa de vientos típica.

Fuente: [www.windpower.org](http://www.windpower.org)

El radio de las cuñas amplias (las exteriores) proporciona la frecuencia relativa de cada una de las doce direcciones del viento, es decir, qué tanto por ciento del tiempo el viento sopla desde esa dirección.

La segunda cuña da la misma información pero multiplicada por la media de la velocidad del viento en cada dirección particular. El resultado se normaliza sumando hasta el 100 por cien. Esto indica la contribución de cada sector a la velocidad media del viento en nuestra ubicación particular.

La cuña interior (en rojo) proporciona la misma información que la primera pero multiplicada por el cubo de la velocidad del viento en cada ubicación. El resultado se normaliza sumando hasta el 100%. Esto indica la contribución de cada sector en la energía contenida en el viento en nuestra ubicación particular.

Hay que recordar que el contenido energético del viento varía con el cubo de la velocidad del viento. Por tanto, las cuñas rojas son en realidad las más interesantes. Indican donde encontrar una mayor potencia que impulse nuestros aerogeneradores.

Un vistazo a la rosa de los vientos es extremadamente útil para situar aerogeneradores. Si una gran parte de la energía del viento viene de una dirección particular, lo que se deseará, cuando se coloque una turbina eólica en el paisaje, será tener la menor cantidad de obstáculos posibles en esa dirección, así como un terreno lo más liso posible.

## 1.8 Aerogeneradores

Una turbina eólica, turbina de viento o aerogenerador es una máquina capaz de transformar la energía cinética del viento, en cualquier otro tipo de energía, tanto mecánica como eléctrica.

## Clasificación de los aerogeneradores.

Dependiendo de la forma de giro del rotor, los aerogeneradores pueden clasificarse en dos tipos: De eje vertical y de eje horizontal.

Los aerogeneradores de eje vertical disponen verticalmente el eje de giro, mientras que las palas se mueven en un plano horizontal a su alrededor.



Figura 1.23. Aerogenerador de eje Vertical.

Los aerogeneradores de eje horizontal, con rotor tripala a barlovento, es hoy el modelo más utilizado para generar electricidad.

Los aerogeneradores horizontales tienen una mayor eficiencia energética y alcanzan mayores velocidades de rotación, por lo que necesitan caja de engranajes con menor relación de multiplicación de giro; además, debido a la construcción elevada sobre torre, aprovechan en mayor medida el aumento de la velocidad del viento con la altura, es, con diferencia, el más empleado en la actualidad.

Los modelos de eje horizontal puede subdividirse a su vez por el número de palas empleado, por la orientación respecto a la dirección dominante del viento y por el tipo de torre utilizada:

**Tripala.** Es el más empleado en la actualidad y consta de 3 palas colocadas formando  $120^\circ$  entre sí. Un mayor número de palas aumenta el peso y coste del aerogenerador, por lo que no se emplean diseños de mayor número de palas para fines generadores de energía de forma comercial, aunque sí para otros fines mecánicos, como por ejemplo el bombeo de agua.

**Bipala.** Ahorra el peso y coste de una de las palas respecto a los aerogeneradores tripala, pero necesitan mayores velocidades de giro para producir la misma energía que aquellos. Para evitar el efecto desestabilizador necesitan de un diseño mucho más complejo, con un rotor basculante y amortiguadores que eviten el choque de las palas contra la torre.

**Monopala:** Tienen, en mayor medida, los mismo inconvenientes que los bipala, necesitando de un contrapeso en el lado opuesto de la pala, por lo que el ahorro en peso no es tan significativo.



Figura 1.24. Aerogenerador de eje horizontal, tripala, barlovento.

#### **Aerogenerador con rotor a barlovento y sotavento.**

Normalmente, las turbinas tienen el rotor a barlovento, es decir, delante de la góndola, para que no haya ningún elemento del aerogenerador que pueda frenar el viento o crear turbulencias; en este caso se consigue un mayor aprovechamiento de la fuerza del viento, pero necesita un mecanismo de orientación hacia el viento.

Sin embargo, existen también turbinas con rotor a sotavento, en las que las palas se encuentran en la parte trasera de la góndola. Cuando el rotor se encuentra enfocado en sentido contrario a la dirección del viento dominante, la estructura de la torre y la góndola disminuye el aprovechamiento del viento por el rotor, en este caso el viento es el que orienta con su propia fuerza a la góndola, por lo que no son necesarios elementos de reorientación automatizada en la teoría, aunque si suelen utilizarse como elemento de seguridad. Las palas y la góndola son construidos con una mayor flexibilidad que en el caso de orientadas a barlovento.

#### **Según potencia suministrada.**

**Equipos de baja potencia:** Históricamente son los asociados a utilización mecánica como bombeo del agua, proporcionan potencias alrededor del rango de 50 KW, aunque pueden utilizarse varios equipos adyacentes para aumentar la potencia total suministrada. Hoy en día siguen utilizándose como fuente de energía para sistemas mecánicos o como suministro de energía en equipos aislados.

**Equipos de media potencia:** Son los que se encuentran en el rango de producción de energía de 150 KW. Son utilizados de forma similar a los equipos de baja potencia pero para mayores requerimientos energéticos. No suelen estar conectados a baterías de almacenamiento, por lo que se utilizan conectados a red o junto con sistemas de respaldo.

**Equipos de alta potencia:** Son los utilizados para producción de energía de forma comercial, aparecen conectados a red y en grupos conformando centrales eolieléctricas, ya sea en tierra

(onshore) como en el mar (offshore). El diseño elegido mayoritariamente para estos equipos son los aerogeneradores de eje horizontal tripala, orientados a barlovento y con torre tubular.

### Componentes de un aerogenerador

Al observar un aerogenerador, lo que vemos son principalmente tres partes esenciales: la torre, la góndola y el rotor, cada uno de ellos puede incluir uno o varios elementos más y esta soportado en su cimentación:



Figura 1.25. Secciones esenciales de un Aerogenerador moderno para generar electricidad.

#### - La torre.

Es la parte que soporta la góndola y el rotor. Normalmente suelen ser de longitud elevada, ya que la velocidad del viento es mayor cuanto más lejos estamos del nivel del suelo. Pueden ser tubulares o de celosía.

Las Torres tubulares, consisten en grandes tubos de acero de forma tubular o cónica que ofrecen en su interior espacio para los equipos de suelo, son más seguras para el personal de mantenimiento, ya que disponen de una escalera interior que llega hasta la parte superior de la turbina y acceso a resguardo hacia la góndola. Necesitan de una instalación más laboriosa y cara, pero ofrecen una mayor resistencia y menos mantenimiento necesario que las torres de celosía. Son las más empleadas en equipos de generación de energía.

Las Torres de celosía son las construidas mediante perfiles de acero unidos mediante tornillería, aunque son más inseguras y tienen un coste mucho menor.

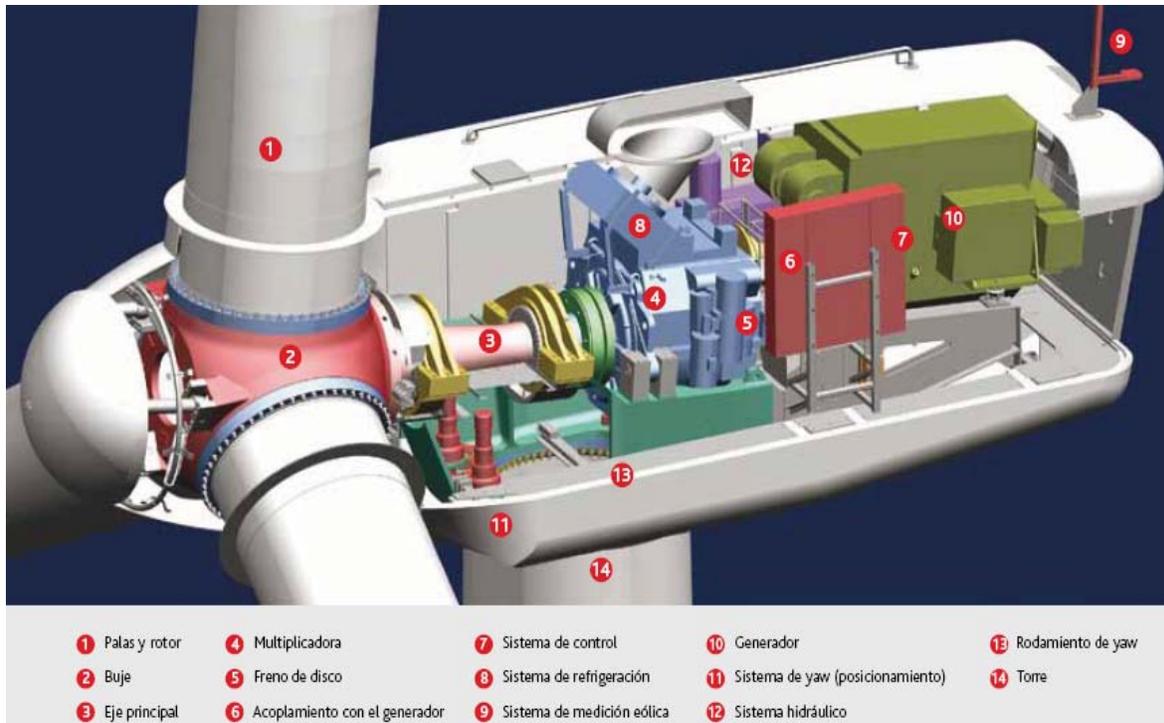


Figura 1.26. Componentes de un Aerogenerador.

### - La góndola o nacelle.

La góndola o nacelle es el habitáculo que alberga los componentes más importantes de un aerogenerador como el multiplicador, el generador eléctrico así como toda la mecánica y control del aerogenerador, su tamaño es tal que los operadores de mantenimiento pueden estar de pie dentro de ella y recorrerla de un lado a otro para la perfecta manipulación y reparación de la maquinaria. Se puede acceder a ella desde la torre de la turbina.

Además, en su exterior cuentan con un anemómetro y una veleta que facilitan información continua a todo el sistema para su control.

Dentro de ella podemos encontrar los siguientes elementos:

#### **El multiplicador.**

Con el eje de baja velocidad a su izquierda y el de alta velocidad a su derecha, el multiplicador permite que el segundo gire 50 veces más rápido que el primero. Es decir es la encargada de convertir la baja velocidad de giro de las palas (unas 6 a 24 vueltas por minuto – rpm) en alta velocidad de giro, en torno a las 1,500 rpm para adecuarla a la velocidad de trabajo del generador.

#### **El eje de baja velocidad o eje principal.**

Se trata de un eje que conecta el buje del rotor al multiplicador. Por dentro del eje encontramos unos conductos del sistema hidráulico usados para los frenos aerodinámicos.

### **Sistema de frenado**

El sistema de frenado es utilizado para bloquear el giro del rotor cuando se están llevando a cabo operaciones de mantenimiento o reparación del sistema.

### **El eje de alta velocidad.**

Si gira con la velocidad adecuada, este eje es el que permite que el generador eléctrico funcione. Dicha velocidad equivale aproximadamente a 1,500 revoluciones por minuto (rpm). Además, lleva acoplado, por si falla el freno aerodinámico, un freno de disco mecánico de emergencia.

### **El generador eléctrico.**

Se considera un generador eléctrico a todo aquél dispositivo que pueda mantener una diferencia de potencial eléctrico entre sus bornes (polos o terminales). Gracias a la acción de un campo magnético, un generador consigue su objetivo, transformar energía mecánica en eléctrica. En los aerogeneradores, el generador suele ser asíncrono o de inducción. Aquí se convierte la energía de movimiento rotatorio en energía eléctrica. El voltaje común en los aerogeneradores modernos es de 690 Volts.

### **La unidad de refrigeración.**

El sistema de refrigeración es el elemento indispensable para evitar las altas temperaturas en el interior de la góndola y disminuir las condiciones extremas de sus componentes. Consiste en un ventilador eléctrico que enfría el generador. Contiene también una unidad refrigerante por aceite o por agua, que se usa para enfriar el propio aceite del multiplicador.

### **El controlador eléctrico o sistema de control automatizado.**

Se trata de un ordenador el cual monitorea todas las condiciones del aerogenerador, mediante el análisis de las señales captadas por múltiples sensores que miden temperaturas, presiones, tensiones o voltajes, corrientes eléctricas, vibraciones, velocidades y dirección de viento para controlar el mecanismo de orientación, que vigila la dirección del viento mediante la veleta. Si ocurre cualquier problema en el aerogenerador, como, por ejemplo, un sobrecalentamiento en el multiplicador, automáticamente para el aerogenerador y "llama" al operario encargado de la turbina a través de un módem. También permite que el rotor empiece a girar cuando el anemómetro le dice que hay viento suficiente.

### **El sistema hidráulico**

Este sistema permite el accionamiento de giro de las palas sobre su eje, además de frenar el rotor o el giro y la góndola.

### **Corona de orientación o control de orientación.**

Está situada en la parte inferior de la góndola y se encarga, junto con el sistema de orientación, de posicionar la góndola en la dirección más adecuada para un óptimo aprovechamiento del viento y aumentar así la potencia generada.

### **El anemómetro y la veleta.**

El anemómetro es un dispositivo usado para medir la velocidad del viento. La veleta es un aparato para comprobar la dirección del viento. En un aerogenerador, las señales eléctricas del anemómetro las utiliza el controlador electrónico para conectar el aerogenerador cuando el viento alcanza los 3 a 5 m/s, según cada fabricante. Asimismo, si el viento sobrepasa los 25 m/s, el ordenador parará el aerogenerador para proteger la turbina y sus alrededores. Las señales enviadas por la veleta son utilizadas por el controlador para girar el aerogenerador en contra del viento.

### **-El rotor**

Es el sistema formado por el buje, las palas, el eje y el sistema de regulación de potencia.

#### **El buje del rotor.**

El buje o hub es el elemento al que van unidas las palas. Situado en la parte frontal del aerogenerador y acoplado al eje de baja velocidad, es el único elemento exterior que gira, constituye el centro del rotor. Se le suele unir los rodamientos de pala, que minimizan el rozamiento de las palas. Normalmente se fabrica con acero fundido.

#### **Las palas del rotor.**

Son las responsables de "capturar" el viento y transmitir su potencia al buje, es decir, convierten la energía del viento en rotación en el buje. Existen de muchos tamaños y diseños, dependiendo normalmente de la potencia que se quiera generar.

El perfil aerodinámico de las palas es similar al perfil del ala de un avión. El aire produce una sobrepresión en la parte inferior y un vacío en la parte superior, esto provoca una fuerza de empuje que hace que el rotor gire. Para la fabricación de palas más ligeras mediante se utiliza fibra de vidrio, fibra de carbono.

#### **Sistema de regulación de potencia.**

El sistema de regulación de potencia se encuentra insertado en el rotor y en particular en sus palas. La potencia que una turbina eólica absorbe tiene que ser controlada. Si el viento es muy fuerte, la potencia es reducida para prevenir daños al sistema. Esta regulación se realiza en el rotor. Básicamente, hay dos principios de regulación de potencia, la regulación por entrada en pérdida aerodinámica pasiva llamada "stall controlled" y la regulación por cambio de ángulo de "pitch controlled".

En la actualidad algunos fabricantes de aerogeneradores tienen, gracias al desarrollo de su tecnología equipos desprovistos de multiplicador, es decir, menos piezas sometidas tanto a desgaste como a cargas mecánicas, y por ello un funcionamiento más suave. La clave es que estos aerogeneradores emplean un generador de anillo multipolo, desarrollado especialmente para el uso en turbinas eólicas y así no se requiere de caja multiplicadora.

Cabe mencionar que un aerogenerador puede estar compuesto de más de 8,000 componentes diferentes, aquí se han enunciado los principales en la Figura 1.27 se plasma estos componentes principales y su participación en términos porcentuales en el precio total de un aerogenerador.



Figura 1.27 Elementos principales de un aerogenerador y su participación en el precio total del aerogenerador.  
Fuente: Asociación Empresarial Eólica.

## Clasificación de los aerogeneradores según normas internacionales.

Los modernos aerogeneradores utilizados para generar electricidad se clasifican según la norma Internacional IEC 61400-1, atendiendo la seguridad del diseño del aerogenerador y lo vemos en la Figura 1.28.

## Capacidad actual de Aerogeneradores.

En la actualidad existe una gama diversa de aerogeneradores que se colocan en los modernos parques eólicos, su capacidad varía y podemos encontrarlos hasta capacidades en parques eólicos en tierra (onshore) hasta 3.6 MW y algunos prototipos hasta 5.0 MW y en los parques eólico en mar (offshore) se llega a capacidades de 5 MW y prototipos hasta 7.0 MW o más, así día con día, estos gigantes molinos de viento contienen tecnología más actualizada con la consecuente mayor capacidad de generación de energía.

**Clasificación de aerogeneradores atendiendo a su seguridad por diseño (IEC 61400-1)**

Clases	I	II	III	IV	S
$V_{ref}$ (m/s)	50	42.5	37.5	30	Valores que deben ser especificados por el diseñador
$V_{pro}$ (m/s)	10	8.5	7.5	6	
A $I_{15}$ (-)	0.18	0.18	0.18	0.18	
a(-)	2	2	2	2	
B $I_{15}$ (-)	0.16	0.16	0.16	0.16	
a(-)	3	3	3	3	

$V_{ref}$ : Velocidad máxima en 10 minutos con periodo de retorno de 50 años (C. Rotor)  
 $V_{pro}$ : Velocidad promedio anual a la altura del centro del rotor.  
 A y B: Categoría para características de turbulencia alta y turbulencia baja  
 $I_{15}$ : Valor característico de la intensidad de turbulencia a 15 m/s  
 a: Parámetro usado para cálculo de desviación estándar en el modelo normal de turbulencia

Figura 1.28 Clasificación de aerogeneradores según la IEC 61400-1.  
Fuente: Instituto de investigaciones eléctricas.

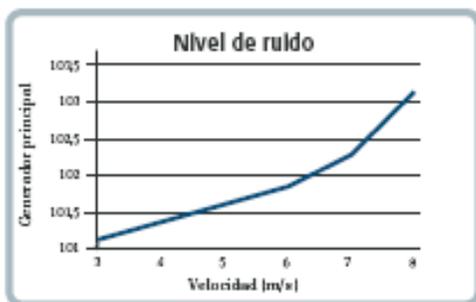
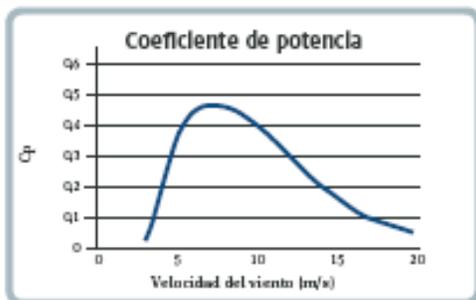
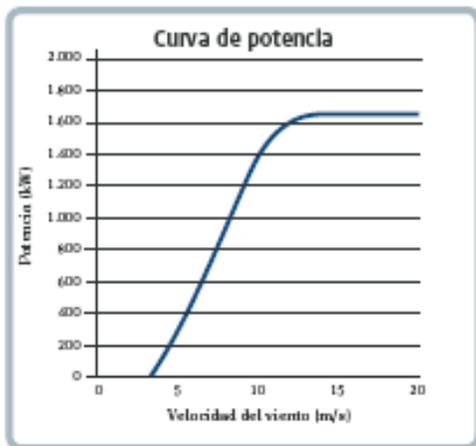
### Información de los fabricantes de aerogeneradores.

Existen múltiples fabricantes de aerogeneradores, la información de sus equipos, capacidades y características se pueden visualizar de manera muy accesible a través de internet.

Los principales datos que viene plasmados en su información es:

- Capacidad máxima de generación.
- Altura de buje.
- Diámetro de las palas.
- Clasificación del aerogenerador según la norma IEC 61400-1.
- Velocidad mínima de arranque.
- Velocidad de corte o paro
- Curva de potencia.
- Coeficiente de potencia.
- Revoluciones por minuto

Con esta información se selecciona el aerogenerador más adecuado para el lugar donde vaya hacer instalado.



## Rotor

Diámetro:	82 m
Área barrida:	5.281 m <sup>2</sup>
Velocidad nominal de giro:	14,4 rpm
Número de palas:	3
Regulación de potencia:	Active-Stall
Freno neumático:	Full blade pitch by three separate hydraulic pitch cylinders

## Torre

50Hz, 230V:	Altura del buje (aprox.): 78 m
60Hz, 110V:	Altura del buje (aprox.): 70 m, 80 m

## Datos operativos

Velocidad de arranque:	3,5 m/s
Velocidad de viento nominal:	13 m/s
Velocidad de corte (10 minutos):	20 m/s

## Generador

Tipo:	Generador asíncrono refrigerado por agua
Producción nominal:	1.650 kW
Datos operativos:	50/60 Hz 690/600V

## Multiplicadora

Tipo:	Ejes planetarios/helicoidales
-------	-------------------------------

## Control

Tipo:	Control basado en ordenador de todas las funciones del aerogenerador, con la opción de supervisión a distancia. Regulación y optimización de la producción mediante Active-Stall®.
-------	--

## Peso

Góndola:	52 t
Rotor:	43 t
Torres:	
50Hz, 230V:	Altura del buje: IEC IIA
	78 m 115 t
60Hz, 110V:	Altura del buje: IEC IIA
	70 m 105 t
	80 m 125 t

Figura 1.29 Ejemplo de Hoja Técnica de aerogenerador de Modelo V82- 1.65 MW de la marca Vestas.

Fuente: <http://www.vestas.com/en/media/brochures.aspx>

## TECHNICAL DATA FOR V90-1.8/2.0 MW

<b>Power regulation</b>	pitch regulated with variable speed		<b>Main dimensions</b>	
<b>Operating data</b>	<b>IEC IIA</b>	<b>IEC IIIA</b>	<b>Blade</b>	
Rated power	1,800 kW	2,000 kW	Length	44 m
Cut-in wind speed	4 m/s		Max. chord	3.5 m
Rated wind speed	12 m/s		Weight	6,700 kg
Cut-out wind speed	25 m/s		<b>Nacelle</b>	
Frequency	50 Hz/60 Hz		Height for transport	4 m
Operating temperature	standard range -20°C to 40°C low temperature option -30°C to 40°C		Height installed (including CoolerTop™)	5.4 m
			Length	10.4 m
			Width	3.4 m
			Weight	70 metric tonnes
<b>Sound power</b>			<b>Hub</b>	
(10 m above ground, hub height 80 m air density 1,225 kg/m <sup>3</sup> )			Max. diameter	3.3 m
4 m/s	94.4 dB(A)		Max. width	4 m
5 m/s	99.4 dB(A)		Length	4.2 m
6 m/s	102.5 dB(A)		Weight	18 metric tonnes
7 m/s	103.6 dB(A)		<b>Tower</b>	
> 8 m/s	104 dB(A)		<b>80 m</b>	
			Weight	148 metric tonnes
<b>Rotor</b>			<b>95 m</b>	
Rotor diameter	90 m		Weight	206 metric tonnes
Swept area	6,362 m <sup>2</sup>		<b>105 m</b>	
Nominal revolutions	14.5 rpm		Weight	245 metric tonnes
Operational interval	9.3 - 16.6 rpm		<b>125 m</b>	
Air brake	full blade feathering with 3 pitch cylinders		Weight	335 metric tonnes
<b>Tower</b>			<b>Power curve V90-1.8/2.0 MW</b>	
Type	tubular steel tower		Noise reduced sound power modes are available.	
Hub heights	80 m, 95 m and 105 m (IEC IIA) 95 m, 105 m and 125 m (DIBt II)			
<b>Generator</b>	<b>50 Hz</b>	<b>60 Hz</b>		
Type	4-pole asynchronous with variable speed	6-pole asynchronous with variable speed		
Nominal output	1,800 kW/ 2,000 kW	1,800 kW		
<b>Gearbox</b>				
Type	3-stage planetary/helical			
<b>Copyright Notice</b>	This document is created by Vestas Wind Systems A/S and contains copyrighted material, trademarks, and other proprietary information. All rights reserved. No part of the documents may be reproduced or copied in any form or by any means such as graphic, electronic, or mechanical, including photocopying, taping, or information storage and retrieval systems without the prior written permission of Vestas Wind Systems A/S			
	All specifications are for informational purposes and are subject to change without notice. Vestas does not make any representations or extend any warranties, expressed or implied, as to the adequacy or accuracy of this information.			
	VCS turbines are not available in the USA or Canada.			

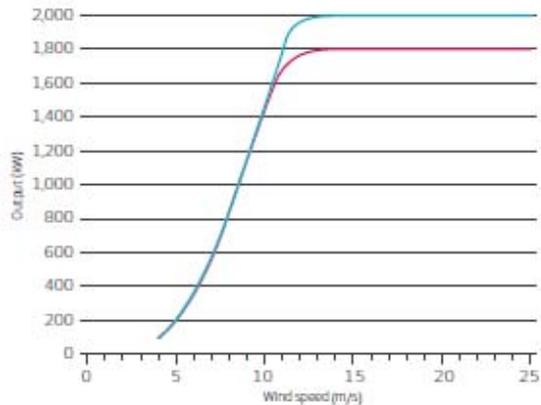


Figura 1.30 Ejemplo de Hoja Técnica de aerogenerador de Modelo V90- 1.8/2.0 MW de la marca Vestas.

Fuente: <http://www.vestas.com/en/media/brochures.aspx>

## Información técnica

	AW-70/1500	AW-77/1500	AW-82/1500
Díámetro de rotor	70 m	77 m	82 m
Clase de viento (IEC)	IEC Ia	IEC Ib	IEC IIb

### DATOS DE FUNCIONAMIENTO

Velocidad de arranque	4 m/s	3,5 m/s	3 m/s
Velocidad viento nominal	11,6 m/s	11,1 m/s	10,5 m/s
Velocidad viento de parada	25 m/s		20 m/s
Potencia nominal	1.500 kW		

### DATOS DE COMPONENTES

Número de palas	3		
Orientación	Barlovento		
Díámetro	70,062 m	76,662 m	82 m
Área barrida	3.855,27 m <sup>2</sup>	4.615,83 m <sup>2</sup>	5.289 m <sup>2</sup>
Sentido del giro	Horario		
Velocidad nominal de rotación	20,2 rpm	18,3 rpm	16,7 rpm
Regulación de potencia control de sobrevelocidad	Giro de pala desde posición de bandera hasta máxima resistencia del viento		
Ángulo inclinación del rotor sobre horizontal	5°		
Velocidad nominal de punta de pala	74,1 m/s	73,9 m/s	71,7 m/s
Ángulo de conicidad	0°		

### PALAS

Modelo	34.0	37.3	40.3
Material	CFRP		
Longitud total	34,0 m	37,3 m	40,3 m
Peso	5.180 kg/pala	5.522 kg/pala	5.780 kg/pala
Peso de pala	Longitud total de pala		
Freno aerodinámico	A posición de bandera		

### BUJE

Tipo	Rígido
Material	Fundición CJS 400 18U LT
Protección	Metalizado Zn + Epoxy

### SISTEMA BASE DE PALA

Rodamientos	Doble hilera, cuatro puntos de contacto
Accionamiento	Hidráulico
Mecanismo	Cilindros hidráulicos
Seguridad	Acumuladores en buje

### TREN DE POTENCIA

Multiplicadora	3 etapas: 2 planetario/helicoidal		
Potencia nominal multiplicadora	1.500 kW		
Relación de transmisión	1/9 (50 Hz)/1/7 (60 Hz)	1/65 (50 Hz)/1/78 (60 Hz)	
Velocidad nominal de entrada	20,2 rpm	18,3 rpm	16,7 rpm
Velocidad nominal de salida	1.200 (50 Hz)/1.440 (60 Hz)		1.000 (50 Hz)/1.200 (60 Hz)
Lubricación	Por salpicado y bomba de recirculación, intercambiador aceite/aire y filtro de aceite		
Volumen de aceite multiplicadora	270 litros		
Condition Monitoring System	Incluido		

### EJE LENTO

Tipo	Eje forjado hueco
Material	34 Cr Ni Mo 6
Soporte	2 rodamientos

### RODAMIENTOS EJE

Tipo	Doble hilera rodillos esféricos
------	---------------------------------

### FRENO DE PARKING

Tipo	Disco con dos pinzas de freno
Emplazamiento	Eje alta velocidad

### SISTEMA DE GIRO

Tipo	Cuatro puntos de contacto
Corona dentada	Exterior
Relación piñón reductor/corona	11,6:1
Sistema de frenado	Disco y pinzas de freno

### MOTORREDUCTORAS ORIENTACIÓN

Tipo	4 etapas planetarias
Ratio	1:1451
Velocidad de giro de góndola	0,08 rpm
Tipo de motor	Asíncrono, cuatro polos
Voltaje/frecuencia	230/400 V - 50 Hz
Nº de motorreductoras	4x 1,5 kW

### GRUPO HIDRÁULICO

Tipo de motor	18,5 kW
Voltaje/frecuencia	380V/50 Hz

### GENERADOR

Tipo	6 polos, doble alimentación
Clase de aislamiento (stator/rotor)	H/H
Potencia	1.500 kW
Grado de protección	IP 54
Frecuencia	50/60 Hz
Voltaje	12.000 V
Rango de velocidades	770 - 1.320 rpm 50 (Hz) / 924 - 1.584 rpm 60 (Hz) / 770 - 1.200 rpm 50 (Hz) / 920 - 1.440 rpm 60 (Hz)

### SISTEMA DE CONTROL

Tipo	Ingeniería W
Procesador	80 - 386, 32 bits
Interfaz Scada	OPMT
Corrección de factor de potencia	Programable mediante software

### TORRE

Material	Tubular de acero para 60 m/71,5 m y 80 m de altura de buje
Altura de torre (bujes a 60/80 m)	56,9 m/76,9 m
Acceso a torre	Puerta con cerradura de seguridad
Acceso a barquilla	Escalera o ascensor
Peso (de acero 60/80 m de buje)	96 t/135 t
Peso (de hormigón, buje 80 m)	511 t
Unión a cimentación	Barras de anclaje embebidas en la cimentación y mortero de alta resistencia

### PESOS

Barquilla	52,5 t
Barquilla + buje	67,5 t

### DIMENSIONES BARQUILLA + BUJE

Longitud	12,5 m
Anchura	4,2 m
Altura	4,0 m

Figura 1.31 Ejemplo de Hoja Técnica de aerogenerador de Modelo AW-1500 de 1.5 MW de la marca Acciona.

Fuente: [http://www.acciona-energia.es/areas\\_actividad/aerogeneradores/modelos.aspx](http://www.acciona-energia.es/areas_actividad/aerogeneradores/modelos.aspx)

A continuación se ejemplifica los valores descritos en este capítulo para un aerogenerador de 2MW.

	<b>FICHA TECNICA / TECHNICAL FILE</b>	Code: GD022924-en-es	Rev: 0
		Date: 10-05-07	Pg. 3 of 5
Title: <b>G90 2MW 50/60 Hz Wind Turbine Power Curve. Curva de Potencia G90 2MW 50/60 Hz</b>			

## 5 MODO DE OPERACIÓN ESTÁNDAR

## 5 RESULTS FOR STANDARD OPERATION

### 5.1 CURVA DE POTENCIA ESTANDAR

### 5.1 STANDARD POWER CURVE

La **Tabla 3** muestra la potencia eléctrica [kW] en función de la velocidad del viento [m/s] horizontal referida a la altura del buje  $W_s$  [m/s] para distintas densidades de aire [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

**Table 3** shows the electrical power [kW] as a function of the horizontal wind speed [m/s] at the given hub height  $W_s$  [m/s] for different air densities [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

P [kW]	Densidad del aire / Air density [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]									
	$W_s$ [m/s]	1.225	1.060	1.090	1.120	1.150	1.180	1.210	1.240	1.270
3	21.3	17.3	18	18.7	19.4	20.2	20.9	21.7	22.5	
4	84.9	70.7	73.2	75.8	78.3	81	83.6	86.3	89	
5	197.3	167	172.5	178	183.6	189.1	194.6	200.1	205.7	
6	363.8	310.5	320.2	330	339.7	349.4	359	368.6	378.2	
7	594.9	510.7	526	541.4	556.7	572	587.3	602.5	617.7	
8	900.8	774.3	797.1	820	842.9	866.1	889.2	912.4	935.5	
9	1274.4	1097	1129.6	1162	1194.5	1226.8	1258.6	1290.2	1321.9	
10	1633	1441.5	1480.1	1516.9	1553.7	1587.4	1617.9	1648.1	1678.4	
11	1863	1729.2	1760.4	1787.3	1814.3	1836.6	1854.3	1871.8	1889.3	
12	1960.4	1898.2	1914.9	1927.8	1940.6	1950.3	1957.1	1963.7	1970.3	
13	1990.4	1969.1	1975.5	1979.9	1984.3	1987.5	1989.4	1991.3	1993.2	
14	1997.9	1991.8	1993.8	1995	1996.3	1997.2	1997.6	1998.1	1998.6	
15	1999.6	1998	1998.5	1998.9	1999.2	1999.4	1999.5	1999.6	1999.7	
16	1999.9	1999.5	1999.7	1999.8	1999.8	1999.9	1999.9	1999.9	2000	
17	2000	1999.9	1999.9	2000	2000	2000	2000	2000	2000	
18->21	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	

Tabla 3 Potencia [KW] del AEG G90 2MW calculada en función de la velocidad del viento  $W_s$  [m/s], para distintas densidades de aire [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

Table 3 G90 2MW WT power [KW] calculated as a function of wind speed  $W_s$  [m/s] at different air densities [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

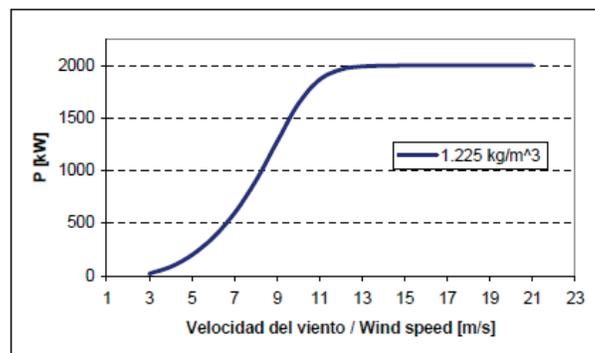


Figura 1 Curva de potencia del AEG G90 2.0MW para una densidad del aire igual a  $1.225 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

Figure 1 G90 2.0MW WT power curve for an air density of  $1.225 \text{ kg}/\text{m}^3$

Figura 1.32 Ejemplo de Hoja Técnica de aerogenerador de Modelo G-90 de 2.0 MW de la marca GAMESA.

Fuente: [http://www.gobcan.es/industria/colica/V-07\\_GC-091.pdf](http://www.gobcan.es/industria/colica/V-07_GC-091.pdf)

	<b>FICHA TECNICA / TECHNICAL FILE</b>	Code: GD022924-en-es	Rev: 0
		Date: 10-05-07	Pg. 4 of 5
<b>Title: G90 2MW 50/60 Hz Wind Turbine Power Curve. Curva de Potencia G90 2MW 50/60 Hz</b>			

## 5.2 PRODUCCIÓN ANUAL

En la **Tabla 4** se presenta la producción anual [MWh] del generador G90 2.0 MW para distintos valores del parámetro de forma  $k$  de *Weibull* y medias anuales del viento  $W_{ave}$  [m/s]. Valores calculados para densidad estándar  $1.225 \text{ kg/m}^3$  e Intensidad de Turbulencia 10%.

## 5.2 ANNUAL PRODUCTION

**Table 4** shows the annual production [MWh] of the G90 2MW for different *Weibull* shape factors  $k$  and average wind speeds  $W_{ave}$  [m/s]. Values are given for standard density  $1.225 \text{ kg/m}^3$  and Turbulence Intensity 10%.

$P$ [MWh]		$W_{ave}$ [m/s]			
		6	6.5	7	7.5
<i>Weibull K</i>	<b>1.6</b>	5030	5720	6352	6918
	<b>2</b>	4911	5760	6573	7333

**Tabla 4** Producción [MWh] anual del AEG G90 2 MW calculada en función de  $W_{ave}$ [m/s].

**Table 4** G90 2MW WT annual Production [MWh] as a function of  $W_{ave}$  [m/s].

**Tabla 1** Valores de los parámetros de cálculo de la curva de potencia del aerogenerador G90 2MW

Potencia Nominal	2.0 MW
Frecuencia	50 Hz/60Hz
Diámetro del Rotor	90 m
Ángulo de punta de pala	Regulación por cambio de paso
Intensidad de turbulencia	10 % (para todos los valores de vientos)
Densidad del aire	$1.225 \text{ kg/m}^3$

**Table 1** Parameter values for the power curve calculation of the G90 2MW wind turbine

Rated Power	2.0 MW
Frequency	50 Hz/60Hz
Rotor diameter	90 m
Blade tip angle	Pitch regulated
Turbulence intensity	10 % (for all wind values)
Air density	$1.225 \text{ kg/m}^3$

Figura 1.33 Ejemplo de Hoja Técnica de aerogenerador de Modelo G-90 de 2.0 MW de la marca GAMESA.  
(Continuación).

Fuente: [http://www.gobcan.es/industria/eolica/V-07\\_GC-091.pdf](http://www.gobcan.es/industria/eolica/V-07_GC-091.pdf)

	<b>FICHA TECNICA / TECHNICAL FILE</b>	Code: GD022924-en-es	Rev: 0
		Date: 10-05-07	Pg. 5 of 5
Title: G90 2MW 50/60 Hz Wind Turbine Power Curve. Curva de Potencia G90 2MW 50/60 Hz			

5.3 CURVAS CP Y CT

La **Tabla 5** muestra los valores de  $C_p$  y  $C_T$  del aerogenerador G90 2MW.

5.3  $C_p$  AND  $C_T$  CURVES

**Table 5** shows the  $C_p$  and  $C_T$  values of the G90 2MW wind turbine.

$W_s$ [m/s]	$C_p$	$C_T$
3.0	0.202	0.884
4.0	0.341	0.835
5.0	0.405	0.815
6.0	0.432	0.812
7.0	0.445	0.811
8.0	0.452	0.805
9.0	0.449	0.767
10.0	0.419	0.87
11.0	0.359	0.533
12.0	0.291	0.406
13.0	0.232	0.31
14.0	0.187	0.243
15.0	0.152	0.195
16.0	0.125	0.159
17.0	0.104	0.133
18.0	0.088	0.112
19.0	0.075	0.096
20.0	0.064	0.084
21.0	0.055	0.074

Tabla 5: Valores de  $C_p$  y  $C_T$  del AEG G90 2 MW.  
Table 5: G90 2 MW WT  $C_p$  and  $C_T$  values.

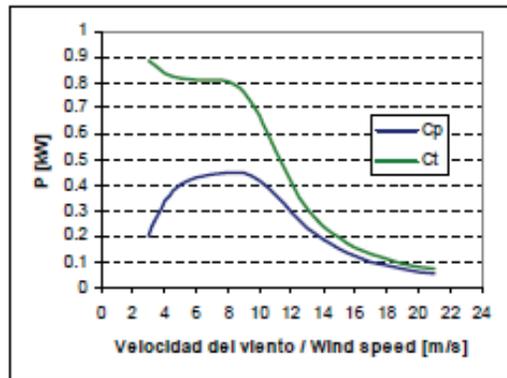


Figura 2 Curvas de  $C_p$  y  $C_T$  del AEG G90 2MW

Figure 2 G90 2 MW WT  $C_p$  and  $C_T$  curves.

Figura 1.34 Ejemplo de Hoja Técnica de aerogenerador de Modelo G-90 de 2.0 MW de la marca GAMESA.  
(Continuación).

Fuente: [http://www.gobcan.es/industria/eolica/V-07\\_GC-091.pdf](http://www.gobcan.es/industria/eolica/V-07_GC-091.pdf)

# **CAPITULO 2**

## **2. DESARROLLO DE PROYECTO DEL PARQUE EOLICO**

Hemos visto las nociones básicas de energía eólica, su aprovechamiento para generar energía eléctrica y los beneficios adicionales con esta tecnología.

Para la implementación de una granja de viento o parque eólico se requiere de un trabajo multidisciplinario y multisectorial. Multidisciplinario porque se deben involucrar personas con diversas especialidades que trabajen coordinadamente. Multisectorial porque implica la participación de jugadores externos y dependencias de gobierno, que inevitablemente son parte del proyecto.

De los principales actores para desarrollar un proyecto de este tipo podemos mencionar y dividir en varios subgrupos, enumerados abajo, y cada uno tendrá un rol determinante para lograr el éxito.

1. Fabricantes de las maquinas eólicas.
2. Desarrolladores de parques eólicos o granjas de viento.
3. Consultores externos y contratistas.
4. La empresa eléctrica que comprará la energía o el cliente de la energía.
5. Grupo de trabajo social.
6. Agencias gubernamentales federal, estatal o municipales.
7. Propietarios de las tierras y comunidades vecinas.

### **Fabricantes de las maquinas eólicas:**

Actualmente ya hay una oferta bastante importante de fabricantes de máquinas eólicas en el mundo. Las principales fábricas o las más grandes se encuentran en Estados Unidos y Europa, específicamente en España, Dinamarca y Alemania. En Asia, China e India son donde se encuentran fabricantes de aerogeneradores importantes.

### **Desarrolladores de granjas de viento:**

Los desarrolladores o permisionario de los parques eólicos compran o rentan la tierra, financian la instalación de las máquinas eólicas y operan y mantienen las turbinas por un periodo que llega a más de 30 años. Una vez concluida la construcción, el desarrollador juega diversos roles ya que puede ser propietario y operar la granja de viento u operar la granja para otro que sea el dueño.

### **Consultores privados y contratistas:**

Los consultores independientes y los contratistas son especialistas en su campo y tienen la destreza para hacer su trabajo en forma eficiente y rápida.

Por ejemplo, un consultor especialista en evaluación del potencial eólico sabe identificar los puntos clave de medición; de estos datos dependerán los resultados económicos por la producción de energía eoloeléctrica.

Los ingenieros eléctricos serán de gran utilidad en todo el proyecto pues participan desde la preparación de los documentos para obtener los permisos de interconexión hasta la supervisión de obra.

Los abogados y legistas juegan también un papel importante en este negocio, ya que serán quienes hagan los acuerdos con otros contratistas, los dueños de las tierras y con la empresa eléctrica.

Por su parte los contratistas intervienen para la construcción de la cimentación, el levantamiento de las torres y montaje de las maquinas eólicas.

Estos tipos de especialidades se desarrollan localmente aunque en un inicio se deben contratar expertos externos.

### **Empresa eléctrica:**

En México no hay más que una empresa que es del Estado: la Comisión Federal de Electricidad y es por ley, la única a la que se le puede vender la energía si no es para autoconsumo.

Por lo anterior, con la única empresa que se debe negociar es con la CFE y los términos ya están preestablecidos por ley, así como el precio por KWh generado, respaldos, porteo, etc.

### **Grupo de trabajo social:**

Básicamente son los promotores sociales del proyecto y se encargarán de educar al público en general sobre los beneficios de esta tecnología e influir en la política pública a favor de la energía limpia.

Este tipo de proyectos se llevan a cabo muy frecuentemente en comunidades rurales y por lo general atraen la atención de organizaciones civiles que velan por su bienestar.

Con frecuencia también son influidos por grupos políticos o disidentes que pueden llegar a retrasar los avances del proyecto. El grupo de trabajo social debe ser coordinado por una persona conocedora de los aspectos étnicos, religiosos, políticos y antropológicos de la región.

### **Agencias gubernamentales:**

Las agencias de gobierno juegan muchos roles en los proyectos eólicos, tanto a nivel nacional como estatal y municipal; todos son importantes y determinantes.

El gobierno federal es quien otorga los posibles incentivos a este tipo de proyectos, al tiempo que establece reglas que muchas veces determinan la viabilidad del proyecto. El gobierno estatal establece la política regional para el beneficio social y el gobierno municipal la política de impuestos por uso de suelo y protección a los grupos sociales de la región.

No hay que olvidar dependencias tales como SEMARNAT, la Dirección de aeronáutica civil (DGAC), la Comisión Reguladora de Energía (CRE), Secretaria de Energía (SENER), entre otras.

### **Propietarios de las tierras y comunidades vecinas:**

Los proveedores de las tierras eólicas, por llamarles de algún modo, pueden tener una influencia decisiva en los proyectos eólicos. La industria del viento crece y se desarrolla con base en etapas de aprendizaje en diversos campos. El aspecto social no se repite de la misma forma en todos los lugares, cada caso es especial.

Los propietarios de las tierras han aprendido que son los dueños del recurso de alguna manera y cada vez exigen mejor retribución por sus propiedades aunque sean en renta. Parte de la labor que debe hacer el desarrollador es buscar la forma de otorgar beneficios sociales adicionales que faciliten las negociaciones con los grupos de propietarios directos.

Para un proyecto de esta naturaleza, un parque eólico de varios o cientos de Mega Watts de potencia instalada, se requiere de una inversión grande de dinero y un periodo de tiempo que en los mejores casos va entre dos a cuatro años. Con el propósito de asegurar el éxito, la empresa que desarrolla este tipo de proyectos debe ser muy creativa, flexible y paciente para poder enfrentar los retos que se presentarán a lo largo de su implementación. Además antes de comenzar, se debe comprender y dominar cada una de las fases de implementación. El tiempo requerido para el desarrollo del proyecto depende de cómo se vayan superando cada una de las etapas que conforman el proyecto.

Así pues el desarrollo de un proyecto eólico tiene diversas etapas, las principales se plasman a continuación:

1. Identificación y prospección del sitio con recurso eólico suficiente para la generación eoloeléctrica.
2. Contacto con propietarios, su disponibilidad y contratación de terrenos mediante algún contrato, como puede ser de usufructo, de las tierras para la instalación del parque eólico.
3. Gestión de permisos y licencias con entidades gubernamentales o autoridades federales estatales y municipales.
4. Medición y análisis del recurso eólico y estudio de factibilidad.
5. Identificación de socios para autoconsumo o consumidores para la venta de la energía producida o si será un proyecto de exportación de energía.
6. Opciones de interconexión y uso de la red eléctrica.
7. Aprobación medioambiental y trámites Mecanismo de Desarrollo Limpio.
8. Viabilidad financiera del proyecto.
9. Construcción del parque eólico.
10. Operación y Mantenimiento.

Esta relación no implica que necesariamente se deban realizar en orden estricto, salvo las dos últimas. Lo más común es que se lleven a cabo tareas paralelas.

Hablaremos de estos puntos, sin embargo, algunos de ellos estarán explicados de forma más amplia en este capítulo.

### **Selección del sitio del proyecto**

Un buen sitio eólico no necesariamente es donde hay recurso eólico de gran escala. Se requiere también de la existencia de las líneas de transmisión eléctrica para la evacuación de la energía, que sea factible la ubicación de las máquinas logrando su máximo rendimiento, que no haya impacto ambiental por la colocación de los equipos o que sea mínimo, una actitud favorable de los vecinos hacia el desarrollo eólico y un buen acuerdo con los dueños de las tierras.

### **Contratación de tierras**

Al identificar una zona con buen potencial eólico es necesario conocer la posesión de la tierra, si es ejido o propiedad privada y contactar a los propietarios de los terrenos en la zona para plantearles el proyecto e ir determinando la factibilidad.

### **Gestión de permisos y licencias.**

En esta etapa es necesario el realizar una gran cantidad de trámites en diversas entidades de gobierno y en la gran mayoría de los proyectos eólicos, se puede llevar un periodo de tiempo muy considerable, en los mejores casos al menos un año.

### **Medición y análisis de recurso eólico.**

Una vez cerrado algún contrato por el uso de los terrenos se identifica una propiedad donde se pueda instalar una antena de medición, la cual, permite conocer mediante los equipos de registro meteorológico, las condiciones reales del viento, dirección, fuerza, tiempo en que se presentan las corrientes de viento, así como la temperatura, presión atmosférica y humedad relativa entre otros datos.

### **Identificación de socios**

Aquí es importante definir el esquema de venta de energía, ya que la escala del proyecto está en función de factores como número de socios y capital para invertir, o si el proyecto será para autoabastecer de energía a los socios o si el proyecto será para exportar la energía.

### **Opciones de interconexión.**

Instalar las maquinas eólicas y generar electricidad tiene sentido siempre que se pueda enviar la energía por las redes de transmisión y se pueda vender. La interconexión implica que la línea de transmisión esté relativamente cerca, que sea del voltaje acorde a la cantidad generada y tenga la capacidad para soportar la energía adicional generada.

### **Aprobación medioambiental.**

El tema de medio ambiente es, por lo regular, considerado una barrera para el desarrollo de algunas industrias, incluyendo aquellas que se denominan limpias como la energía eólica. Es claro que en

cualquier actividad que lleve a cabo el hombre siempre habrá un impacto al medio ambiente, por mínimo que éste sea.

En el caso de construcciones permanentes es de esperarse que el impacto sea mayor y no sólo para una especie en particular sino para una gama de organismos que forman parte de una red de interacciones o de un ecosistema.

Así pues es necesario el poder contar con las anuencias y permisos de las diversas instancias ambientales nacionales y en algunos casos hasta internacionales.

### **Viabilidad financiera del proyecto.**

Las recompensas económicas del desarrollo del proyecto dependerán del mecanismo financiero. Es importante desarrollar un presupuesto realista e investigar las opciones de financiamiento. Los componentes del costo del proyecto incluyen la evaluación del recurso eólico, las turbinas, las torres, la construcción, comisiones, cuotas por la interconexión, mantenimiento y mejoras de los equipos, seguros y pagos a consultores. Los incentivos fiscales o beneficios que otorgan los gobiernos deben de ser incluidos en estos análisis financieros.

Todos estos factores deben incluirse en las corridas financieras Pro forma. Básicamente, se debe preparar un documento que contenga la información que el inversionista desea conocer.

### **Construcción, operación y mantenimiento del parque eólico.**

Una vez lograda la ardua tarea de concretar los diversos pasos anteriores y habiendo desarrollado el plan del proyecto se procede a la construcción del parque eólico. La entrega e instalación de las máquinas está a cargo de empresas constructoras y son dirigidas por ingenieros expertos.

El proyecto no culmina con la colocación de las máquinas y puesta en marcha de la granja de viento pues habrá tareas de operación y mantenimiento día a día. Así, una firma calificada de ingenieros y técnicos se hará cargo de la operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil de las máquinas.

Los costos de operación incluyen la administración del negocio eléctrico, aplicación de garantías, pago y reclamo de seguros, pago de impuestos y por el uso de las tierras, así como la formación de un fondo de contingencia para casos de fuerza mayor.

En la medida en que se lleve a cabo el mantenimiento, se alargará la vida de las máquinas, una mayor producción de energía y mejores ingresos. Después de la vida útil de las máquinas se debe considerar su desmantelamiento y en su caso, el reemplazo por otras modernas o la restauración del área del proyecto.

## 2.1 Marco legal y regulatorio Mexicano.

En México para desarrollar proyectos eólicos es necesario cumplir con el marco legal y regulatorio vigente, es importante aclarar que todas las disposiciones aplicables al sector eléctrico tienen su fundamento en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la cual establece que la generación, transmisión, distribución y oferta de energía, destinada al servicio público, es una atribución exclusiva del Gobierno Federal, excluyendo la participación de los inversionistas privados en estas actividades

Por otra parte, la Ley del servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) previó modalidades en las que los particulares pueden realizar diversas actividades que no se consideran servicio público.

Estas actividades fueron establecidas en las reformas a la Ley mencionada, con objeto de permitir la participación de la iniciativa privada en la generación de energía eléctrica en las modalidades que se indican a continuación:

- El autoabastecimiento.
- La cogeneración.
- La producción independiente.
- La pequeña producción.
- La exportación.
- La importación de energía eléctrica.

En congruencia con lo anterior, los particulares podrán desarrollar proyectos en las modalidades antes indicadas, independientemente del tipo de energético primario utilizado. Resulta necesario mencionar que derivado de la Reforma Energética de 2008, la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) estableció reglas específicas para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energías renovables y mediante procesos de cogeneración eficiente.

A continuación se proporciona información básica sobre el marco regulatorio del sector eléctrico, para la energías renovables que rige los trámites con la CRE y los correspondientes con la CFE.

- **Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE).**  
<http://www.cre.gob.mx/documento/46.pdf>

Define los diferentes tipos de actividades privadas admisibles (modalidades) y establece las reglas básicas para el otorgamiento de los permisos correspondientes

Dicha ley fue publicada en su primera versión en el Diario Oficial de la Federación (D.O. F.) el 22 de mayo de 1975, sin embargo ha tenido diversas modificaciones, la vigente es del 1º de Enero de 1994.

- **Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (RLSPEE).**  
<http://www.cre.gob.mx/documento/47.pdf>

Con este reglamento se hace operativa la LSPEE, estableciendo los requisitos para tramitar un permiso de generación de energía, así como las obligaciones y condiciones vinculadas con el permiso correspondiente

- **Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE).** <http://www.cre.gob.mx/documento/1523.pdf>

El 28 de noviembre de 2008 se aprobó dicha ley que define el término de fuentes de energías renovables, aplicables para el trámite de permiso con la CRE y contempla las siguientes iniciativas:

- Elaboración de un Programa para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía.
- Creación de un Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.

- **Reglamento de la LAERFTE**  
<http://www.cre.gob.mx/documento/1570.pdf>

Este documento hace patente la operación de la Ley para el aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.

En general, los proyectos con energías renovables y de cogeneración eficiente siguen el mismo proceso para la realización de trámites en comparación con los relativos a proyectos basados en otras fuentes. Sin embargo, la LAERFTE y su Reglamento prevén para las energías renovables y de la cogeneración eficiente, mecanismos de fomento para su desarrollo.

De acuerdo con las definiciones previstas en uno de los Artículos, de la LAERFTE, se consideran como fuente de energías renovables a las plantas eólicas.

### **Las Autoridades Clave**

**La Secretaría de Energía (SENER).** Está encargada de conducir la política energética, la cual se desarrolla e implementa por medio de programas como son: el Programa Sectorial de Energía y el Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables, así como a través de las estrategias elaboradas. Recientemente, la SENER elaboró dos estrategias: la Estrategia Nacional de Energía 2010 y la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (2011). La primera tiene como base la Visión al año 2024 y está conformada por tres Ejes Rectores —La Seguridad Energética, La Eficiencia Económica y Productiva, y La Sustentabilidad Ambiental—, teniendo como objetivos la diversificación de las fuentes de energía y el aumento en la utilización de las energías renovables. La segunda está orientada a impulsar programas y acciones para fomentar el uso de las energías renovables y reducir la dependencia de México en los hidrocarburos.

**La Comisión Reguladora de Energía CRE.** Como órgano desconcentrado de la Secretaría de Energía, con autonomía técnica y operativa, está encargada de la regulación de las industrias del gas natural y la energía eléctrica en México. Para ejercer su función reguladora en el sector eléctrico

cuenta con atribuciones establecidas en su Ley (Ley de la Comisión Reguladora de Energía). Las facultades incluyen, por un lado, el otorgamiento y la revocación de permisos para las actividades de generadores privados, y por el otro, la aprobación de los instrumentos de regulación y metodologías que rigen la relación entre los permisionarios y el suministrador. Eso comprende, entre otros, la aprobación de las metodologías para el cálculo de las contraprestaciones por los servicios que se preste el suministrador a los permisionarios, además de los modelos de convenios y contratos a celebrar con la CFE.

**La Comisión Federal de Electricidad CFE.** Empresa del gobierno mexicano, está a cargo de prestar el servicio público de energía eléctrica. Como Suministrador, la CFE genera, transmite, distribuye y comercializa la energía eléctrica. El Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), organismo de la CFE es el encargado de administrar la operación y el control del Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

Para interconectarse al SEN, los permisionarios o desarrolladores de parques eólicos tienen que celebrar un contrato de interconexión con la CFE. En este sentido, la CRE es la autoridad responsable para el trámite de permisos, mientras que la CFE es la encargada de la verificación de los aspectos técnicos para la interconexión.



Figura 2.1. Atribuciones de las principales dependencias gubernamentales del sector de energía eléctrica.  
Fuente: Comisión Reguladora de Energía.

## **2.2 Permisos y Licencias.**

Una vez que se ha decidido el desarrollar e invertir en un parque eólico en México es necesario cumplir una serie de permisos y licencias.

Aquí se explican los permisos y licencias que se deben gestionar en diversas entidades de gobierno para poder llevar a cabo un proyecto eólico.

### **Trámites para generar electricidad:**

1. Estudio de factibilidad de interconexión.
2. Estudio de porteo.

Los siguientes cuatro permisos es la forma en la que puede tener participación la iniciativa privada en parques eólicos, ya sea empresa o persona física, en la generación de energía eléctrica y solo se deberá realizar un trámite de los cuatro.

3. Solicitud de permiso de autoabastecimiento de energía eléctrica.
4. Solicitud de permiso de producción independiente de energía eléctrica.
5. Solicitud de permiso de pequeña producción de energía eléctrica.
6. Solicitud de permiso de exportación de energía eléctrica.

### **Trámites para obtener el Servicio de Respaldo:**

7. Contrato de interconexión.
8. Convenio de compraventa de excedentes de energía.
9. Convenio de transmisión.
10. Contrato de respaldo.

### **Trámites Ambientales y para Aprovechamiento del Recurso Natural:**

11. Manifestación de Impacto Ambiental Particular.
12. Informe Preventivo.
13. Autorización de cambio de uso de suelo en terrenos forestales.
14. Informe de aprovechamiento de Vida Silvestre.
15. Permiso para realizar obras de infraestructura hidráulica.
16. Concesión de aprovechamiento de aguas superficiales.
17. Aviso para variar total o parcialmente el uso del agua.
18. Licencia Ambiental Única.
19. Licencia de Funcionamiento.
20. Cedula de Operación Anual.

### **Trámites para la instalación local:**

21. Licencia de Funcionamiento.
22. Licencia de uso de Suelo.

23. Factibilidad del Servicio de Agua Potable, Alcantarillado Sanitario y tratamiento de Aguas residuales.
24. Factibilidad del servicio de energía eléctrica.
25. Visto bueno de la unidad de Protección Civil.
26. Factibilidad de giro.
27. Licencia de construcción.
28. Registro Público de la propiedad y del comercio.
29. Manifestación de terminación de obra.
30. Autorización de ocupación.
31. Autorización para ampliación o modificación de una edificación.
32. Balizamiento (señalización de navegación aérea en aerogeneradores).

#### **Trámites para el reporte de Actividades**

33. Informe estadístico de operación eléctrica.

La lista de trámites por dependencia se describe a continuación:

**Comisión Federal de Electricidad (CFE).** Ubicación: Comisión Federal de Electricidad, Subdirección de Programación, Av. Paseo de la Reforma 164, interior Piso 10, Col. Juárez, CP 06600, México, D.F.

- Estudio de factibilidad de interconexión.
- Estudio de porteo.
- Contrato de interconexión.
- Convenio de compra venta de excedentes de energía.
- Convenio de transmisión.
- Contrato de respaldo.

**Comisión Nacional del Agua (CNA).** Ubicación: OFICINAS CENTRALES D.F. Av. Insurgentes Sur 2416, Col. Copilco El Bajo, Código postal: 04340, México, D.F.

- Permiso para realizar obras de infraestructura hidráulica.
- Concesión de Aprovechamiento de Aguas Superficiales.
- Aviso para Variar Total o Parcialmente el Uso del Agua.

**Comisión Reguladora de Energía (CRE).** Ubicación: Comisión Reguladora de Energía, ventanilla de Oficialía de Partes, Horacio 1750, Col. Los Morales Polanco, C.P. 11510, México, D.F.

- Solicitud de permiso de autoabastecimiento de energía eléctrica.
- Solicitud de permiso de cogeneración de energía eléctrica.
- Solicitud de permiso de producción independiente de energía eléctrica.
- Solicitud de permiso de pequeña producción de energía eléctrica.

- Solicitud de permiso de exportación de energía eléctrica.
- Informe estadístico de operación eléctrica.

**Secretaría de Energía (SE).** Ubicación: Insurgentes Sur #890 Col. Del Valle, Del Benito Juárez, C.P. 03100 México D.F.

Estos trámites son básicamente en la constitución de empresas.

- Solicitud de inscripción en el Registro Nacional de Inversiones Extranjeras.
- Expedición de permisos de exportación.

**Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT).** Oficinas Centrales, Av. Revolución 1425, Col Tlacopac, San Ángel, C.P. 01040, México, D.F.

- Manifestación de Impacto Ambiental Particular.
- Informe Preventivo.
- Autorización de cambio de uso de suelo en terrenos forestales.
- Informe de Aprovechamiento de Vida Silvestre.
- Licencia Ambiental Única
- Licencia de Funcionamiento
- Cedula de Operación Anual

**Tramites Estatales y Municipales.** Esto depende de cada municipio y estado en el que se encuentre el proyecto.

- Licencia de Funcionamiento
- Licencia de uso de Suelo
- Factibilidad del Servicio de Agua Potable, Alcantarillado Sanitario y tratamiento de
- Aguas residuales
- Factibilidad del servicio de energía eléctrica
- Visto bueno de la unidad de Protección Civil
- Factibilidad de giro
- Licencia de construcción
- Registro Público de la propiedad y del comercio
- Manifestación de terminación de obra
- Autorización de ocupación
- Autorización para ampliación o modificación de una edificación
- Balizamiento (señalización de navegación aérea en aerogeneradores) o en torre de medición meteorológica.

**Dirección general de aeronáutica civil.** Ubicación providencia No 807, Col. Del Valle, C.P. 3100, México D.F.

- Balizamiento (señalización de navegación aérea en aerogeneradores) o en torre de medición meteorológica.

Es importante señalar que hay que considerar en este proceso de tramites al Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) en donde se revisan que los sitios de los proyectos no se encuentren en los polígonos de interés de esta institución, puesto que en caso de estarlo de acuerdo al artículo 42 del reglamento de la ley federal de monumentos y zonas arqueológicas, artísticos e históricos se requiere que los proyectos ubicados en un lugar protegido tendrán que ser evaluado y autorizado por el INAH, para su realización.

Aquí se explican el porqué de los principales trámites y permisos:

### **1. Estudio de factibilidad de interconexión.**

La interconexión a las redes de transmisión y distribución del Sistema Eléctrico Nacional, permite contemplar la instalación de plantas de generación de electricidad en los sitios donde abundan los recursos renovables, como son los sitios con buen viento o insolación, los pequeños recursos hidráulicos, los rellenos sanitarios de basura, sitios donde se acumulan residuos agropecuarios o del bosque, etc., y "portear" la electricidad generada para satisfacer la demanda de los copropietarios en sus instalaciones.

A fin de poder interconectarse al Sistema Eléctrico Nacional, es necesario en primer lugar, evaluar la factibilidad de dicha interconexión en función del impacto de la nueva instalación sobre el sistema y de la capacidad de este último para otorgar los servicios de transmisión y de respaldo necesarios para el correcto funcionamiento del permisionario, además de los servicios conexos requeridos.

Se trata de un trámite no obligatorio pero que es muy recomendable realizar antes de llevar a cabo cualquier otro estudio o gestión y en paralelo con el estudio de porteo.

### **2. Estudio de porteo.**

Para todo proyecto que requiera portear energía eléctrica, es decir, que necesite conducir electricidad a través de la red de transmisión de la CFE, a fin de satisfacer sus requerimientos de energía en puntos diferentes al de su generación, es necesario conocer en primer lugar, el costo del transporte de la energía eléctrica que se va a pagar al suministrador (\$/KWh) por el porteo de ésta, desde la planta del permisionario, hasta el punto de consumo.



Cargos por Servicios de Transmisión (\$/kWh)	Resolución	Mes	Niveles de Tensión		
			Alta	Media	Baja
2010	RES/256/2010	Abril	0.03088	0.03088	0.06176
	RES/256/2010	Mayo	0.03103	0.03103	0.06206
	RES/256/2010	Junio	0.03108	0.03108	0.06216
	RES/256/2010	Julio	0.03125	0.03125	0.06250
	RES/256/2010	Agosto	0.03130	0.03130	0.06261
	RES/256/2010	Septiembre	0.03136	0.03136	0.06272
	RES/301/2010	Octubre	0.03138	0.03138	0.06275
	RES/326/2010	Noviembre	0.03150	0.03150	0.06300
	RES/353/2010	Diciembre	0.03162	0.03162	0.06323
2011	RES/381/2010	Enero	0.03161	0.03161	0.06321
	RES/005/2011	Febrero	0.03179	0.03179	0.06358
	RES/059/2011	Marzo	0.03230	0.03230	0.06459

Figura 2.2. Costos de porteo actualizado a Marzo del 2011.  
Fuente: Comisión Reguladora de Energía.

### 3. Solicitud de permiso para generar electricidad.

La solicitud de permiso para generar electricidad para una capacidad mayor a 0.5 MW se lleva a cabo para una de las cuatro modalidades que se describen a continuación:

**Solicitud de permiso de autoabastecimiento de energía eléctrica:** De acuerdo con lo dispuesto en el Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, se entiende por autoabastecimiento a la utilización de energía eléctrica para fines de autoconsumo, siempre y cuando dicha energía provenga de plantas destinadas a la satisfacción del conjunto de los copropietarios o socios del proyecto.

**Solicitud de permiso de producción independiente de energía eléctrica:** Se considera producción independiente, la generación de energía eléctrica proveniente de una planta con capacidad mayor de 30 MW, destinada exclusivamente a su venta a la Comisión o a la exportación.

**Solicitud de permiso de pequeña producción de energía eléctrica:** Se entiende por pequeña producción, la generación de energía eléctrica destinada a:

- I. La venta a la Comisión Federal de Electricidad de la totalidad de la electricidad generada, en cuyo caso los proyectos no podrán tener una capacidad total mayor de 30 MW en un área determinada por la Secretaría de Energía;
- II. El autoabastecimiento de pequeñas comunidades rurales o áreas aisladas que carezcan del servicio de energía eléctrica, en cuyo caso los proyectos no podrán exceder de 1 MW;
- III. La exportación, dentro del límite máximo de 30 MW.

**Solicitud de permiso de exportación de energía eléctrica:** De acuerdo al Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, la Secretaría de Energía, podrá otorgar permisos de generación de energía eléctrica para destinarse a la exportación, a través de proyectos de

cogeneración, producción independiente y pequeña producción, que cumplan las disposiciones legales y reglamentarias aplicables según los casos.

#### **Gestiones para obtener el servicio de respaldo. Convenios y contratos con el suministrador.**

Una vez obtenidos los permisos correspondientes para cualquiera de las modalidades de generación de energía eléctrica previstas en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su reglamento, es necesario celebrar convenios de interconexión, compraventa de excedentes, transmisión y energía de respaldo con el suministrador.

#### **4. Contrato de interconexión.**

El objeto de este Contrato es realizar y mantener durante la vigencia del mismo, la interconexión entre el Sistema Eléctrico y la Fuente de Energía y, en su caso, el o los Centros de Consumo; así como establecer las condiciones generales para los actos jurídicos que celebren las partes relacionados con la generación y con la transmisión de energía eléctrica.

#### **5. Convenio de compra-venta de excedentes de energía.**

Si el Permisionario desea poner a disposición del Suministrador excedentes de energía por 20 MW o menos, por los que pretenda pago de capacidad y energía, presentará su oferta de venta de excedentes al suministrador, de acuerdo con el procedimiento establecido en el Acuerdo de Excedentes.

El Suministrador analizará la propuesta y si ésta cumple con la condición estipulada en el párrafo 3.4 de dicho Acuerdo de Excedentes, las Partes celebrarán un Convenio de compraventa el cual se sujetará a los lineamientos establecidos en el mismo Acuerdo de Excedentes.

#### **6. Convenio de transmisión.**

Si el Permisionario requiere usar el Sistema para llevar energía eléctrica desde su Fuente de Energía hasta sus Centros de Consumo, solicitará el Servicio de Transmisión al Suministrador quien llevará a cabo los estudios de factibilidad correspondientes, basándose en la ubicación y características de los Centros de Consumo y la Fuente de Energía que para tal efecto, ha proporcionado el Permisionario.

En caso de resultar factible el servicio, las Partes celebrarán un Convenio, para lo cual se estará a lo establecido por la Comisión Reguladora de Energía en la Metodología de Transmisión por la que se autorizan los cargos correspondientes a los Servicios de Transmisión.

#### **7. Contrato de respaldo.**

Para cubrir una posible disminución de capacidad de su Fuente de Energía, programada o forzada, el permisionario podrá celebrar un contrato con el suministrador de la energía, para lo cual se estará a lo estipulado en la parte conducente del Acuerdo de Tarifas.

## **Gestiones ambientales y para aprovechamiento del recurso natural.**

A fin de evitar que el proyecto que desea desarrollar impacte negativamente al medio ambiente, es necesario solicitar un dictamen de impacto ambiental para lo cual es necesario evaluar los posibles impactos del proyecto desde su construcción hasta su operación, con base en estudios científicos y técnicos, y prever las medidas para evitar o mitigar sus efectos.

### **8. Manifestación de impacto ambiental particular, regional o informe preventivo.**

**Manifestación de Impacto Ambiental Particular:** El trámite se resuelve de acuerdo a su tamaño e impacto, dependiendo de si las obras y actividades derivadas del proyecto, puedan causar desequilibrio ecológico, por la modalidad de Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) particular o regional, o por la modalidad de Informe Preventivo (IP).

Este trámite se debe realizar en las oficinas de la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en el Distrito Federal y a las Delegaciones Federales para el resto del país.

**Manifestación de Impacto Ambiental Regional:** El objetivo de la manifestación de impacto ambiental es determinar la viabilidad del proyecto del permisionario, en función del impacto ambiental en el sitio y su entorno, desde su construcción hasta su operación vía informe preventivo (IP).

**Informe Preventivo:** El Informe Preventivo se presenta en el caso de que existan normas oficiales mexicanas u otras disposiciones que regulen las emisiones, las descargas, el aprovechamiento de recursos naturales y, en general, todos los impactos ambientales relevantes que puedan producir las obras o actividades o cuando las obras o actividades estén expresamente previstas por un plan parcial o programa parcial de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que cuente con previa autorización en materia de impacto ambiental.

### **9. Autorización de cambio de uso de suelo en terrenos forestales.**

Cuando se pretende desarrollar un proyecto de biomasa que utilice recursos forestales maderables, se debe tramitar esta autorización en las oficinas de la Dirección General de Federalización de Servicios Forestales y de Suelo, de la SEMARNAT.

### **10. Informe de aprovechamiento de Vida Silvestre**

Para realizar el aprovechamiento de flora y fauna silvestre es necesario contar con los permisos necesarios, requeridos para el proyecto del permisionario en el caso de que tener la operación de la Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre para realizar trabajos de manejo, conservación, restauración, y aprovechamiento sustentable de especies silvestres; así como aquéllas que realizaron aprovechamiento extractivo al amparo de una Autorización de Aprovechamiento Extractivo.

### 2.3 Localización e investigación de emplazamientos eólicos

Uno de los primeros escollos que se encuentran a la hora de diseñar y formular un emplazamiento es el desconocimiento de los recursos de la zona.

Existen fuentes de información a escala global como las mediciones vía satélite o mapas elaborados por instituciones internacionales como el UNEP (United Nations Environmental Program) o el NREL (National Renewable Energies Laboratory) que aportan datos de potencial Solar y eólico pero normalmente serán algo dispersos aunque sirven de referencia rápida. Por eso tendrán que complementarse con la intuición, la experiencia de los habitantes de la zona y con mediciones in situ.

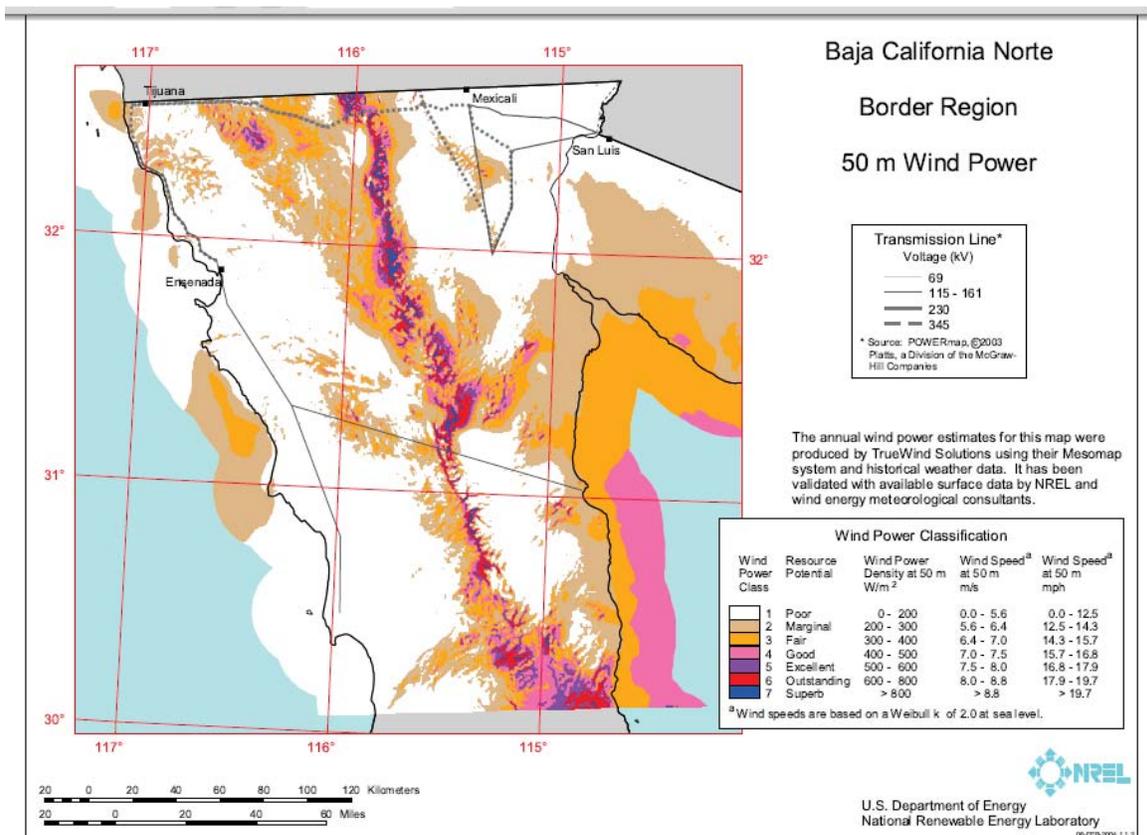


Figura 2.3. Atlas de viento de Baja California.  
Fuente: [http://www.nrel.gov/wind/pdfs/mexico\\_baja.pdf](http://www.nrel.gov/wind/pdfs/mexico_baja.pdf)

Aunque existen ya otros software y programas para tener un mejor panorama de los potenciales sitios, de los más utilizados esta el software de 3tier ([www.3tier.com](http://www.3tier.com)), que nos permite visualizar el viento a una altura de 80 mts y nos da la rosa de vientos del lugar elegido. Algunos gobiernos de los estados utilizan este software para desarrollar sus atlas eólicos. Tal es el caso de Nuevo León.

Otra alternativa es el software MesoMap© ([www.meteosimtruewind.com](http://www.meteosimtruewind.com)). La tarea para localizar zonas con recurso eólico suficiente se consigue de manera rápida y sistemática. La validación realizada con datos de más de 1,000 estaciones en distintas partes del globo muestra un rango de

errores entre el 5 y el 7% en el viento medio anual a la altura del buje. Los gobiernos pueden determinar cuánta energía eólica puede contribuir a sus recursos y planificar campañas de medida de manera más eficiente. Los desarrolladores de proyectos pueden centrar rápidamente su atención en los sitios de mayor potencial antes de realizar ninguna medida. El resultado final es el estudio del recurso eólico a largo plazo con resoluciones de entre 90 y 200 metros.

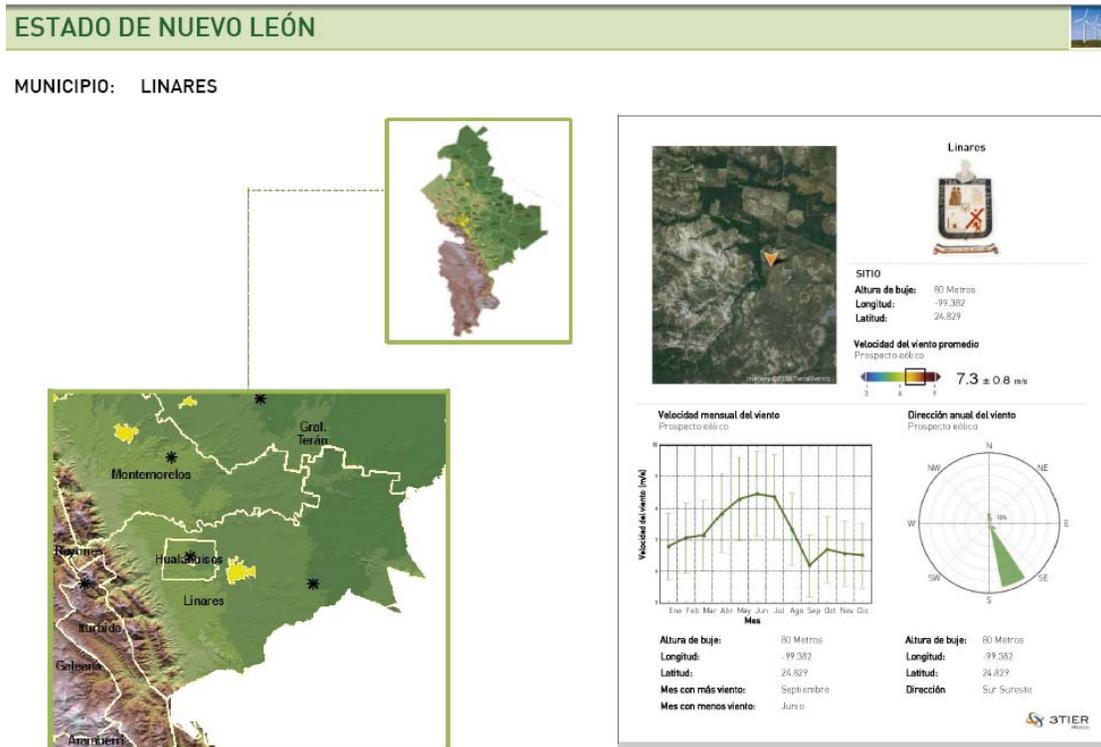


Figura 2.4. Atlas de viento de Gobierno del estado de Nuevo León.  
 Fuente: [http://200.23.43.29/eolico/Atlas\\_de\\_Potencial\\_Eolico\\_de\\_Nuevo\\_Leon.pdf](http://200.23.43.29/eolico/Atlas_de_Potencial_Eolico_de_Nuevo_Leon.pdf)

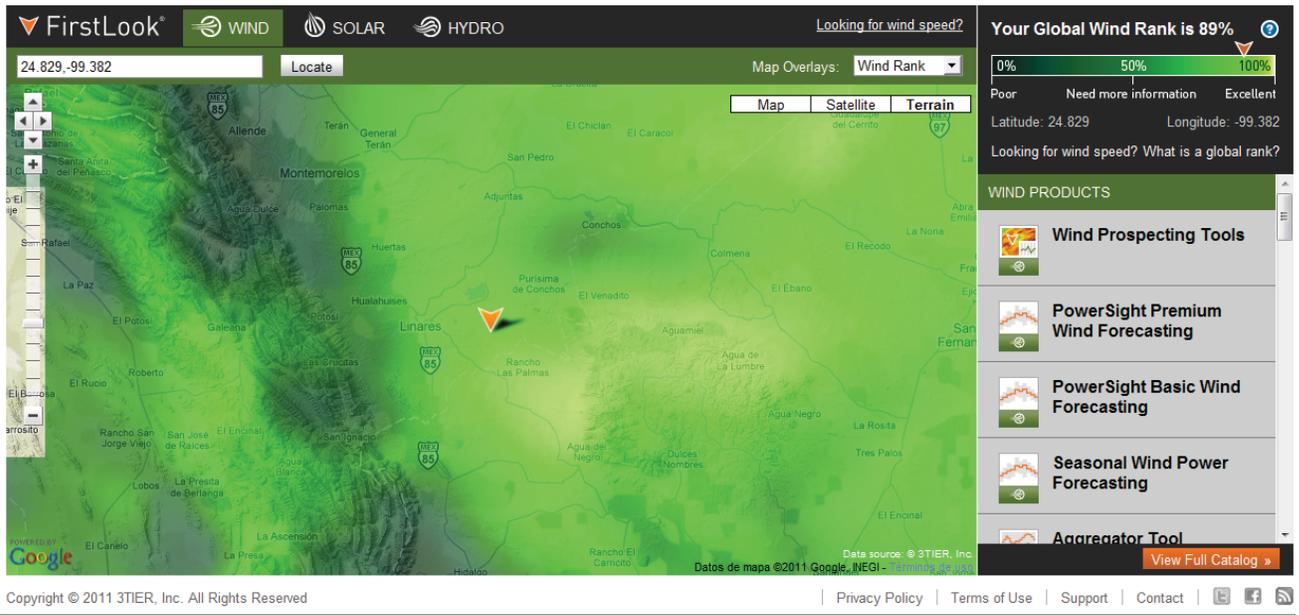


Figura 2.5. Información de 3tier del mismo punto del atlas del Estado de Nuevo León.

Fuente: [www.3tier.com](http://www.3tier.com)

Hay que recordar que el gobierno Federal de México recién ha dado a conocer el mapa del potencial eólico de todo el País.

## 2.4 Búsqueda de emplazamiento.

Una vez ya observado algún sitio con las herramientas descritas anteriormente, se acude a los diversos sitios prospectados.

Durante esta primera fase, una buena determinación de emplazamiento será fundamental para la continuación de los procesos posteriores, dentro de este proceso se deberá realizar los siguientes pasos:

1. Recopilación de información de potencial eólico.
2. Preselección de emplazamientos.
3. Visita a los emplazamientos.
4. Elaboración de los informes de las visitas: A partir de la evaluación de los informes elaborados y de la determinación de potencia, el emplazamiento puede ser rechazado o quedar pendiente para su visita en campo en caso de que no se haya pasado por este proceso, en caso contrario, si el emplazamiento es aprobado:
5. Instalación de la torre de medición en sitio

### **Evaluación mediante la medición in situ.**

Al diseñar un gran parque eólico, pequeñas diferencias en la velocidad predicha del emplazamiento se revelan significativas en cuanto a la rentabilidad esperada. Por ello se realizan medidas durante un período mínimo de un año a fin de asegurar un conocimiento preciso de las condiciones del lugar escogido. La medición in situ también es un complemento útil a otras fuentes de datos, permitiendo extrapolar el histórico disponible de estaciones meteorológicas cercanas a nuestro entorno.



Figura 2.6. Torre de medición in situ.

Para llevar a cabo una medición in situ de un emplazamiento previamente identificado se deberán considerar los siguientes aspectos:

- Ubicación en zona representativa, la torre deberá situarse en un sitio que pueda ofrecer la mayor medición del viento del emplazamiento.
- Buena exposición al viento, el sitio de instalación de la torre deberá estar libre de obstáculos, con una buena exposición al viento.
- Buena orientación al viento.
- Facilidad de acceso.
- Obtención permiso propietario.
- Obtención permiso/licencia municipal.

Posterior a la instalación de torres de medición, se llevará a cabo lo siguiente:

- Obtención de datos por un periodo no menor a un año, misma que podrá ser manual o a través de tele medidas por medio del Data Logger.
- Evaluación y tratamiento de datos (mensual).
- Obtención de la distribución de frecuencias.
- Obtención de rosa de vientos.

## **2.5 Negociaciones del terreno**

Otro punto fundamental y crucial dentro del proyecto es la disponibilidad de terrenos, en México existen diferentes tipos de propiedad rural: ejidos, terrenos comunales, pequeña propiedad y terrenos nacionales, cada uno con derechos y obligaciones distintos. También se encuentran propietarios privados. Estas diferencias determinan diversos arreglos con las instituciones de crédito.

### **Ejidos y terrenos comunales**

El tipo ejidal y comunal existen en base a la Ley de la Reforma Agraria con autoridad propia entre los ejidatarios y se manejan sus decisiones por medio de asambleas generalmente mensuales y su registro en el Registro Agrario Nacional (RAN).

Los ejidos fueron creados como organizaciones colectivas a pesar de que en la práctica son pocos los que tienen este tipo de organización económica. Hasta 1992 las tierras ejidales eran propiedad del Estado y éste tenía el control de las decisiones relativas a la propiedad. Al modificarse el artículo 27 Constitucional se reconoce la personalidad jurídica y el patrimonio propio de los núcleos de población ejidales. Con esto se reconoce al ejido como un todo y se permite que las asambleas ejidales tomen las decisiones de forma autónoma, pero no se habla de los derechos de los ejidatarios como individuos, sino como parte de una copropiedad.

### **Pequeña propiedad agrícola, ganadera y forestal**

La pequeña propiedad rural es la propiedad privada, individual y con derechos de transacción ilimitados, es decir, se puede enajenar, hipotecar, rentar y hacer cualquier tipo de tratos o sociedades con ella. Asimismo, sus propietarios tienen la obligación de pagar el impuesto predial correspondiente. Este tipo de propiedad no se puede poseer de forma ilimitada puesto que en los Estados Unidos Mexicanos quedan prohibidos los latifundios. El tipo particular está regido por el código civil local y registrado en el Registro Público de la Propiedad local.

### **Terrenos nacionales**

Los terrenos de los gobiernos, ya sea federal, estatal, municipal, o ayuntamientos, se registran en alguno de los anteriores de acuerdo al régimen de propiedad.

En esta fase del proyecto, además de verificar la situación legal de los terrenos y cumplir con la legislación correspondiente de acuerdo al tipo de propiedad, se deberá tener en cuenta también el

uso de suelo, si es agrícola, forestal o urbano, así mismo se deberá poner atención especial si es un área natural protegida o que se encuentra en conflicto agrario, para tal caso es recomendable ir a las instancias correspondientes a verificar la situación de los mismos, antes de formalizar algún contrato.

De acuerdo a la información proporcionada por la Asociación Mexicana de Energía Eólica, en lo concerniente al pago a ejidatarios en la zona de Oaxaca en donde se instalan los aerogeneradores, se han utilizados diversos mecanismos de pago:

- Pagos por Hectárea

El permisionario paga mensualmente por hectárea una cantidad fija, independientemente si el parque produce o no, independientemente también si en la hectárea ocupada hay camino de acceso, turbina, plataforma o subestación. Este pago es indexado anualmente de acuerdo al índice de inflación.

- Pago por porcentaje de ingresos

El permisionario paga mensualmente un porcentaje de los ingresos de la central a los ejidatarios del área ocupada por el polígono de la central. Dicho porcentaje oscila entre 1 y 2.5% de los ingresos de la central eólica.

En algunos casos se paga aparte por  $m^2$  de camino de acceso, plataforma o subestación. Este precio se ajusta conforme a los ingresos de la central.

- Pagos por área ocupada

El desarrollador o permisionario paga mensualmente por  $m^2$  de camino de acceso, plataforma o subestación y otro precio por cada aerogenerador. Anualmente el precio pactado se ajusta de acuerdo al índice de inflación.

- Pagos por derecho de vía

Se realiza un pago único por derecho de vía para línea de transmisión el cual supone aproximadamente cierta cantidad de dinero por  $m^2$ .

- Derecho de apartado

Previo a la construcción de los aerogeneradores, se acostumbra realizar varios pagos, por hectárea al año, más un pago por firma de contrato de cada parcela por ejidatario o propietario.

Otro esquema de pago a propietarios, también usado por los desarrolladores del proyecto es:

- Pagos por etapa de prospección y gestión de permisos o licencias

Se realiza un pago anual o semestral por el tiempo que dure la primera etapa del proyecto, el cual supone la gestión de trámites y permisos, la medición con una torre meteorológica por al menos un año. Generalmente esta etapa puede tener un lapso de al menos un año y extenderse hasta dos o tres años

- Pagos por etapa de construcción

Se realiza un pago anual o semestral por el tiempo que dure la segunda etapa del proyecto, esta es la fase de construcción. Es común que esta etapa dure un año o dos a lo sumo.

- Pagos por etapa de operación

Se realiza un pago por el tiempo que dure la tercera y última etapa del proyecto, esta es la fase de operación. Aquí se paga mensualmente, trimestralmente, semestralmente o de manera anual un porcentaje de los ingresos de la central a los ejidatarios o propietarios del área ocupada por el polígono de la central. Dicho porcentaje no es mayor al 2.5% de los ingresos de la central eólica. La etapa dura al menos 20 años.

Es importante mencionar que para colocar aerogeneradores de una capacidad de 2 MW es necesario contar con una área de al menos 15 a 20 hectáreas, solo para una máquina. Es decir si se requiere instalar un parque eólico de 100 MW, considerando cada aerogenerador de 2 MW, es necesario contratar 1,000 hectáreas de terreno, esto en caso de que los terrenos sean planos o llanos.

Si la orografía del terreno no es completamente plana, lo cual ocurre en la gran mayoría de los sitios prospectados, el área necesaria para instalar un proyecto eólico será mucho mayor.

## **2.6 Evaluación del aprovechamiento eólico**

Conocer las características principales asociadas al recurso eólico y de la física elemental que lo rige permitirá al diseñador aprovechar efectos localizados puntualmente y predecir mejor los valores esperables.

Una característica del recurso eólico es que puede variar mucho en distancias cortas según la orografía, la altura de la torre del aerogenerador y la rugosidad del terreno. Además, puesto que la energía contenida en el viento depende de la velocidad al cubo, las diferencias se amplifican rápidamente al traducirlas a energía disponible. Así que, para una buena evaluación, conviene conocer lo más aproximadamente posible las características del emplazamiento exacto del aerogenerador.

Los datos provenientes de las fuentes “oficiales” muchas veces son interpolaciones entre dos estaciones de medición lejanas entre sí o la media en un cuadrado de un grado (1°) de lado en el caso de la medición vía satélite con lo que pueden diferir bastante de la realidad de la localización escogida.

Por ejemplo, la mayoría de las estaciones meteorológicas que proporcionan datos útiles de viento corresponden a las situadas en aeropuertos lo que significa que seguramente las medidas se han tomado en el lugar con menos velocidad media de toda la zona, ya que los aviones aterrizan mejor cuanto menor sea la turbulencia atmosférica. Además, incluso aunque no se trate de un aeropuerto, muchas estaciones de medición tienen sus aparatos en zonas de turbulencia (detrás de un edificio, entre los árboles) por lo que sus datos no tienen la fiabilidad que sería deseable, por tanto, habrá que tomar su predicción como una base mínima del recurso y no como una cifra exacta, en este caso se tendrá que recurrir a las correlaciones y aproximaciones del recurso mediante modelos matemáticos.

Algo similar ocurre con las mediciones vía satélite o mediante la utilización de programas informáticos, como los mencionados 3tier, Mesomap, o el atlas del gobierno federal: en el mar la resolución de grado (1°) es aceptable; como no existen efectos puntuales y se trata de una superficie homogénea, tomar una media del área se acercará bastante a la realidad. Sin embargo, en tierra firme, en la cima de una colina, el viento puede llegar a ser hasta un 100% del existente en la base; resulta obvio que no se pueden tomar sin precauciones los datos de la telemetría, de Institutos de

Meteorología correspondiente o del atlas apropiado y que el diseñador tendrá que guiarse tanto por su conocimiento de las características particulares del recurso eólico como por métodos cualitativos que si bien no proporcionan datos estrictos permiten conocer con una buena aproximación las posibilidades del emplazamiento.

Los estudios del emplazamiento del recurso del viento se pueden clasificar en tres categorías básicas:

- Identificación preliminar de área.
- Evaluación del recurso del viento del área.
- Micrositing.

Los atlas del recurso del viento de NREL son útiles para las primeras dos categorías, pero no contienen la información detallada necesaria para los estudios micrositing. Este micrositing no es más que la prospección de los recursos eólicos a escala de una instalación de aerogeneradores.

El rendimiento de un parque eólico está fuertemente ligado a la disposición de sus aerogeneradores sobre el terreno, ya que las diferencias en cuanto a velocidad de viento media, las pérdidas por efecto estela y las turbulencias pueden variar mucho dentro del propio emplazamiento. Por consiguiente, el micrositing o disposición de los aerogeneradores sobre los terrenos del parque eólico es esencial y debe optimizarse para obtener el máximo rendimiento y garantizar el cumplimiento de los parámetros de diseño de la máquina, especialmente las turbulencias admisibles.

Sin embargo, previamente a la disposición de los aerogeneradores es importante realizar una buena evaluación del Recurso Eólico. Normalmente, esto implica un proceso de extrapolación de los datos recopilados durante la campaña de medición de un año mediante una torre o varias torres meteorológicas y la utilización de potentes herramientas informáticas para evaluar el recurso eólico de una manera fiable y conoce los márgenes de utilización de las herramientas informáticas más comunes, como podría ser WAsP ([www.wasp.dk](http://www.wasp.dk)), wind pro ([www.emd.dk](http://www.emd.dk)), SiteWind ([www.meteosimtruesimwind.com](http://www.meteosimtruesimwind.com)).

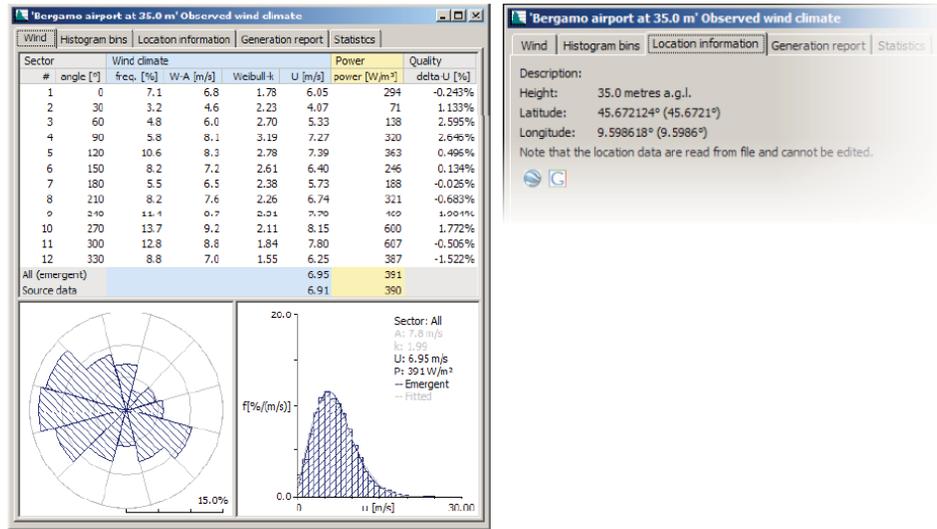
De este modo y con la ayuda de las herramientas mencionadas, para la modelización de viento y de diseño de parques eólicos, se optimiza el layout o distribución física de los aerogeneradores para maximizar la producción de energía y emiten informes de:

- Diseño de implantaciones o distribución de turbinas (Lay-Out)
- Estudios de Producción
- Determinación de Clase, Turbulencia Ambiental y Efectiva

Porque no sólo es importante maximizar la producción de energía, si no elegir el tipo de aerogenerador más apropiado en función de las características del viento presentes en el emplazamiento.



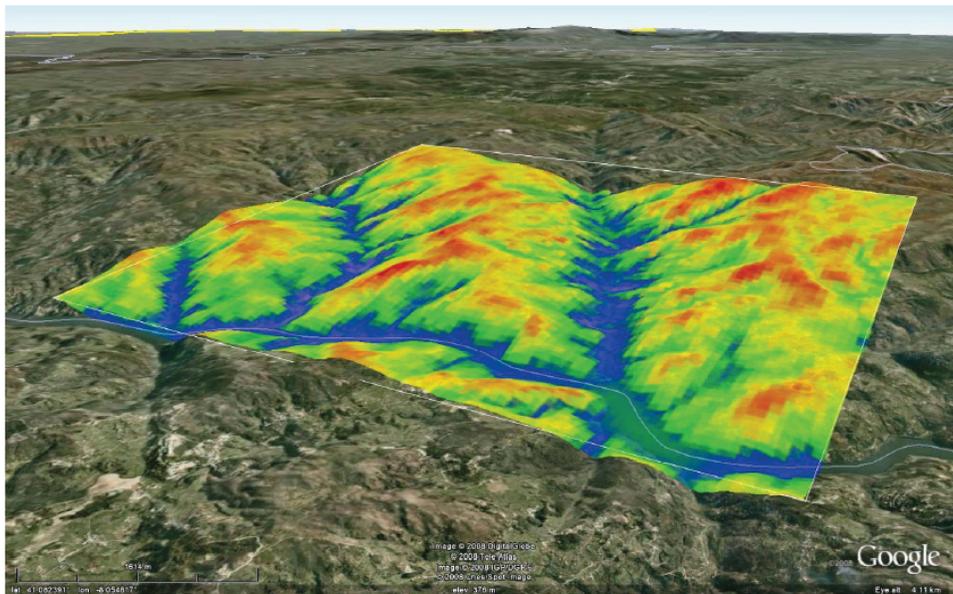
## Wind distributions



Rise DTU  
National Laboratory for Sustainable Energy

Figura 2.9. Información generado por WAsP (distribución de Weibull y rosa de vientos de sitio).  
Fuente: SAWEP Workshop Wind Atlas for South Africa (WASA) Cape Town, 4th March 2010.

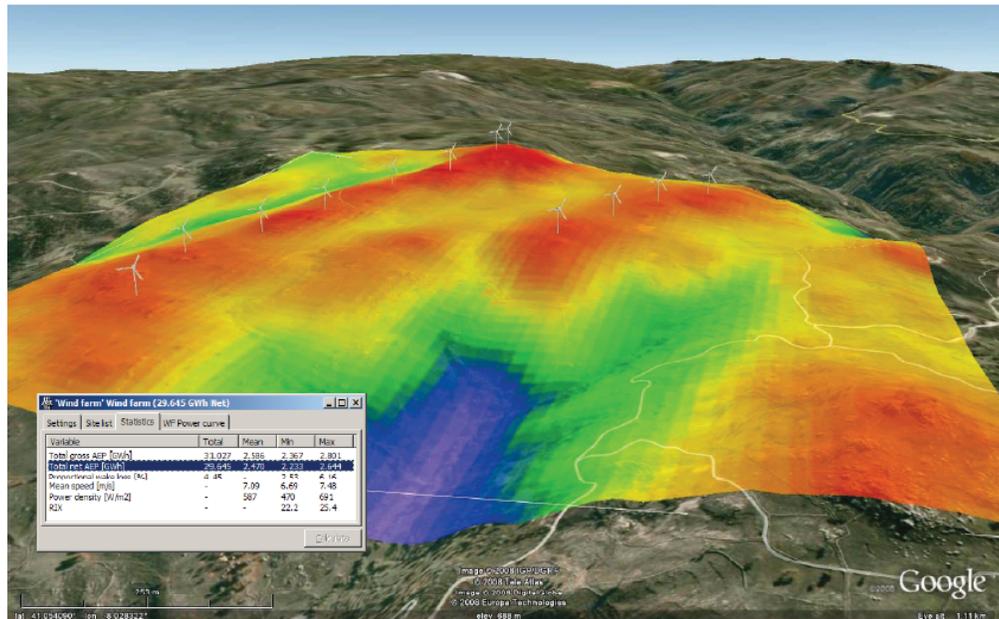
## Sample wind resource map



Rise DTU  
National Laboratory for Sustainable Energy

Figura 2.10. Distribución de potencia en terreno generado por WAsP.  
Fuente: SAWEP Workshop Wind Atlas for South Africa (WASA) Cape Town, 4th March 2010.

## Sample wind farm layout and estimated production



Risø DTU  
National Laboratory for Sustainable Energy

Figura 2.11. Distribución de aerogeneradores en sitio generado por WASP  
Fuente: SAWEP Workshop, Wind Atlas for South Africa (WASA) Cape Town, 4th March 2010.

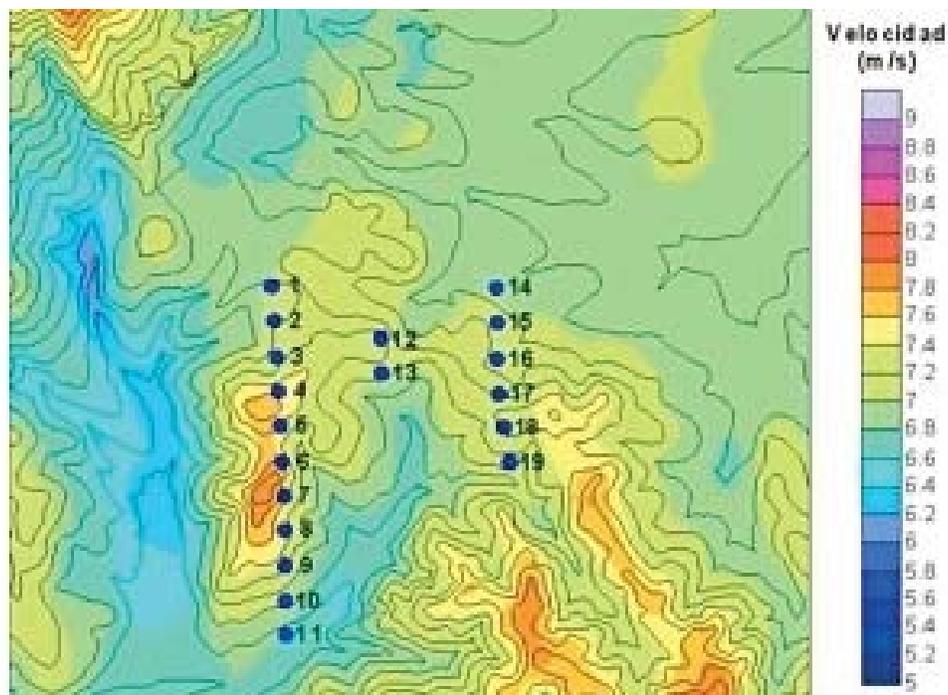


Figura 2.12. Ejemplo de Distribución de aerogeneradores según velocidad del viento.  
Fuente: <http://www.normawind.com/servicios-detalle.php?idservicio=11>

# **CAPITULO 3**

### **3. ASPECTOS TÉCNICOS.**

En este capítulo se explicara cómo se lleva a cabo la implementación de un parque eólico, desde los aspectos técnicos, una memoria básica del proyecto o anteproyecto, la infraestructura eléctrica del parque incluyendo el desarrollo de la ingeniería, los costos económicos que conllevan este tipo de proyectos, las implicaciones medioambientales en sitio del proyecto y finalmente la fase de construcción del proyecto.

#### **3.1 Aspectos Técnicos.**

Para cualquier proyecto de desarrollo de un parque eólico es necesario considerar todos los aspectos enunciados en los capítulos previos. La empresa desarrolladora o empresa promotora deberá considerar la planificación y la parte técnica del proyecto, analizando todo lo ya descrito que resume y se complementa en la siguiente lista:

- La identificación de localizaciones adecuadas.
- La medición del viento en las áreas más adecuadas.
- Análisis de viabilidad económico-financiero previo-.
- Redacción de anteproyecto.
- Negociación de terrenos o predios.
- Gestión de autorizaciones y permisos.
- Solicitud de punto de evacuación.
- Negociación de la financiación económica del proyecto.
- Desarrollo de la ingeniería del proyecto.
- Solicitud de licencia de obra.
- Inicio de la construcción.
- Preparación de los accesos y plataformas de los aerogeneradores.
- Zanjas y cimentaciones.
- Líneas eléctricas y subestación eléctrica.
- Montaje de aerogeneradores.
- Solicitud de acometida eléctrica provisional.

En los siguientes incisos del presente capítulo describiremos los puntos faltantes y que se refieren propiamente a la ejecución e implementación de un parque eólico.

### **3.2 Memoria básica proyecto de un parque eólico.**

A continuación se describe una memoria básica de un proyecto eólico de 100 MW, considerando que todos los valores, aunque son propuestos, están apegados a los valores reales en proyectos de este tipo en México. Tal es el caso de los proyectos eólicos que la CFE ha licitado en los últimos 5 años. Para ejemplificar la ubicación del proyecto se considera el estado de Oaxaca, donde ya se han desarrollado proyectos similares, aunque se podría proponer ubicarlo en Zacatecas, Baja California, Tamaulipas o cualquier otro estado Mexicano con potencial suficiente.

Aunque si bien está considerado el desarrollo del parque eólico, se debe tomar como alcance adicional la subestación eléctrica y el enlace al sistema eléctrico de 230 KV ambos son mencionados solo por razones de ejemplificar el alcance global del proyecto.

Reiteramos que el objetivo es desarrollar el parque eólico, no su interconexión a la red de transmisión de energía.

#### **EJEMPLO BASE PROYECTO EÓLICO DE 100 MW**

- **Introducción**

El Proyecto consistirá en el desarrollo de las Instalaciones que incluyen la Central eólica de 100 MW, incluyendo el sistema de colección de energía eléctrica dentro de la central eólica.

- **Descripción del proyecto**

##### **Especificación técnica.**

Una (1) Central Eólica completa de una capacidad nominal de 100 MW integrada por aerogeneradores del mismo modelo y de la misma capacidad individual de 2,000 KW (o 2MW); incluyendo la ingeniería, suministro, instalación, construcción, pruebas y puesta en servicio, edificio de control, subestación eléctrica principal de 34.5-230 KV, sistemas de control y monitoreo, transformadores, cableado, enlace al sistema eléctrico de 230 KV, obra civil; obras electromecánicas; planeación, dirección y supervisión; Sistema de Aseguramiento de la Calidad, Sistema de Administración Ambiental; documentación y capacitación; fletes hasta el sitio de la Central, impuestos y seguros; en general lo que se requiera para la oportuna y satisfactoria ejecución del Proyecto completo hasta su entrega en operación a cliente.

Cada aerogenerador contará con un centro de transformación media tensión, el cual elevará la tensión de la energía generada de 690V a 34.5 KV. Ésta se conducirá hasta la subestación principal de la Central mediante buses colectores subterráneos.

##### **Localización del proyecto.**

El sitio del proyecto se encuentra localizado, en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, aproximadamente a 310 km al Este-Sureste de la Ciudad de Oaxaca, capital del Estado de Oaxaca. Entre las ciudades de importancia cercanas al sitio, se encuentra el puerto de Salina Cruz localizado al Suroeste y la ciudad de Juchitán localizada al Suroeste. Al sur del sitio, se encuentra una comunidad, en donde se cuenta con servicio de ferrocarril que comunica al oriente con Arriaga y al poniente con Juchitán. El acceso al Sitio de la Central se logra a través del camino pavimentado.

### Parámetros del suelo.

Conforme a la Carta de Regionalización sísmica de la República Mexicana del Manual de Diseño por Sismo de la CFE (1993), la zona se localiza en la Zona “D” de alta intensidad sísmica.

- **Datos de partida.**

- Potencia a instalar: 100 MW
- Potencia por aerogenerador: 2.00 MW
- Número de aerogeneradores: 50 unidades.
- Tensión de Generación: 690 VCA
- Tensión de Distribución: 34.5 kV
- Separación entre aerogeneradores: 3 veces el diámetro de las aspas en la misma línea y 7 veces el diámetro entre líneas.
- Diámetro total de aspas: 80 Mts

- **Lista de planos y memoria de cálculo del proyecto.**

Esta es la lista documentos, memorias o planos que se realizarán para el proyecto para su construcción.

LISTA DE DOCUMENTOS DE INGENIERIA DEL PARQUE EOLICO
TITULO
<b>INGENIERIA CIVIL</b>
<b>GENERALES</b>
Plan de Ingeniería
Criterios de Diseño - Parque Eólico
Coordenadas de Implantación de Aerogeneradores
Disposición del Parque - Planta General
Localización de Bancos de Materiales
Levantamiento Topográfico
Plataformas - Secciones Tipo
Intersecciones de Caminos con Líneas de Media Tensión y Baja Tensión
Localización de Torres de Medición
Ubicación Geográfica Parque Eólico
Levantamientos Topográficos para Parques Eólicos

Estudios Hidrológicos para Parques Eólicos
<b>CAMINOS DE ACCESO</b>
Planta Geométrica General
Volumetría de Obra de Caminos
Estructuración de Caminos - Secciones Tipo
Planta Geométrica y perfil Camino 1.0
Proyecto de la rasante Camino 1.0
Secciones transversales de construcción Camino 1.0 -
Estructuración de Caminos - Secciones Tipo
Acceso a Torres Meteorológicas y Subestación
Secciones Transversales de Construcción - Acceso a Torres Meteorológicas y SE
Detalle de Entronque Camino 1.0
<b>CIMENTACIONES</b>
Memoria de Cálculo Cimentaciones Aerogeneradores
Memoria de Cálculo Cimentación de Torres Meteorológicas
Cimentaciones de Aerogeneradores Tipo
Cimentación de Torres Meteorológicas
Caseta para Torres Meteorológicas
<b>PROYECTO DE OBRAS DE DRENAJE</b>
Planta General de Obras de Drenajes
Localización General Obras de Drenaje
Drenaje de Caminos, Alcantarillas Camino 1.0
Memoria de Cálculo para Alcantarillas de Losa Camino 7.0
<b>CANALIZACIONES Y CABLEADOS</b>
Canalizaciones Eléctricas -
Canalizaciones Eléctricas - Secciones Tipo
Ubicación de Registros de Media Tensión y Comunicaciones o Fibra Óptica
Detalle de Registros de Media Tensión y Comunicaciones o Fibra Óptica
Registros para Fibra Óptica - Secciones Tipo
Registros para Cruce de Carretera - Camino

<b>INGENIERIA ELECTROMECHANICA</b>
<b>DIAGRAMA UNIFILAR</b>
Diagrama Unifilar General
<b>COMUNICACIONES O FIBRA OPTICA</b>
Comunicaciones o red de Fibra Óptica
<b>INFRAESTRUCTURA DE MT</b>
Infraestructura de Media Tensión - Planta General
Infraestructura de Media Tensión - Malla de Puesta a Tierra
Infraestructura de Media Tensión - Malla de Puesta a Tierra - Detalles
<b>GENERALES</b>
Memoria de Cálculo Eléctrica
Memoria de Cálculo de corto circuito
Memoria de Cálculo BT
Memoria de Calculo MT
Hoja de Datos Celdas de Media Tensión 36-38 kV
Hoja de Datos Transformadores 2500 KVA
Hoja de Datos Cable de Potencia Parque
Hoja de Datos Cable de Tierras Parque
Hoja de Datos Centro de Transformación
Hoja de Datos Cable de Fuerza Baja Tensión
Hoja de Datos Cable de Fibra Óptica
Hoja de Datos Cajas de Empalme y Accesorios para Fibra Óptica
Especificación Técnica Celdas de Media Tensión 36-38 kV
Especificación Técnica Transformadores 1000 KVA
Especificación Técnica Centro Transformación
Especificación Técnica Cable de Potencia
Especificación Técnica Cable de Fibra Óptica
Especificación Técnica Cajas de Empalme y Accesorios para Fibra Óptica
Lista de Recuento de Cable de Potencia
Lista de Recuento de Cable de Tierras
Lista de Recuento de Cable de Fibra Óptica

Lista de Recuento de Tubería de Canalización y Drenajes
Lista de Entradas de Cables Eléctricos a cada Aerogenerador
Listado de Recuento de Accesorios para Fibra Óptica

- **Leyes, Reglamentos, Criterios, Normas y Códigos Mexicanos.**

A continuación se presenta una lista de las leyes, reglamentos, normas y códigos que las Instalaciones y el productor deben cumplir, la cual es indicativa pero no limitativa.

- Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) y su Reglamento.
- Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN).
- Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y sus reglamentos.
- Ley Federal de Derechos.
- Ley de Aguas Nacionales y su reglamento.
- Ley Federal del Trabajo.
- Ley General de Salud.
- Ley del Seguro Social.
- Ley de Protección Civil.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
- Leyes y Reglamentos del Municipio o del Estado, aplicable a los temas no cubiertos en estas Especificaciones.

**Relación de Normas y Proyectos de Normas:**

- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE 2005 Instalaciones eléctricas (Utilización)
- Norma Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001 Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.
- Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-, Equipo de Protección Personal – Selección, Uso y Manejo en los Centros de Trabajo.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-STPS-1999 –Relativa a las condiciones de edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo-condiciones de seguridad e higiene.
- Norma Oficial Mexicana NOM-002-STPS- 2001 –Relativa a las condiciones de seguridad para la prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.
- Norma Oficial Mexicana NOM-019-STPS-1993 –Relativa a la Constitución y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene en los centros de trabajo.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-STPS-1993 –Relativa a los requerimientos y características de los informes de los riesgos de trabajo que ocurran, para integrar las estadísticas.
- Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999 –Relativa a las condiciones de iluminación que deben tener los centros de trabajo.
- Norma Oficial Mexicana NOM-026-STPS-1998 –Relativa a colores y señales de seguridad e

higiene e identificación de riegos por fluidos conducidos por tuberías.

- NOM-008-SCFI-2002 Sistema General de Unidades de Medida.
  - NOM Serie B - Métodos de pruebas mecánicas para productos de acero estructural de alta resistencia.
  - NOM Serie EE - Carretes de madera para conductores eléctricos y telefónicos.
  - NOM Serie J - Motores de inducción, transformadores de corriente, transformadores de potencia, productos eléctricos conductores, técnicas de prueba de alta tensión, cordones desnudos flexibles de cobre para usos eléctricos y electrónicos. Método de prueba de aislamiento.
  - NOM Serie W - Clasificación de cobre.
  - NOM Serie Z - Muestreo para inspección por atributos.
  - NOM Serie 1-7 a 1-63 - Equipos y componentes electrónicos, métodos de prueba para fuentes de alimentación utilizadas en telefonía, cargadores de baterías para uso industrial y de telecomunicaciones.
- Métodos de prueba ambientales y de durabilidad

#### **NMX Normas Mexicanas:**

- NMX-CC-9000-IMNC-2000(ISO 9000:2000) Sistema de Gestión de Calidad.- Fundamentos y vocabulario
  - NMX-CC-9001-IMNC-2000 (ISO-9001:2000) Sistemas de Gestión de Calidad- Requisitos.
  - NMX-SSA-1401-IMNC-2004 Sistema de Gestión Ambiental-Especificación, con orientación para su uso.
  - NMX-CC-SAA-19011-IMNC-2002 (ISO 19011-2002). Directrices para la auditoria de los Sistemas de Gestión de la Calidad y/o Ambiental.
  - NMX-CC-017/1: 1995 IMNC (equivalente a ISO 10012-1:1992) Requisitos de Aseguramiento de Calidad para Equipos de Medición- Parte 1: Sistema de Confirmación Metrológica para Equipo de Medición.
  - NMX-CC-002/4: 1996 INMC (equivalente a ISO 9000-4:1993) Administración de Calidad-Parte 4: Seguridad de Funcionamiento.
  - NMX Serie J - Productos eléctricos, motores de inducción, transformadores de corriente, de potencial, transformadores y autotransformadores de distribución y potencia. Conectores de cobre, clasificación de materiales aislantes.
- NMX –SAST-001-IMNC-2000 Sistema de Administración de Seguridad y Salud en el Trabajo.- Especificación ó la Norma internacional BSI OHSAS 18001:1999 Occupational Health and Safety Management System.- Specification.

#### **Secretaría de Comunicaciones y Transportes:**

- SCT-2.01.01 Normas de Servicios Técnicos. Proyecto Geométrico de Carreteras.
- SCT-3.02.02 Normas para Construcción e Instalación. Terracerías.
- SCT-3.02.03 Normas para Construcciones e Instalaciones de Estructuras y Obras de Drenaje.
- SCT-6.01.03 Pavimentos. Tomos I y II

#### **Normas Internacionales:**

- ISO- International Standard Organization.
- ISO-9000-3:1991 - Quality management and quality assurance standards- Part 3: Guidelines for the application of ISO-9001 to the development, supply and maintenance of software
- ISO 14001-2004 - Norma Internacional para la Gestión Ambiental.

#### **IEC-International Electrotechnical Commission:**

- IEC 34-1 International Electrotechnical. Rotating Electrical Machines.
- IEC-56 International Electrotechnical Comission. High Voltage Alternating Circuit Breakers.
- IEC-137 International Electrotechnical Comission. Bushing For Alternating Voltage Above Looov.
- IEC-129 International Electrotechnical Comission. Alternating Current Desconnectors and Earthing Switches.
- IEC-265 International Electrotechnical Comission. High Voltage Switches.
- IEC-61400-1 International Electrotechnical Comission. Wind Turbine Generator Systems-Part 1: Safety requirements. .
- IEC-61400-12-1 International Electrotechnical Comission. Wind Turbines -Part 12-1: Power Performance Measurements of Electricity producing wind Turbines 1ª edición 2005-12.
- IEC-61400-11 International Electrotechnical Comission. Wind Turbine Generator Systems-Part 11: Acoustic Noise Measurement Techniques.
- IEC-61400-24 International Electrotechnical Comission. Wind Turbine Generator Systems-Part 24: Lightning Protection.
- IEC-60050-415 International Electrotechnical Comission. International Electrotechnical Vocabulary – Part 415: Wind Turbine Generator Systems.

#### **Especificaciones de la Comisión:**

- Manual de Diseño de Obras Civiles (CFE):
- Normas de referencia y especificaciones de CFE.

### **3.3 Infraestructura eléctrica del parque.**

En este apartado se pretende analizar el parque eólicos desde el punto de vista eléctrico, partiendo de la conversión de la energía eólico-mecánica-eléctrica, hasta la conexión con la línea de 34.5 KV que hemos definido de manera hipotética para el proyecto. Es importante mencionar que en este proyecto no se ha contemplado el estudio y diseño de la subestación de transformación necesaria para conectar a los 34.5 KV.

El sistema eléctrico del parque eólico tiene su origen en el generador instalado en cada torre, cuyo objeto es transformar en energía eléctrica, la energía mecánica proveniente del rotor del

aerogenerador. La energía eléctrica producida por el generador en una tensión de 690 volts en forma de corriente alterna trifásica de 60 hz, es elevada a 34.5 KV mediante un transformador instalado en el interior de la base de la torre donde se ubica el aerogenerador, o junto a la torre del aerogenerador.

La energía transformada a 34.5 KV se evacúa, desde cada torre, mediante una línea enterrada a través de una canalización que unirá a los aerogeneradores entre sí. Dependerá de la distribución real en campo de los aerogeneradores, la cantidad de torres que van conectadas entre sí, en este ejemplo se conectarán 10 aerogeneradores hasta hacer 5 circuitos y tener los 50 aerogeneradores conectados.

Se efectuará la interconexión de cada uno de los grupos de aerogeneradores, mediante las celdas de media tensión (34.5 kV) correspondientes que se instalan en el interior de las torres, llevándose las líneas ya agrupadas hasta la subestación, evitando así la instalación de casetas en el interior del parque. En cada aerogenerador también habrá un tablero de protección y control, así como el transformador de servicios auxiliares.

Esta parte descrita en los párrafos anteriores es la parte medular, del sistema eléctrico de un parque eólico y queda mejor entendido en un diagrama unifilar. El diagrama unifilar, está definido, como una representación gráfica de una instalación eléctrica, el conjunto de conductores de un circuito se representa mediante una única línea, independientemente de la cantidad de conductores que lleve este circuito. En la Figura 3.1 se plasma el diagrama unifilar del proyecto de 100 MW.

También en la Figura 3.2. Se muestra el cálculo eléctrico de calibres de un circuito tipo.

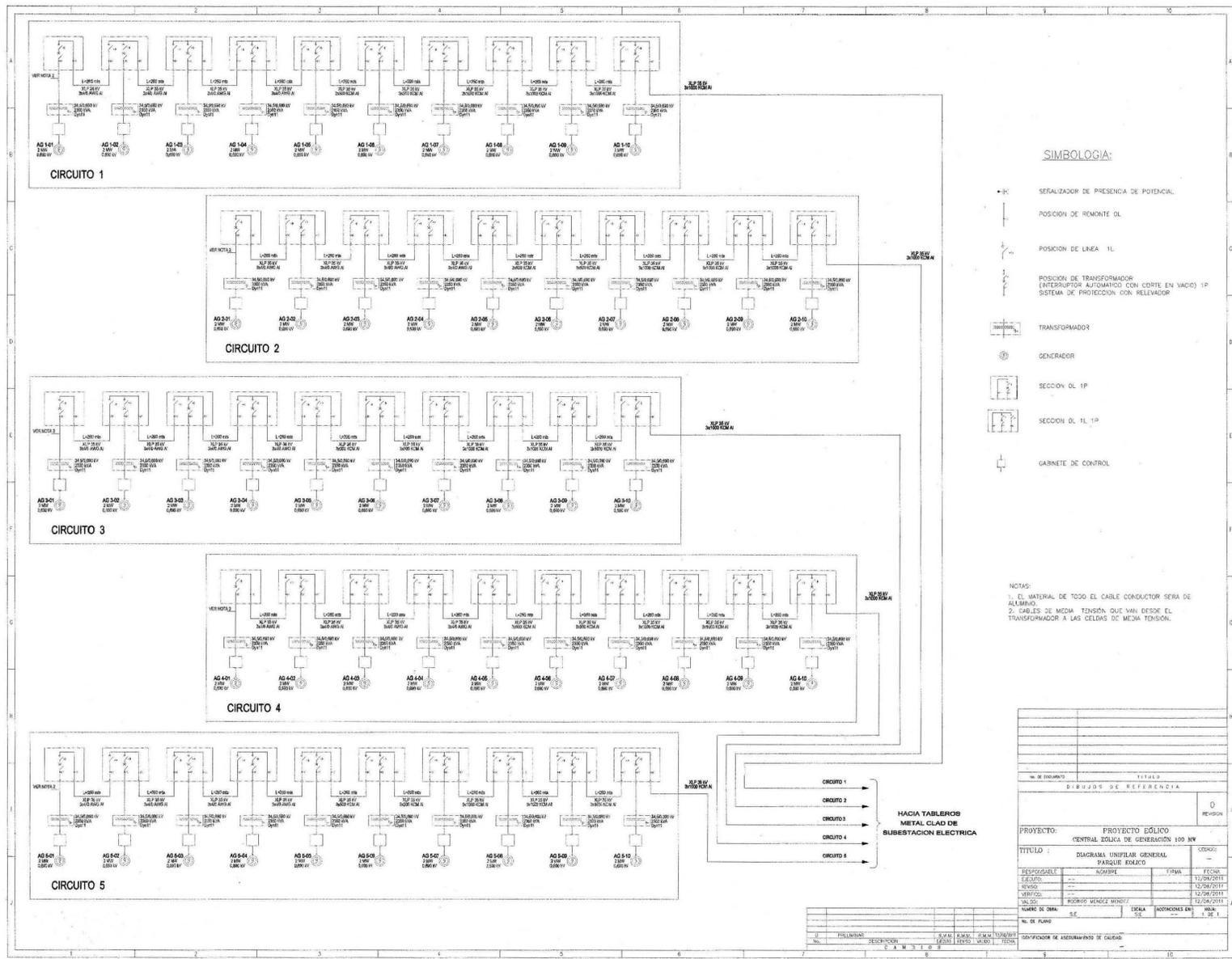
Es conveniente señalar que también se debe instalar una Unidad Remota de Telecontrol (RTU o UTR), que servirá para comunicar órdenes, señales y medidas de potencia, corriente y voltaje entre los aerogeneradores y el sistema de control del parque.

Otro apartado del proyecto eléctrico es el sistema de tierras, pues es de gran importancia en el comportamiento de un sistema eléctrico y en la seguridad del personal que labora en él, especialmente en condiciones de anomalías o presencia de fallas.

De especial importancia en el diseño de las mallas de tierra son los potenciales de toque y de paso, definidos como:

- Potencial de toque o de contacto: es la diferencia de potencial máximo entre una estructura u objeto metálico puesto a tierra y un punto sobre la superficie del terreno a un metro de distancia.
- Potencial de paso: es la diferencia de potencial máximo entre dos puntos de un terreno separado entre sí a una distancia de un paso, la cual se supone de un metro en la dirección del máximo gradiente de potencial.

Figura 3.1. Diagrama unifilar general de un parque eólico de 100 MW.



	Datos del Circuito 1 10 AEROGENERADORES					Caída de Tensión (e)		Pérdida de Potencia (P)		4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM
	Tramo	Longitud con cocas	Intensidad	Ternas en canalización	Sección	V	e%	kW	P%			
AG1-01	AG1-02	280	35.23 A	1	4/0 AWG	6.43 V	0.019%	0.36 kW	0.018%	840	0	0
AG1-02	AG1-03	280	70.46 A	1	4/0 AWG	12.86 V	0.037%	1.44 kW	0.036%	840	0	0
AG1-03	AG1-04	280	105.69 A	1	4/0 AWG	19.30 V	0.056%	3.24 kW	0.054%	840	0	0
AG1-04	AG1-05	280	140.92 A	1	4/0 AWG	25.73 V	0.075%	5.76 kW	0.072%	840	0	0
AG1-05	AG1-06	280	176.16 A	1	500 KCM	15.67 V	0.045%	3.83 kW	0.038%	0	840	0
AG1-06	AG1-07	280	211.39 A	1	500 KCM	18.80 V	0.054%	5.52 kW	0.048%	0	840	0
AG1-07	AG1-08	280	246.62 A	1	1000 KCM	13.30 V	0.039%	3.88 kW	0.028%	0	0	840
AG1-08	AG1-09	280	281.85 A	1	1000 KCM	15.20 V	0.044%	5.07 kW	0.032%	0	0	840
AG1-09	AG1-10	280	317.08 A	1	1000 KCM	17.10 V	0.050%	8.42 kW	0.036%	0	0	840
AG1-10	SE	720	352.31 A	1	1000 KCM	48.87 V	0.142%	20.38 kW	0.102%	0	0	2,160
<b>Total</b>		<b>3240</b>				<b>193.27 V</b>	<b>0.5602%</b>	<b>55.89 kW</b>	<b>0.2794%</b>	<b>3,360</b>	<b>1,680</b>	<b>4,680</b>

Figura 3.2. Memoria de cálculo para obtener conductores y pérdidas de potencia.

### 3.4 Costos generales del proyecto.

En este apartado veremos los costos asociados que tiene un proyecto de una capacidad de 100 MW desde su concepción hasta su funcionamiento, cabe decir que no están contemplados los costos de operación y mantenimiento para la vida de funcionamiento del parque.

Es importante mencionar que actualmente los costos de un parque de estas dimensiones puesto en tierra (onshore) compite de una manera económicamente muy atractiva con otras alternativas de generación eléctrica renovable y cada vez es más atractiva con respecto a otras fuentes de energía que son más agresivas y contaminantes para el medio ambiente, como son el gas natural y el carbón, que son de las tecnologías más utilizadas.

Para un parque eólico mar adentro (offshore) los costos casi se duplican o mas con respecto a los parque en tierra (onshore).

La Figura 3.3 tomada de la administración de la información de la energía de Estados Unidos (US Energy Information Administration EIA por sus siglas en Ingles) plasma los costos en dólares de distintos tipos de generación de energía. Ahí se observa que el costo estimado de generación eólica es de \$2,438.00 USD/KW, con este dato deducimos que el costo de instalación para un Mega Watt es de \$2, 438,000 USD/ MW.

Updated Estimates of Power Plant Capital and Operating Costs					
	Plant Characteristics		Plant Costs		
	Nominal Capacity (kilowatts)	Heat Rate (Btu/kWh)	Overnight Capital Cost (2010 \$/kW)	Fixed O&M Cost (2010\$/kW)	Variable O&M Cost (2010 \$/MWh)
<b>Coal</b>					
Single Unit					
Advanced PC	650,000	8,800	\$3,167	\$35.97	\$4.25
Dual Unit					
Advanced PC	1,300,000	8,800	\$2,844	\$29.67	\$4.25
Single Unit Advanced PC with CCS	650,000	12,000	\$5,099	\$76.62	\$9.05
Dual Unit Advanced PC with CCS	1,300,000	12,000	\$4,579	\$63.21	\$9.05
Single Unit IGCC	600,000	8,700	\$3,565	\$59.23	\$6.87
Dual Unit IGCC	1,200,000	8,700	\$3,221	\$48.90	\$6.87
Single Unit IGCC with CCS	520,000	10,700	\$5,348	\$69.30	\$8.04
<b>Natural Gas</b>					
Conventional NGCC	540,000	7,050	\$978	\$14.39	\$3.43
Advanced NGCC	400,000	6,430	\$1,003	\$14.62	\$3.11
Advanced NGCC with CCS	340,000	7,525	\$2,060	\$30.25	\$6.45
Conventional CT	85,000	10,850	\$974	\$6.98	\$14.70
Advanced CT	210,000	9,750	\$665	\$6.70	\$9.87
Fuel Cells	10,000	9,500	\$6,835	\$350	\$0.00
<b>Uranium</b>					
Dual Unit Nuclear	2,236,000	N/A	\$5,335	\$88.75	\$2.04
<b>Biomass</b>					
Biomass CC	20,000	12,350	\$7,894	\$338.79	\$16.64
Biomass BFB	50,000	13,500	\$3,860	\$100.50	\$5.00
<b>Wind</b>					
Onshore Wind	100,000	N/A	\$2,438	\$28.07	\$0.00
Offshore Wind	400,000	N/A	\$5,975	\$53.33	\$0.00
<b>Solar</b>					
Solar Thermal	100,000	N/A	\$4,692	\$64.00	\$0.00
Small Photovoltaic	7,000	N/A	\$6,050	\$26.04	\$0.00
Large Photovoltaic	150,000	N/A	\$4,755	\$16.70	\$0.00
<b>Geothermal</b>					
Geothermal – Dual Flash	50,000	N/A	\$5,578	\$84.27	\$9.64
Geothermal – Binary	50,000	NA	\$4,141	\$84.27	\$9.64
<b>MSW</b>					
MSW	50,000	18,000	\$8,232	\$373.76	\$8.33
<b>Hydro</b>					
Hydro-electric	500,000	N/A	\$3,076	\$13.44	\$0.00
Pumped Storage	250,000	N/A	\$5,595	\$13.03	\$0.00
Release Date: November 2010					

Figura 3.3. Costos estimados de generación de Energía con distintas fuentes de generación.  
Fuente: [http://www.eia.gov/oiaf/beck\\_plantcosts/index.html](http://www.eia.gov/oiaf/beck_plantcosts/index.html)

Los costos del proyecto que estamos considerando serán valorados en dólares que es la moneda internacional de mayor uso en estos proyectos. Para obtener los costos en pesos mexicanos habrá que considerar el tipo de cambio peso- dólar vigente y realizar una simple multiplicación.

Para el caso de nuestro proyecto el costo en dólares es:

COSTO ESTIMADO DEL PROYECTO DE 100 MW	
COSTO POR MEGAWATT	\$2,438,000.00 USD
CAPACIDAD DEL PARQUE EN MW	100
<b>COSTO DEL PARQUE</b>	<b>\$243,800,000.00 USD</b>

Esto es el total que un inversor, persona física o empresa debe invertir en un proyecto de esta capacidad.

Conviene señalar que dependiendo del tamaño de la instalación o área a ocupar, de su situación y complejidad geográfica y topográfica, de la distancia a la red de evacuación, de que el promotor o inversor sea también fabricante de aerogeneradores o suministrador de otros servicios, de que existan otros proyectos empleando las mismas infraestructuras los costos y las inversiones pueden variar de forma importante.

En la Figura 3.4 tenemos los distintos costos según el Instituto de Investigaciones Eléctricas, en diversos países del mundo, se observa que los precios fluctúan de manera importante. Sin embargo el promedio de costo/KW es de \$2,339.75 USD.



Costos de inversión

	Dólares/kW		
Australia	1,939	3,136	
Austria	2,380	2,520	
Canadá	2,100	2,520	
Dinamarca	1,820	3,640	on-offshore
Grecia	1,540	1,960	
Irlanda		2,243	
Italia		2,436	
Japón		3,150	
México	1,820	2,100	
Holanda		1,855	
Noruega	1,960	2,240	
Portugal	1,820	2,100	
España		1,750	
Suecia	2,114	3,024	
Suiza		2,639	
Reino Unido	1,470	2,205	onshore
	2,940	4,410	offshore
Estados Unidos		2,022	

Figura 3.4. Costos estimados de generación de Energía eólica en distintos países.  
Fuente: Instituto de Investigaciones eléctricas.

Desde luego lo que más impacta de manera económica en un proyecto de este tipo es el propio aerogenerador. Según el portal de internet [www.bnef.com](http://www.bnef.com) (Bloomberg New Energy Finance) que es el proveedor líder de análisis independiente para datos y noticias en los mercados de energía limpia y carbono; en su cuarto número de Índice de Bloomberg New Energy Finance el precio de aerogeneradores muestra que hacia finales de 2010, para la entrega de equipos en 2011, despliegan precios muy agresivos, con valores promedio de 0.98 Millones €/MW o el equivalente a **\$1.33 Millones USD/MW**. Esta es una disminución del 7% en comparación con los contratos firmados en 2009 (€ 1.06m/MW) y 19% por debajo de los valores pico en 2007-08 (€ 1.21m/MW). <http://bnef.com/PressReleases/view/139>.

Para llegar a estos costos de aerogeneradores estos especialistas analizaron los datos confidenciales proporcionados por 28 grandes compradores de las turbinas de viento. La muestra incluye más de 150 contratos de turbinas, por un total de casi 7GW de la capacidad en 28 mercados a nivel mundial - con un enfoque principal en Europa y las Américas.

También el Instituto de Investigaciones Eléctricas difundió los costos de aerogeneradores en distintos países. Ver Figura 3.5. Donde el costo promedio es de **\$1.63 Millones USD /MW**.



Costos de aerogeneradores

	Dólares/kW	
Australia	1,386	1,848
Austria	1,960	2,100
Canadá	1,470	1,862
Irlanda	1,330	1,400
Italia	1,778	
Japón	2,100	
México	1,400	1,680
Portugal	1,330	1,820
España	1,302	
Suecia	1,358	1,820
Suiza	2,030	
Estados Unidos	1,042	1,607

Figura 3.5. Costos estimados de aerogeneradores en distintos países.  
Fuente: Instituto de Investigaciones eléctricas.

Una vez visto el costo general del proyecto y el costo de los aerogeneradores por MW, ahora veremos los demás costos asociados a la construcción del parque. Considerando varios puntos de vista de diversas fuentes de información.

Para un primer caso se cuenta con la información del libro Manual de Energía eólica del autor J.M Escudero en su capítulo de análisis económico-financiero y de negocio de una inversión de energía eólica plasma el siguiente análisis de costos. Ver Figura 3.6

Para un segundo caso la información publicada por la Asociación Europea de la Energía Eólica (EWEA) en su documento Energía Eólica: realidades <http://www.wind-energy-the-facts.org/es/resumen-ejecutivo/parte-i-tecnologia.html> en su capítulo 3 plasma los porcentajes de costos involucrados de un proyecto eólico. Ver Figura 3.7.

Y finalmente en un tercer caso de la información plasmada en el especial de la energía eólica de los autores V. Olmos García, J.J. Romero Zamora y B. Benavides González–Camino del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) en España, plasman los costos asociados a un proyecto eólico. Ver Figura 3.8.

Fase	Porcentaje (%)
0. Análisis previos	0,10
1. Captación de terreno	0,20
2. Medición y otros análisis	1,21
Total fases 0 + 1 + 2	1,51
3. Promoción	
• Proyectos	2,43
• Estudio medioambiental	0,10
• Otros estudios	0,10
* Seguimiento y gestiones de promoción	1,01
Total promoción	3,64
Total fases 0 + 1 + 2 + 3	5,15
4. Licencia de obras	0,20
Total fases 0 + 1 + 2 + 3 + 4	5,36
5. Construcción:	
• Aerogeneradores	70,34
• Infr. eléctrica del parque	7,08
• Infr. eléctrica hasta conexión	8,09
• Infr. civil	8,60
Total construcción	94,12
6. Ingeniería de control	0,51
<b>Total fases 0 + 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6</b>	<b>100,00</b>

Figura 3.6. Análisis de costos de un proyecto eólico.  
Fuente: Manual de energía eólica J.M Escudero López.

**Tabla S.2: Estructura de costes de un aerogenerador tipo de 2 MW instalado en Europa (en €, 2006)**

	<b>Inversión (1.000€/MW)</b>	<b>Cuota (%)</b>
Aerogenerador (franco fábrica)	928	75,6
Cimentación	80	6,5
Instalación eléctrica	18	1,5
Conexión de redes	109	8,9
Sistemas de control	4	0,3
Consultoría	15	1,2
Terreno	48	3,9
Costes financieros	15	1,2
Carretera	11	0,9
<b>Total</b>	<b>1.227</b>	<b>100</b>

**Nota:** Calculados por el autor a partir de los datos seleccionados de instalaciones eólicas en Europa.  
Fuente: Risø DTU

Figura 3.7. Análisis de costos de un proyecto eólico.  
Fuente: Asociación Europea de la Energía Eólica (EWEA).

Evaluación de recursos eólicos	0.8340%
Ingeniería, Licencias y Permisos	4.1600%
Aerogenerador + MONTAJE	73.6100%
Obra Civil:	6.0189%
Infraestructura eléctrica:	8.8900%
Línea de evacuación:	5.0926%
Terrenos (alquiler):	0.5100%
Gestión y Administración:	0.4200%
Seguros e impuestos:	0.4645%

Figura 3.8. Análisis de costos de un proyecto eólico.  
Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

Tomando en cuenta los datos de Bloomberg New Energy Finance (BNEF), tenemos el costo de los aerogeneradores para el proyecto de 100 MW.

<b>COSTO DEL PROYECTO DE 100 MW</b>		
NUMERO DE AEROGENERADORES	50	
COSTO DE AEROGENERADOR DE 1MW	1,330,000.00	SEGÚN BNEF
COSTO DE AEROGENERADOR DE 2 MW	2,660,000.00	
<b>COSTO DE LOS 50 AEROG. DE 2 MW C/U</b>	<b>\$133,000,000.00</b>	<b>Millones USD</b>

Para el primer caso de tenemos el siguiente desglose de costo de proyecto.

ANALISISPREVIOS	0.1000%	243,800.00
CAPTACION DE TERRENOS	0.2000%	487,600.00
MEDICIONES Y OTROS ANALISIS	1.2100%	2,949,980.00
PROMOCION DE PROYECTO	2.4300%	5,924,340.00
ESTUDIOS AMBIENTALES	0.1000%	243,800.00
OTROS ESTUDIOS	0.1000%	243,800.00
SEGUIMIENTO Y GESTIONES DE PROMOCION	1.0200%	2,486,760.00
LICENCIAS DE OBRA	0.2000%	487,600.00
AEROGENERADORES+ MONTAJE	70.3500%	171,513,300.00
INFR. ELECTRICA DEL PARQUE	7.0800%	17,261,040.00
INFR. ELECTRICA HASTA CONEXIÓN	8.0900%	19,723,420.00
INFRA.CIVIL	8.6000%	20,966,800.00
INGENIERIA DE CONTROL	0.5200%	1,267,760.00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>100.0000%</b>	<b>\$243,800,000.00 M USD</b>

Figura 3.9. Análisis de costos de un proyecto eólico de 100 MW.  
Basado en Manual de energía eólica J.M Escudero López.

Para el segundo caso de tenemos el siguiente desglose de costo de proyecto.

AEROGENERADORES+ MONTAJE	75.6000%	184,312,800.00
CIMENTACIONES	6.5000%	15,847,000.00
INSTALACION ELECTRICA	1.5000%	3,657,000.00
CONEXIÓN DE REDES	8.9000%	21,698,200.00
SISTEMAS DE CONTROL	0.3000%	731,400.00
CONSULTORIA	1.2000%	2,925,600.00
TERRENO	3.9000%	9,508,200.00
COSTES FINANCIEROS	1.2000%	2,925,600.00
CAMINOS	0.9000%	2,194,200.00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>100.0000%</b>	<b>\$243,800,000.00 M USD</b>

Figura 3.10. Análisis de costos de un proyecto eólico.  
Basado en Asociación Europea de la Energía Eólica (EWEA).

Para el tercer caso de tenemos el siguiente desglose de costo de proyecto.

EVALUACIÓN DE RECURSOS EÓLICOS	0.8340%	2,033,292.00
INGENIERÍA, LICENCIAS Y PERMISOS	4.1600%	10,142,080.00
AEROGENERADOR + MONTAJE	73.6100%	179,461,180.00
OBRA CIVIL:	6.0189%	14,674,078.20
INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA:	8.8900%	21,673,820.00
LÍNEA DE EVACUACIÓN:	5.0926%	12,415,758.80
TERRENOS (ALQUILER):	0.5100%	1,243,380.00
GESTIÓN Y ADMINISTRACIÓN:	0.4200%	1,023,960.00
SEGUROS E IMPUESTOS:	0.4645%	1,132,451.00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>100.0000%</b>	<b>\$243,800,000.00 M USD</b>

Figura 3.11. Análisis de costos de un proyecto eólico.  
Basado en Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

Podemos en general resumir los siguientes porcentajes de costos de un proyecto eólico:

	SHARE OF TOTAL COST (%)	TYPICAL SHARE OF OTHER COST (%)
Turbine (ex works)	68-84	-
Grid connection	2-10	35-45
Foundation	1-9	20-25
Electric installation	1-9	10-15
Land	1-5	5-10
Financial costs	1-5	5-10
Road construction	1-5	5-10
Consultancy	1-3	5-10

Note: Based on a selection of data from Germany, Denmark, Spain and the UK adjusted and updated by the author

Figura 3.12. Resumen de estructura de costos en proyectos eólicos.  
Fuente: The Economics of Wind Energy. A report by the European Wind Energy Association.

	Porcentaje variable entre	
<b>AEROGENERADOR, TRANSPORTE Y MONTAJE</b>	<b>68%</b>	<b>84%</b>
<b>CONEXIÓN A LA RED</b>	<b>2%</b>	<b>10%</b>
<b>CIMENTACIONES</b>	<b>1%</b>	<b>9%</b>
<b>CAMINOS</b>	<b>1%</b>	<b>5%</b>
<b>INSTALACION ELECTRICA DEL PARQUE, CONTROL</b>	<b>1%</b>	<b>9%</b>
<b>ALQUILER DE TERRENOS</b>	<b>1%</b>	<b>5%</b>
<b>CONSULTORIA, GESTION, ADMINSTRACION, ESTUDIOS, LICENCIAS, CONTINGENCIAS</b>	<b>1%</b>	<b>3%</b>
<b>COSTES FINANCIEROS, SEGUROS E IMPUESTOS, INTERESES</b>	<b>1%</b>	<b>5%</b>

Figura 3.13 Resumen de costos en proyectos eólicos.

### **3.5 Aspectos medioambientales**

Todo uso de las fuentes de energía, aún de las renovables, involucra frecuentemente efectos ambientales que deben ser identificados siempre que sea posible.

Para una correcta evaluación del impacto ambiental se debe considerar todo el ciclo de vida de cada fuente de energía, desde la fabricación de los materiales, su operación y hasta su desmantelamiento.

En general, los parques eólicos se identifican con instalaciones o empresas limpias, o no contaminantes, sin graves consecuencias negativas al ambiente, que crean empleo, que son independientes de los combustibles convencionales y producen riqueza.

Los parques eólicos son proyectos que deben cumplir con las condiciones adecuadas para lograr una buena integración al medio ambiente.

#### **3.5.1 Estudio de impacto ambiental**

Es necesario hacer un estudio de impacto ambiental antes iniciar un proyecto. Puede ocurrir que un proyecto rentable para un parque se desestime o que se deniegue permiso por el organismo por los efectos negativos que ocasionase al medio ambiente. En México la autoridad competente al respecto es SEMARNAT. Por tanto el estudio determinará la viabilidad del parque. El estudio pretende analizar y minimizar la incidencia de los parques eólicos durante las cuatro fases de su vida:

- Antes de la instalación.
- Durante las obras.
- Durante la explotación.
- Después del abandono de la misma.

El impacto se valorará en función de:

- Emplazamiento elegido.
- Distancia de áreas sensibles (poblaciones y áreas protegidas).
- Tamaño de la instalación.

El seguimiento del estudio puede llegar a detener las obras y ajustarlas a los requisitos del estudio, o a las modificaciones que se hagan sobre la marcha de las obras.

La resolución de estudio puede afectar a la cantidad de generadores instalados. Al finalizar las obras de la instalación y durante la explotación se realizan informes periódicos.

Cuando termina la vida útil de los aerogeneradores, y en caso de no continuar con la actividad, se retirarán los aerogeneradores y se revegetará el sitio, quedándose únicamente las zapatas de cimentación y los cables enterrados.

### **3.5.2 Uso de suelo**

Los parques eólicos son frecuentemente ubicados en terrenos que ya han sido impactados por el desmonte. La vegetación removida y el disturbio del terreno es mínimo comparado por ejemplo con las minas de carbón y las estaciones de energía que queman carbón.

Los defensores de la Energía Eólica dicen que menos del 1% del terreno se utiliza en los cimientos y caminos de acceso, el otro 99% puede seguir siendo usado como granjas. El montaje de un aerogenerador no conlleva gran uso del suelo. Generalmente el área de la base de una máquina está entre los 25 m<sup>2</sup>.

En la etapa de montaje del parque eólico se necesita construir caminos de acceso para la transportación de los componentes de las máquinas, el emplazamiento de las grúas y construcción de las obras civiles de la caseta de operación y subestación eléctrica del parque.

Una vez terminado el montaje, las áreas de emplazamiento de las grúas, algunos de los caminos de acceso y el resto de los movimientos de tierra realizados, con el tiempo se recuperan de forma natural o con trabajos de remediación.

El terreno todavía puede ser utilizado para la agricultura y ganadería. El ganado no se ve afectado por la presencia de los aerogeneradores. La experiencia muestra que el ganado pasta en las mismas bases de las turbinas eólicas y frecuentemente son utilizadas para frotarse y como zona de sombra.

Las turbinas generalmente no son instaladas en áreas urbanas. Los edificios interfieren con el viento y las turbinas deben instalarse a una distancia segura de residencias en caso de falla y el valor del terreno es alto.

### **3.5.3 Ruido**

El ruido de los aerogeneradores es producido por el movimiento de la palas al girar, por el batimiento del viento con los perfiles de las estructuras externas del aerogenerador (góndola, torre, etc.) y por el tren de potencia del aerogenerador.

Las turbinas modernas producen significativamente menos ruido que los diseños antiguos. El ruido es un reflejo de pérdida de energía y potencia de salida.

Este impacto de la generación de electricidad eólica siempre es muy polémico. Siempre el ruido es algo que se antepone al desarrollo de un proyecto eólico cerca de localidades, lugares turísticos, de recreación o de protección de la fauna.

Un estudio realizado por el instituto de investigación danés "DK Teknik" indica que la percepción del sonido de los aerogeneradores está más gobernada por la actitud de las personas hacia la fuente de sonido que por el sonido real en sí mismo.

En julio del 2010, el National Health and Medical Research Council, reportó que “no existen evidencias científicas publicadas que apoyen efectos adversos a la salud por aerogeneradores”.

En la Figura 3.14 se plasma los niveles de ruido de los aerogeneradores a diversa distancia y se compara con los niveles de ruido generados por otros enseres utilizados en la vida cotidiana.

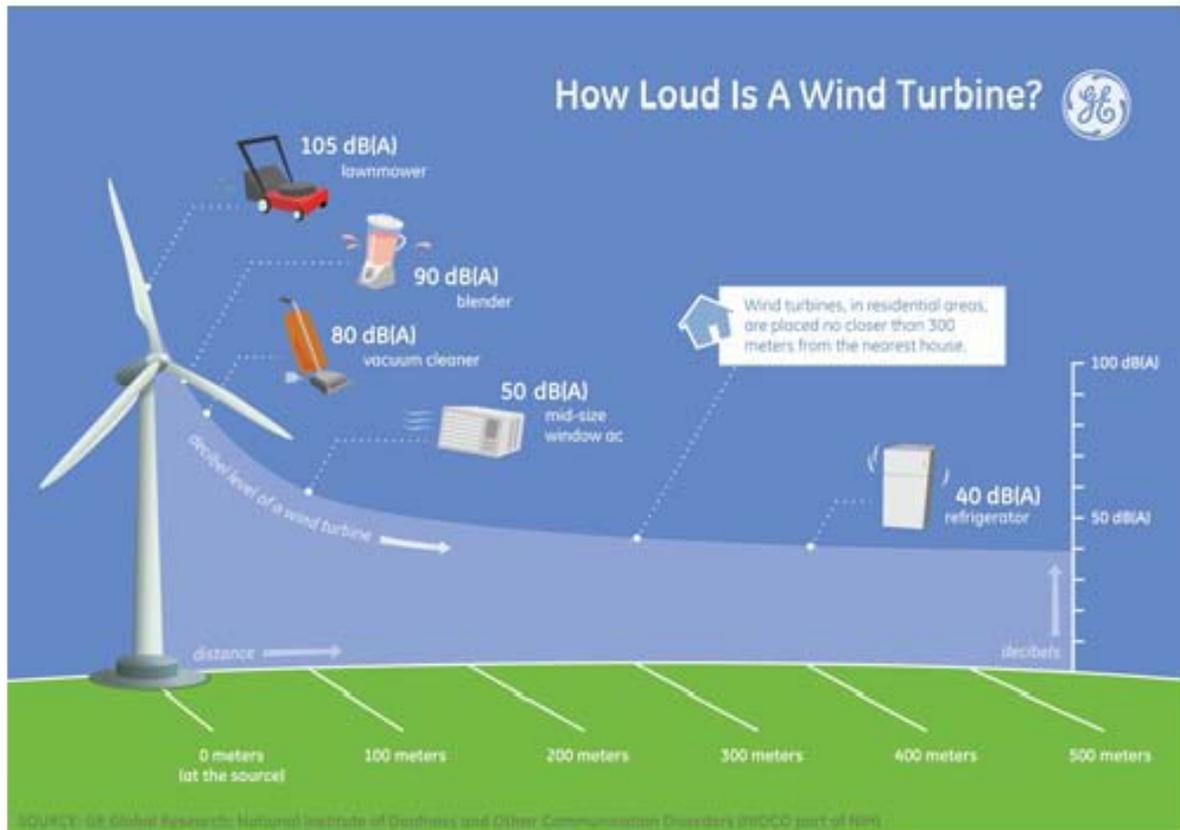


Figura 3.14 Niveles de ruido de aerogenerador y otros enseres de uso común.  
Fuente: GE GLOBAL RESEARCH NATIONAL INSTITUTE.

### 3.6 Construcción

Sin lugar a dudas la parte más tangible y visible de un proyecto eólico, es cuando se lleva a cabo su construcción. Para llegar a esta etapa es necesario haber librado o concluido las etapas de: prospección, la etapa de medición de viento, tener los terrenos, tener ya el financiamiento económico y generalmente la etapa de Ingeniería del proyecto está en su fase final.

Otra fase de la cual no hemos hablado y que es previa a la fase de construcción es la parte de adquisición o compras tanto de equipos, insumos, servicios de montaje para finalmente realizar su ejecución.

Es una práctica habitual y común en la realización de estos proyectos, que una sola empresa realice las fases de: Ingeniería, de Procuración o compras y la Construcción, estas tres fases se engloban,

en lo que se conoce como un IPC o EPC por sus siglas en inglés (Engineering, Procurement and Construction).

En la parte de compras podemos enunciar que es una lista muy basta de equipos, servicios necesarios para ejecutar de manera correcta la construcción del parque. En la Figura 3.15 se enumera las principales compras para la ejecución constructiva proyecto. Para ello se realiza una labor muy extensa de búsqueda de proveedores adecuados que cumplan con las características técnicas, experiencia y calidad.

<b>COMPRAS PARA UN PROYECTO DE UN PARQUE EOLICO</b>	
<b>PRODUCTO A: COMUNES</b>	
<b>VARIOS</b>	
	Estudio Impacto Ambiental y Gastos Asociados
	Estudio Geotécnico - (mecánica de suelos)
	Levantamiento Topográfico o Aerofotogrametría
	Servicios de Laboratorio externos de Control de Calidad
	Casetas y Prefabricados
	<b>INFRAESTRUCTURA DE OBRA, GASTOS DE OBRA Y SEGURIDAD Y SALUD</b>
	Instalaciones Temporales
	Viales y Estacionamientos Provisionales
	Red de energía eléctrica
	Mobiliario y equipamiento oficinas
	Retirada y acondicionamiento
	Red de agua y saneamiento
	Vallado Provisional
	Almacén, Primeros Auxilios y Control de Accesos
	Accesos
	Comedor
	Gastos y Servicios de Obra
	Consumos de energía y agua
	Consumos Telefonía e Internet
	Suministros y consumibles
	Gestión de Almacén
	Control de Calidad
	Topografía
	Servicios Generales de mantenimiento
	Vehículos de Obra
	Seguridad y Salud
	Formación
	Información
	Protecciones Individuales
	Maquinaria
	Protecciones Colectivas
	Servicios
	Servicio Médicos Emplazamiento

	Servicio Protección
	Sistema Control de Accesos
	Servicio de limpieza
	Servicios de vigilancia
	Gestión de residuos
<b>PRODUCTO C: SUBESTACIÓN</b>	
<b>EQUIPOS PRINCIPALES</b>	
	Transformador de Potencia
	Transformadores de Servicios Auxiliares.
	Celdas MT
<b>SUMINISTROS SUBESTACION</b>	
	Interruptor de Potencia
	Apartarrayos
	Transformadores de Corriente
	Transformadores de Potencia
	Seccionadores
	Radio y Microondas
	Tele Protecciones
	Control y Protecciones
	Cables de Potencia y Empalmes
	Botellas Terminales
	Cables de Fuerza y Control
	Estructura metálica o pórticos
	Aisladores, Soportes
	Conexiones y Herrajes
	Sistema de Tierras
	Alumbrado Externo
	Servicios Auxiliares
	Equipamiento de edificios (Aire acondicionado, Protección contra incendio puente grúa
<b>EJECUCION SUBESTACION</b>	
	<b>OBRA CIVIL</b>
	Terracerías y obras de drenaje
	Edificios. Cuarto de Control para tableros MT y Valla Perimetral
	Cimentaciones Mayores, Menores y Transformador
	Sistemas Enterrados. Pluviales, contra incendio, ductos y trincheras
	Urbanización y viales
	Varios Obra Civil. Pisos terminados, sistema de seguridad física, instalaciones
	Edificio de Operación y mantenimiento
	<b>MONTAJE ELECTROMECAÁNICO</b>
	Montaje de estructura metálica
	Cableado aéreo AT
	Transformadores
	Montaje equipos. Transformadores de corriente , potencia, cuchillas y aisladores
	Montaje tableros de Media y baja tensión

	Tendido y conexionado de cables de media y baja tensión
	Montaje de Bandejas y conduits
	Alumbrado
	Red de tierras y pararrayos
	Sistema de comunicaciones , protección y control
<b>PUESTA EN MARCHA SUBESTACIÓN</b>	
<b>PRODUCTO G: PARQUE EOLICO</b>	
<b>EQUIPOS PRINCIPALES PARQUE EOLICO</b>	
	Aerogeneradores
	Transformadores para aerogeneradores
<b>SUMINISTROS PARQUE EOLICO</b>	
	Celdas MT y tableros
	Cable MT
	Cables (fuerza y control, tierras)
	Fibra óptica/Comunicaciones
	Torre meteorológica
	Acero para cimentaciones
	Concreto para cimentaciones
<b>EJECUCIÓN</b>	
	Obra civil (incluyendo Concreto y Acero)
	Caminos del Parque
	Plataforma
	Suministro de Concreto
	Suministro de Acero Habilitado
	Obra Cimentaciones
	Zanjas y canalizaciones
	Drenajes
	OBRA ELECTROMECHANICA
	Montaje de aerogeneradores
	Montaje de transformadores y tableros
	Montaje Línea de media tensión entre aerogeneradores
	Línea de media tensión de aerogeneradores a subestación
	Conexionado comunicaciones o de fibra óptica
	Sistema de tierras
	Torre meteorológica
<b>PUESTA EN MARCHA PARQUE EOLICO</b>	

Figura 3.15 Listado base de compras y contratos para realización de un parque eólico.

Cabe señalar que las dos partes más esenciales en la fase de construcción de un parque eólico son la obra civil y la obra electromecánica. Sin embargo hay actividades adicionales que contribuyen a llevar a buen término la construcción del proyecto. Estas son por mencionar:

- Estudios previos, como los geotécnicos o mecánica de suelos.
- Levantamiento topográfico del sitio del proyecto.

- Laboratorios externos de calidad.
- Servicios de logística para el acopio de equipos y materiales.
- Infraestructura temporal de obra, como son: casetas de obra, accesos, almacenes.
- Servicios médicos.

En las Figuras 3.16, 3.17 y 3.18 podemos ver lo una empresa utilizo para la logística y transporte en el suministro de aerogeneradores y sus componentes, la primera es del transporte utilizado en un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW en el estado de Baja California.

## Transporte

Gamesa utiliza medios de transporte especializados para trasladar sus aerogeneradores al parque eólico de destino. Estos medios facilitan el acceso a cualquier terreno, incluso a los más complejos, con el menor impacto ambiental. Una vez en destino, un experimentado equipo humano realiza el montaje de las turbinas.



Figura 3.16 Logística de transporte para el suministro de Aerogeneradores de 2 MW en el estado de Baja California.  
Fuente. GOBIERNO ESTATAL DE BAJA CALIFORNIA.



Figura 3.17 Transporte marítimo de aspas de aerogeneradores  
Fuente . AMDEE.



Figura 3.18 Transporte de tramos de torre de aerogeneradores.  
Fuente . IBERDROLA.

Es importante señalar que la construcción del parque eólico, también incluye alguna subestación eléctrica que recolecta los distintos circuitos de los aerogeneradores y que será a partir de esta subestación de donde se transmitirá la energía a través de las líneas de transmisión de CFE. Sin embargo no ahondaremos en el proceso constructivo ni la ingeniería necesaria para esta subestación ya que este tema es muy extenso y llevaría varios capítulos adicionales el desarrollarlo.

En la subestación eléctrica, Figuras 3.19, 3.20 y 3.21, o en el centro control de operaciones del parque eólico se pueden visualizar los parámetros de funcionamiento del parque eólico en tiempo real, los cuales permiten conocer:

- Energía generada
- Velocidad y dirección del viento
- Temperatura
- Niveles de voltaje
- Valores de frecuencia

Algunas empresas tienen grandes centros de control de parques que pueden estar ubicados desde sus oficinas corporativas y de ahí monitorean todos sus parques eólicos ya sea en un país o de manera internacional.

## Subestación Eléctrica

### CUARTO DE POTENCIA

En el cuarto de potencia se realiza la recepción de la energía generada del Parque Eólico, y ésta a su vez es enviada a los centros de consumo a través de las líneas de la Comisión Federal de Electricidad.

### EQUIPOS

- Interruptores
- Equipos de Protección
- Banco de Baterías
- Cargador de Baterías
- Centros de Carga
- Transformador de Servicios Propios



LA RUMOROSA I  
Comisión Estatal de Energía

energíaBC   GobBC  
GOBIERNO DEL ESTADO

Figura 3.19 Cuarto de potencia para Aerogeneradores 2 MW.  
Fuente: Gobierno Estatal De Baja California.



Figura 3 20 Subestación de parque eólico.  
Fuente. ELECTRICA DEL VALLE DE MEXICO.



Figura 3 21 Subestación de parque eólico.  
Fuente. ELECTRICA DEL VALLE DE MEXICO

### **3.7 Obra civil, electromecánica.**

#### **3.7.1 Obra civil.**

Los trabajos de obra civil necesarios para la realización de la instalación de un parque eólico son:

- Adecuación de vías públicas de acceso.
- Reformar o ampliar caminos de caminos existentes.
- Ejecución de de nuevos viales.
- Plataformas de izado o montaje de equipos y aerogeneradores.
- Realización de ductos eléctricos.
- Construcción de cimentaciones.
- Edificios auxiliares (control, taller, almacén).

Todo ello condicionado por la orografía del terreno y las características geológicas del emplazamiento

#### **Viales y Caminos Existentes**

Aunque habitualmente se recomienda, con objeto de minimizar la ocupación del terreno, el aprovechamiento de infraestructuras viales que puedan ya existir, bien sea porque éstas no presenten las condiciones requeridas, o bien porque no lleguen hasta el emplazamiento deseado (el correspondiente a cada uno de los puntos de ubicación de los aerogeneradores), casi siempre se hace necesario la habilitación y/o construcción de vialidades.

Los criterios técnicos exigibles para el trazado de viales son extensos: radios de curvatura mínimos que van de 20 a 32 metros, pendientes las cuales no deben ser mayores al 12% en caminos y viales y de 30% para zanjas o canalizaciones de cables, anchos y sobre anchos. Hay que considerar que la torre de un aerogenerador se suministra en dos o tres tramos de longitudes superiores a los 20 metros, al igual que las aspas, que pueden alcanzar hasta los 40 metros de largo o más. Ver Figuras 3.22 y 3.23.

Algunos de los caminos tendrán carácter provisional, limitándose su uso provisional de ejecución de las instalaciones. Otros, sin embargo, constituirán las pistas de acceso para el mantenimiento y control operacional que deban realizarse durante la vida útil del parque.

#### **Plataformas de Montaje**

Al igual que para el transporte de los equipos, en las labores de instalación de los aerogeneradores se requieren infraestructuras auxiliares de ingeniería. Se trata de las plataformas de montaje sobre las que se sustentan las grúas necesarias para el izado de las torres y demás componentes del equipo con gran tamaño. Este emplazamiento destinado a la grúa presenta unos requerimientos de superficie que no suelen ser menores de 24 m x 16 m. Ver Figura 3.24

## Ductos Eléctricos.

Los ductos eléctricos se construyen en base a las normas de CFE y la NOM-001-SEDE 2005 en el artículo 310-60, pues hay que considerar que por ahí se llevarán todos los cables de media potencia y de comunicaciones entre los aerogeneradores y la subestación o cuarto de control. Ver Figura 3.26.



Figura 3.22 Dimensiones de caminos y radios de curvatura de fabricante de aerogeneradores.  
Fuente. GAMESA

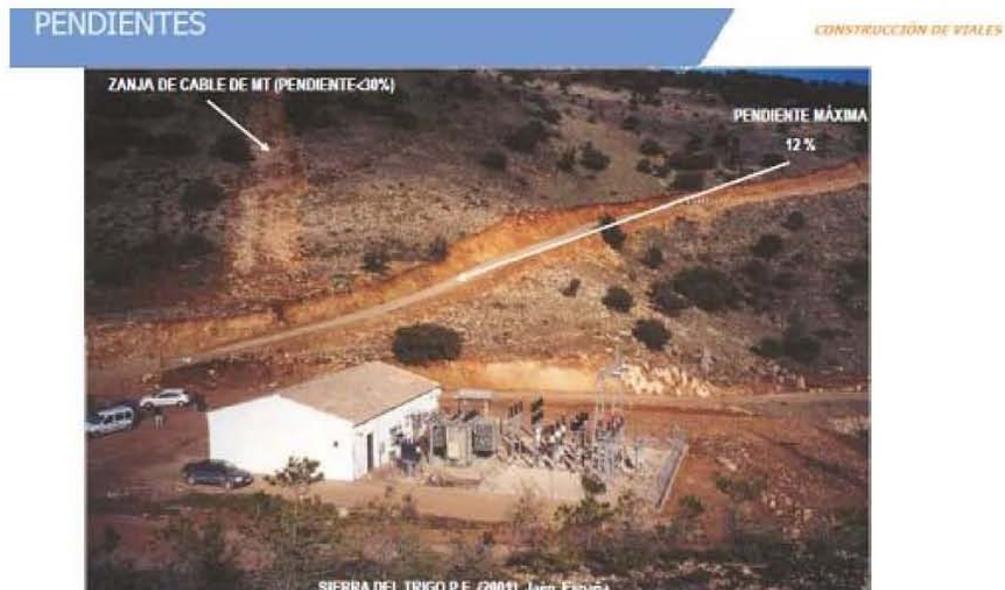




Figura 3.24 Plataforma de montaje para aerogeneradores.  
Fuente: GAMESA

### Obra Civil



LA RUMOROSA I  
Comisión Estatal de Energía

energíaBC



GobBC  
GOBIERNO DEL ESTADO

Figura 3.25 Obra civil general de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW.  
Fuente: Gobierno Estatal De Baja California.

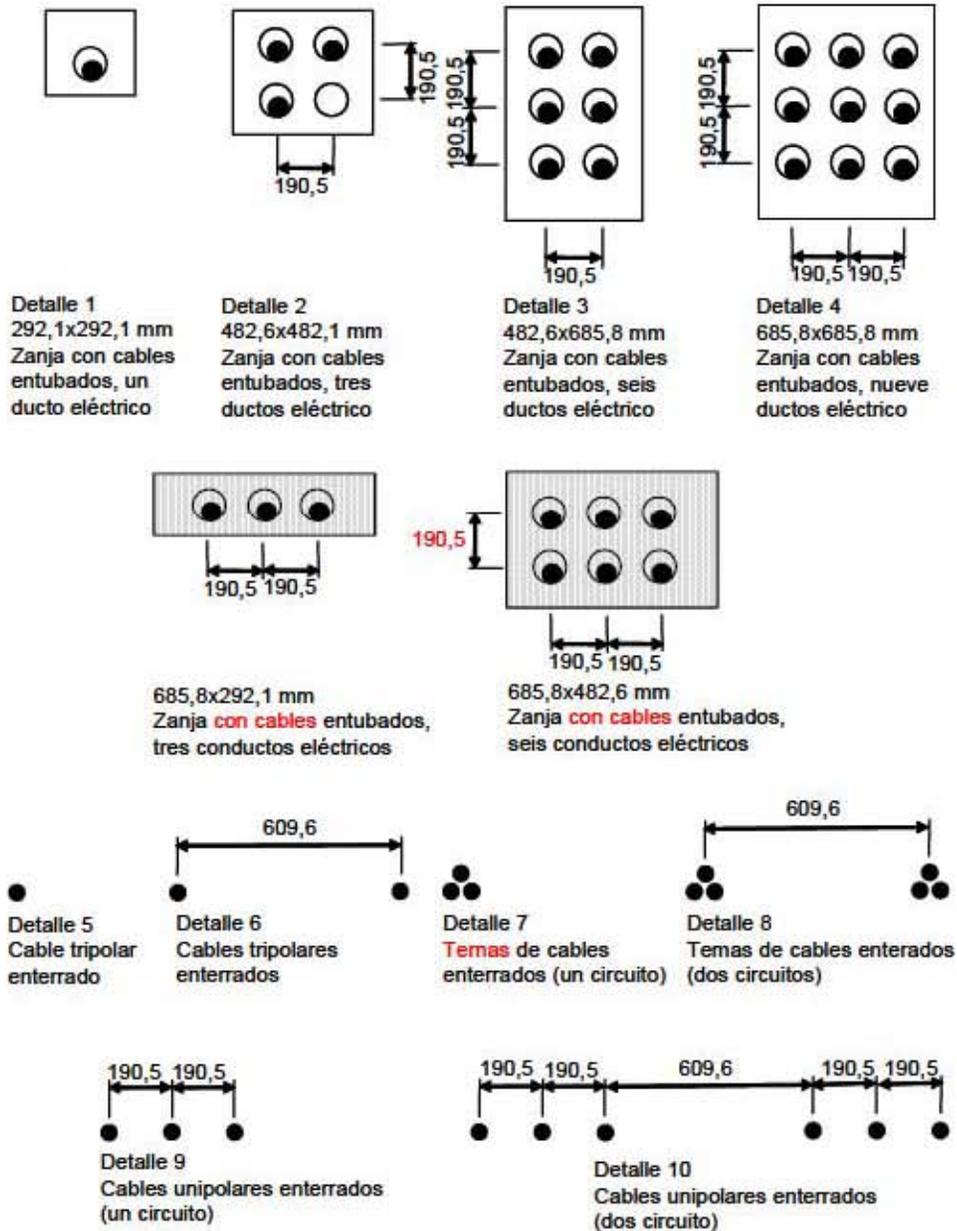


Figura 3.26 Ductos eléctricos para cables de potencia hasta 35 KV.  
Fuente. NOM-SEDE-001-2005

**Cimentaciones**

Las cimentaciones deben soportar adecuadamente el aerogenerador bajo las condiciones más extremas a las que puede estar sometido. Normalmente se diseñan para la carga de viento máxima en un periodo de 50 años, también se considera para su diseño el nivel sísmológico de la zona. El fabricante del aerogenerador es quien define, a partir de los datos de viento, sismo y del estudio de la mecánica de suelos, las cargas que deben soportar las cimentaciones, así como sus dimensiones.

En algunos casos cuando la resistencia del terreno es muy baja es necesaria la instalación previa de pilas o pilotes para ahí desplantar la cimentación.

Una cimentación típica puede ser de forma hexagonal o cuadrada, con dimensiones variables según sea el suelo y con una profundidad de 2 metros, ejecutada en concreto y varilla armada.

Para el caso de aerogeneradores de la capacidad de 2 MW como los aquí propuestos se han utilizado cimentaciones diversas que van de unas dimensiones:

1. 19.5x19.5x1.6 metros lo que indica un volumen de más de 600 m<sup>3</sup> de concreto y 65 toneladas de varilla de acero.
2. En otro caso con otro tipo de suelo se tiene una cimentación de 23x23x1.6 mts con un volumen superior a 800 m<sup>3</sup> de concreto y 85 toneladas de varilla de acero.

Esto nos da una visión bastante clara de la cantidad descomunal de concreto y de acero que se utiliza para colocar los 50 aerogeneradores.

Para colocar los 50 aerogeneradores en la primera opción de utilizaríamos más de 30,000 toneladas de concreto y 3,250 toneladas de varilla de acero, para el segundo caso ocuparíamos 40,000 toneladas de concreto y 4,250 toneladas de varilla de acero. Las siguientes Figuras que ejemplifican la construcción de cimentaciones.

## Cimentaciones

Cuatro zapatas de 19.50 x 19.50 x 1.60 m, volumen = 650 m<sup>3</sup>  
65 toneladas de varilla de acero



Una zapata especial de 23 x 23 x 1.60 m, volumen = 900 m<sup>3</sup>  
85 toneladas de varilla de acero



LA RUMOROSA I  
Comisión Estatal de Energía

energía BC



GobBC  
GOBIERNO DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA

Figura 3.27 Obra civil de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW.  
Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.

- El vaciado del concreto duró entre 12 y 18 horas de trabajo ininterrumpido para cada cimentación.



Figura 3.28 Cimentación de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW.  
Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.



Figura 3.29 Armado y hormigonado de cimentación para aerogenerador  
Fuente. FUERZA EÓLICA

### **3.7.2 Obra electromecánica.**

Los trabajos de obra electromecánica necesarias para la realización de la instalación de un parque eólico son principalmente:

- Instalación eléctrica de Baja Tensión (BT): puede ser interna a cada aerogenerador, o bien externa.
- La red de tierras
- Red de Media Tensión
- Montaje de los aerogeneradores

Hay que mencionar que la energía eléctrica no se puede almacenar en grandes cantidades. La electricidad demandada en cada momento tiene que producirse de forma simultánea en centros de generación; para ello se necesita un equilibrio complicado y permanente entre generación y consumo y una red de transporte que distribuya esa demanda.

El sistema eléctrico de un parque eólico tiene por objeto la transferencia de la energía producida por cada aerogenerador hacia la red de la compañía eléctrica que suministre a los consumidores.

#### **Instalación Eléctrica De Baja Tensión.**

Consiste en unos circuitos internos al aerogenerador que conectan la salida del generador con el centro de transformación, también interno, y eleva el potencial eléctrico de salida desde Baja Tensión, unos 690 Volts hasta Media Tensión; es común en México que se utilice una Media Tensión de 23 o 34.5 kV. Este transformador suele ser de tipo seco, al estar localizado dentro de la torre o al pie de la torre.

Adicionalmente, existirá otro circuito, de control o comunicaciones y servicios auxiliares, para la alimentación de los equipos de regulación, motores de orientación, unidad hidráulica y otras herramientas de alumbrado y maniobra de la góndola y la torre.

#### **Red de Tierras**

Todas las plantas eléctricas requieren estar conectadas a tierra, lo cual tiene como objetivos fundamentales los siguientes:

- Minimizar los peligros de muerte de personas y animales,
- Establecer un camino de baja impedancia para las corrientes de fallas a tierra y por lo tanto una eficiente operación de las protecciones,
- Mejoramiento del sistema de protección contra rayos o descargas atmosféricas, limitando así los voltajes producidos en las instalaciones eléctricas y evitando la desconexión de circuitos por la acción de los arcos eléctricos.
- Conservar las tensiones de paso y contacto dentro de los límites normados, para prevenir la aparición de elevadas diferencias de potencial, peligrosas para las personas y los equipos.

- Evitar voltajes peligrosos entre los elementos expuestos (equipos, estructuras, etc.) durante la falla y condiciones normales de operación.
- Como puesta a tierra de los neutros de los transformadores.
- Un sistema completo de puesta a tierra del parque eólico

Las turbinas eólicas al igual que el resto de los equipos eléctricos necesitan ser conectados a tierra con la menor impedancia posible. Generalmente, los parques eólicos abarcan grandes áreas geográficas, en ocasiones varios kilómetros.

En cada turbina eólica es construido un sistema de puesta a tierra colocando generalmente un anillo o una retícula de cable de cobre desnudo alrededor de la torre, lo más común y por norma es utilizar el calibre 4/0 del cable enterrados a una profundidad usual entre 0.6 y 0.8 metros y colocando electrodos o varillas de cobre verticales combinados con el anillo.

Es muy común interconectar el sistema de puesta a tierra con los cimientos de la base de la torre de la turbina. En los parques eólicos se interconectan los sistemas de puestas a tierra individuales que posee cada turbina eólica y se suele unir en grupos.

Estos grupos también se conectan después al sistema de puesta a tierra de la subestación correspondiente. Así, desde la red de media tensión se deriva en forma de T a cada turbina eólica, mediante soldadura.

### **Red de Media Tensión**

La red de media tensión conecta a los aerogeneradores entre sí y a la subestación del parque eólico.

Por ello, el trazado de la red de Media Tensión se basa en la disposición o agrupación de los aerogeneradores y es aconsejable que la zanja del cableado transcurra paralela a los caminos de acceso a los aerogeneradores. La instalación es habitualmente subterránea para reducir el impacto ambiental que implicaría un tendido aéreo y reducir el riesgo que implicaría dicha red aérea para las obras de mantenimiento de los aerogeneradores, que para estos trabajos por lo general se usan grúas. Ver Figura 3.30.

El rango óptimo de voltajes para la red de media tensión se sitúa entre los 13.8 y los 34.5 KV. El calibre de la red de media tensión estará definido por el diseño eléctrico, la caída de tensión, el costo del cable y por supuesto las pérdidas de potencia.

Los calibres para la red de media tensión van desde cables calibre 4/0 hasta cables calibre 1,000 KCM. El material más comúnmente utilizado para los cables de media tensión es unipolar de aluminio.

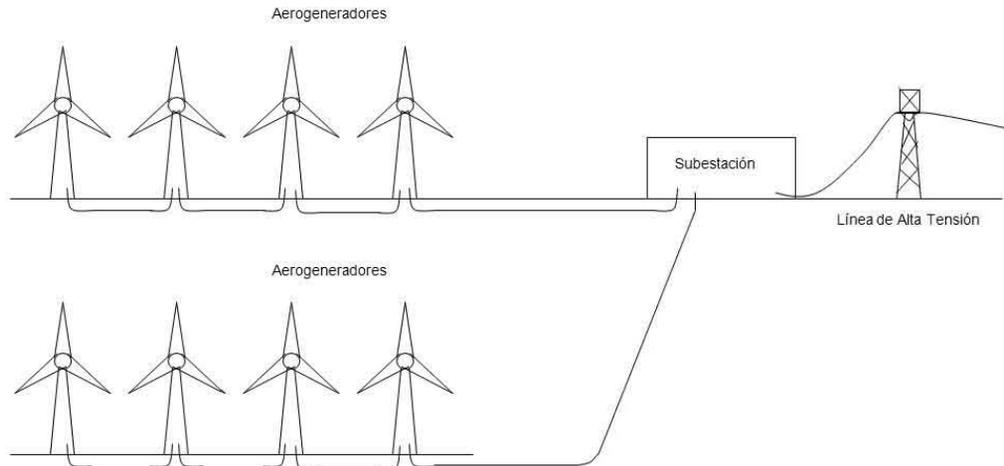


Figura 3.30 Ejemplo básico de la red de media tensión, la subestación y la conexión a la red eléctrica

El diseño de la red de media tensión afecta sensiblemente a la economía del proyecto, tanto en términos de inversión económica como de pérdidas energéticas por efecto Joule. En general, el diseño óptimo responde a uno o varios circuitos con secciones crecientes a medida que se acerca a la subestación eléctrica; cuanto más cerca de la misma, mayor corriente eléctrica circula por el circuito, ya que los aerogeneradores van aportando su potencia al circuito que esté conectado.

Para nuestro caso de un parque eólico de 100 MW con aerogeneradores de 2 MW, utilizaremos un total de 48,870 metros de cable entre calibre 4/0, 500 y 1,000 KCM. Ver Figura 3.31.

Datos del Circuito 1 10 AEROGENERADORES						Caída de Tensión (e)		Pérdida de Potencia (P)					
Tramo	Longitud con cocas	Intensidad	Temas en canalización	Sección	V	e%	kW	P%	4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM		
AG1-01	AG1-02	280	35.23 A	1	4/0 AWG	6.43 V	0.019%	0.36 kW	0.018%	840	0	0	
AG1-02	AG1-03	280	70.46 A	1	4/0 AWG	12.86 V	0.037%	1.44 kW	0.036%	840	0	0	
AG1-03	AG1-04	280	105.69 A	1	4/0 AWG	19.30 V	0.056%	3.24 kW	0.054%	840	0	0	
AG1-04	AG1-05	280	140.92 A	1	4/0 AWG	25.73 V	0.075%	5.76 kW	0.072%	840	0	0	
AG1-05	AG1-06	280	176.16 A	1	500 KCM	15.67 V	0.045%	3.83 kW	0.038%	0	840	0	
AG1-06	AG1-07	280	211.39 A	1	500 KCM	18.80 V	0.054%	5.52 kW	0.046%	0	840	0	
AG1-07	AG1-08	280	246.62 A	1	1000 KCM	13.30 V	0.039%	3.88 kW	0.028%	0	0	840	
AG1-08	AG1-09	280	281.85 A	1	1000 KCM	15.20 V	0.044%	5.07 kW	0.032%	0	0	840	
AG1-09	AG1-10	280	317.08 A	1	1000 KCM	17.10 V	0.050%	6.42 kW	0.036%	0	0	840	
AG1-10	SE	720	352.31 A	1	1000 KCM	48.87 V	0.142%	20.38 kW	0.102%	0	0	2,160	
<b>Total</b>	<b>3240</b>					<b>193.27 V</b>	<b>0.5602%</b>	<b>55.89 kW</b>	<b>0.2794%</b>	<b>3,360</b>	<b>1,680</b>	<b>4,680</b>	
Datos del Circuito 2						Caída de Tensión (e)		Pérdida de Potencia (P)					
Tramo	Longitud con cocas	Intensidad	Temas en canalización	Sección	V	e%	kW	P%	4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM		
AG11	AG12	280	35.23 A	1	4/0 AWG	6.43 V	0.019%	0.36 kW	0.018%	840	0	0	
AG12	AG13	280	70.46 A	1	4/0 AWG	12.86 V	0.037%	1.44 kW	0.036%	840	0	0	
AG13	AG14	280	105.69 A	1	4/0 AWG	19.30 V	0.056%	3.24 kW	0.054%	840	0	0	
AG14	AG15	280	140.92 A	1	4/0 AWG	25.73 V	0.075%	5.76 kW	0.072%	840	0	0	
AG15	AG16	280	176.16 A	1	500 KCM	15.67 V	0.045%	3.83 kW	0.038%	0	840	0	
AG16	AG17	280	211.39 A	1	500 KCM	18.80 V	0.054%	5.52 kW	0.046%	0	840	0	
AG17	AG18	280	246.62 A	1	1000 KCM	13.30 V	0.039%	3.88 kW	0.028%	0	0	840	
AG18	AG19	280	281.85 A	1	1000 KCM	15.20 V	0.044%	5.07 kW	0.032%	0	0	840	
AG19	AG20	280	317.08 A	1	1000 KCM	17.10 V	0.050%	6.42 kW	0.036%	0	0	840	
AG20	SE	720	352.31 A	1	1000 KCM	48.87 V	0.142%	20.38 kW	0.102%	0	0	2,160	
<b>Total</b>	<b>3240</b>					<b>193.27 V</b>	<b>0.5602%</b>	<b>55.89 kW</b>	<b>0.2794%</b>	<b>3,360</b>	<b>1,680</b>	<b>4,680</b>	
Datos del Circuito 3						Caída de Tensión (e)		Pérdida de Potencia (P)					
Tramo	Longitud con cocas	Intensidad	Temas en canalización	Sección	V	e%	kW	P%	4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM		
AG21	AG22	280	35.23 A	1	4/0 AWG	6.43 V	0.019%	0.36 kW	0.018%	840	0	0	
AG22	AG23	280	70.46 A	1	4/0 AWG	12.86 V	0.037%	1.44 kW	0.036%	840	0	0	
AG23	AG24	280	105.69 A	1	4/0 AWG	19.30 V	0.056%	3.24 kW	0.054%	840	0	0	
AG24	AG25	280	140.92 A	1	4/0 AWG	25.73 V	0.075%	5.76 kW	0.072%	840	0	0	
AG25	AG26	280	176.16 A	1	500 KCM	15.67 V	0.045%	3.83 kW	0.038%	0	840	0	
AG26	AG27	280	211.39 A	1	500 KCM	18.80 V	0.054%	5.52 kW	0.046%	0	840	0	
AG27	AG28	280	246.62 A	1	1000 KCM	13.30 V	0.039%	3.88 kW	0.028%	0	0	840	
AG28	AG29	280	281.85 A	1	1000 KCM	15.20 V	0.044%	5.07 kW	0.032%	0	0	840	
AG29	AG30	280	317.08 A	1	1000 KCM	17.10 V	0.050%	6.42 kW	0.036%	0	0	840	
AG30	SE	720	352.31 A	1	1000 KCM	48.87 V	0.142%	20.38 kW	0.102%	0	0	2,160	
<b>Total</b>	<b>3240</b>					<b>193.27 V</b>	<b>0.5602%</b>	<b>55.89 kW</b>	<b>0.2794%</b>	<b>3,360</b>	<b>1,680</b>	<b>4,680</b>	
Datos del Circuito 4						Caída de Tensión (e)		Pérdida de Potencia (P)					
Tramo	Longitud con cocas	Intensidad	Temas en canalización	Sección	V	e%	kW	P%	4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM		
AG31	AG32	280	35.23 A	1	4/0 AWG	6.43 V	0.019%	0.36 kW	0.018%	840	0	0	
AG32	AG33	280	70.46 A	1	4/0 AWG	12.86 V	0.037%	1.44 kW	0.036%	840	0	0	
AG33	AG34	280	105.69 A	1	4/0 AWG	19.30 V	0.056%	3.24 kW	0.054%	840	0	0	
AG34	AG35	280	140.92 A	1	4/0 AWG	25.73 V	0.075%	5.76 kW	0.072%	840	0	0	
AG35	AG36	280	35.23 A	1	500 KCM	3.13 V	0.009%	0.15 kW	0.008%	0	840	0	
AG36	AG37	280	70.46 A	1	500 KCM	6.27 V	0.018%	0.61 kW	0.015%	0	840	0	
AG37	AG38	280	105.69 A	1	1000 KCM	5.70 V	0.017%	0.71 kW	0.012%	0	0	840	
AG38	AG39	310	281.85 A	1	1000 KCM	16.83 V	0.048%	5.61 kW	0.035%	0	0	930	
AG39	AG40	310	317.08 A	1	1000 KCM	18.94 V	0.055%	7.11 kW	0.039%	0	0	930	
AG40	SE	750	352.31 A	1	1000 KCM	50.91 V	0.148%	21.23 kW	0.106%	0	0	2,250	
<b>Total</b>	<b>2270</b>					<b>166.10 V</b>	<b>0.4815%</b>	<b>46.22 kW</b>	<b>0.2311%</b>	<b>3,360</b>	<b>1,680</b>	<b>4,950</b>	
Datos del Circuito 5						Caída de Tensión (e)		Pérdida de Potencia (P)					
Tramo	Longitud con cocas	Intensidad	Temas en canalización	Sección	V	e%	kW	P%	4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM		
AG41	AG42	280	35.23 A	1	4/0 AWG	6.43 V	0.019%	0.36 kW	0.018%	840	0	0	
AG42	AG43	280	70.46 A	1	4/0 AWG	12.86 V	0.037%	1.44 kW	0.036%	840	0	0	
AG43	AG44	280	105.69 A	1	4/0 AWG	19.30 V	0.056%	3.24 kW	0.054%	840	0	0	
AG44	AG45	280	140.92 A	1	4/0 AWG	25.73 V	0.075%	5.76 kW	0.072%	840	0	0	
AG45	AG46	280	176.16 A	1	500 KCM	15.67 V	0.045%	3.83 kW	0.038%	0	840	0	
AG46	AG47	280	35.23 A	1	500 KCM	3.13 V	0.009%	0.15 kW	0.008%	0	840	0	
AG47	AG48	280	70.46 A	1	1000 KCM	3.80 V	0.011%	0.32 kW	0.008%	0	0	840	
AG48	AG49	280	105.69 A	1	1000 KCM	5.70 V	0.017%	0.71 kW	0.012%	0	0	840	
AG49	AG50	280	140.92 A	1	1000 KCM	7.60 V	0.022%	1.27 kW	0.016%	0	0	840	
AG50	SE	720	352.31 A	1	1000 KCM	36.36 V	0.105%	26.54 kW	0.133%	0	0	2,160	
<b>Total</b>	<b>3240</b>					<b>136.58 V</b>	<b>0.3959%</b>	<b>43.62 kW</b>	<b>0.2181%</b>	<b>3,360</b>	<b>1,680</b>	<b>4,680</b>	
TOTAL MEDICIONES DE CABLE													
										4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM	Total (mts)
<b>Longitudes (cable de potencia) (m)</b>										16,800.00	8,400.00	23,670.00	<b>48,870.00</b>

Figura 3.31 Memoria de cálculo de conductores de Media tensión para un parque eólico de 100 MW y medición de cableado de media tensión.

## Obra Eléctrica



LA RUMOROSA I  
Comisión Estatal de Energía

energía BC



GobBC  
GOBIERNO DEL ESTADO

Figura 3.32 Obra Eléctrica de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW.  
Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.



Figura 3.33 Ejemplo de montaje de equipos en plataforma de la torre.  
Fuente. GAMESA

## Montaje de Aerogeneradores

Una vez transportados los componentes del aerogenerador hasta el punto de anclaje, se procede a su ensamble, haciendo uso de una grúa de grandes dimensiones. De este modo se realiza el izado o montaje de la torre, la góndola y el rotor con las aspas. Las siguientes Figuras muestran la secuencia de montaje de los aerogeneradores.



Figura 3.34 Montaje de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW.  
Fuente: Gobierno Estatal De Baja California.



Figura 3.35 Montaje de secciones de torre de aerogeneradores.  
Fuente: FUERZA EÓLICA

### Montaje del Nacelle



Una vez montada la torre se procede a la instalación de la nacelle, la cual se acopla al último tramo de la torre y se procede a la conexión eléctrica de todos los componentes (70 toneladas)

LA RUMOROSA I  
Comisión Estatal de Energía

energía BC



GobBC  
GOBIERNO DEL ESTADO

Figura 3.36 Montaje de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW.  
Fuente: Gobierno Estatal De Baja California.



Figura 3.37 Montaje de Nacelle o Góndola.  
Fuente. IBERDROLA



Figura 3.38 Montaje de Nacelle o Góndola.  
Fuente. IBERDROLA

## Montaje del Rotor



El montaje comienza en tierra, ensamblando las tres palas al buje. Posteriormente se levanta ligeramente el rotor para colocar el cono. Finalmente se levanta el rotor completo, y se ensambla en la parte frontal de la nacelle (36.9 toneladas)

LA RUMOROSA I  
Comisión Estatal de Energía

energía BC



GobBC  
GOBIERNO DEL ESTADO

Figura 3.39 Montaje de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW.  
Fuente: Gobierno Estatal De Baja California.



Figura 3.40 Montaje de rotor y aspas de aerogeneradores.  
Fuente: FUERZA EÓLICA.



Figura 3.41 Montaje de rotor y aspas de aerogeneradores.  
Fuente. IBERDROLA



Figura 3.42 Montaje de rotor y aspas de aerogeneradores.  
Fuente. IBERDROLA

### **Puesta en Servicio**

Una vez que están todos los equipos montados, se realizan las pruebas correspondientes, definidas por cada uno de los fabricantes y una vez realizadas estas pruebas se realiza la puesta en servicio del proyecto.

La puesta en servicio inicia con la energización de la subestación eléctrica, operación que, en condiciones normales suele necesitar entre 5 y 10 días, ya que se realizan comprobaciones de equipos de medida, coordinación de protecciones, pruebas de tele disparos. Una vez realizado esto se continua con la energización de las celdas de media tensión de cada uno de los centros de

transformación de los aerogeneradores, momento a partir del cual ya se tiene voltaje en cada aerogenerador y es posible su puesta en servicio, operación que suele durar entre 1 y 2 días por cada aerogenerador.



Figura 3.43 Parque eólico con aerogeneradores de 2 MW.  
Fuente: Gobierno Estatal De Baja California.

# **CAPITULO 4**

## **4. CONCLUSIONES**

Hemos considerado todo el proceso que conlleva la realización de un parque eólico en México, desde su concepción hasta su construcción. Que podemos englobar de la siguiente forma:

### **1.- Evaluación de emplazamientos**

¿Qué terreno es apropiado para un parque eólico? Se identifica y evalúa el emplazamiento óptimo para un parque eólico, conciliando la posible ubicación con los aspectos técnicos, comerciales y ambientales requeridos.

Se presenta el proyecto a los propietarios para -desde un inicio- tomar en cuenta los intereses de todos los participantes.

### **2. Asegurando los terrenos**

El emplazamiento óptimo es asegurado mediante un contrato de arrendamiento o usufructo con los propietarios, trabajando en conjunto con los municipios y administradores de los terrenos.

### **3. Prospección eólica**

Evaluar el recurso eólico por medio del análisis de los datos obtenidos a partir de instrumentos de medición instalados en una o más torres anemométricas en el sitio el emplazamiento.

La evaluación del viento se realiza por lo menos durante un año, mediante la recolección de datos y luego continúa durante todo el proceso de desarrollo.

### **4. Planificación Técnica/ Micrositing**

#### **Micrositing**

Las interrogantes a responder, son ¿Qué tipo de máquina es la óptima para el sitio del proyecto? y ¿Cuál será su disponibilidad real en el momento requerido? A su vez, se debe comprobar la disponibilidad de la infraestructura y logística para transporte, montaje, mantenimiento preventivo y correctivo.

La planificación del parque eólico se realiza a través de las herramientas tecnológicas específicas ya descritas. La configuración ideal del parque eólico se determina teniendo en cuenta las condiciones técnicas de viento, las características geográficas del emplazamiento y la protección del medio ambiente.

#### **Adquisición de los aerogeneradores**

Se realiza la planificación de la compra de los aerogeneradores teniendo en cuenta la provisión de las instalaciones necesarias y fiables que varían según el emplazamiento.

Además, se comprueba la eficiencia de los aerogeneradores en su respectiva ubicación. Es importante considerar aquí los costos de adquisición y el cumplimiento de la curva de rendimiento de los aerogeneradores, la cual está en relación a la velocidad del viento.

## **5. Permisos**

Paralelamente a la planificación técnica, preparamos todos los documentos requeridos y se presenta ante los organismos competentes. Se sigue el proceso de tramitación hasta la obtención de los permisos finales.

## **6. Planificación del acceso a la red**

Para poder despachar la energía eléctrica generada, se elabora la propuesta óptima para el acceso del parque eólico a la red eléctrica. Para ello se debe planificar la comunicación técnica para la interacción entre el parque eólico, la compañía operadora del parque eólico y la compañía que transmite la energía, en México la Comisión Federal de Electricidad.

## **7. Financiamiento**

Con instituciones financieras se establece, para el parque eólico, una sólida solución financiera, que permita tener el financiamiento para asegurar la inversión. Tomando en cuenta:

- Análisis de factibilidad
- Modelo financiero
- Gestión de inversión
- Financiamiento total o parcial del proyecto

## **8. y 9. Construcción y puesta en servicio**

La construcción de un parque eólico en general tarda de 6 a 12 meses. La construcción consiste en:

- La obra civil
- La conexión a la red
- Subestación eléctrica
- Transporte de los aerogeneradores desde su origen hasta el emplazamiento
- Montaje de los aerogeneradores
- Supervisión de la construcción

Coordinando de manera minuciosa la ejecución de las obras junto a los proveedores de aerogeneradores, las autoridades involucradas, las empresas de transporte pesado y los propietarios de los terrenos.

## **10. Gestión, operación y mantenimiento.**

Diseñar un parque eólico es una cosa, pero gestionarlo con éxito otra. Muchos desarrolladores o empresas independientes se responsabilizan de la gestión, el mantenimiento, la operación técnica, económica y legal de los parques eólicos durante toda la vida útil para que no haya problemas de ninguna índole.

## 11. Comercialización de la electricidad

Hay que adaptarse al mercado eléctrico local para obtener siempre el máximo rendimiento. Se puede actuar como productores independientes de energía. Que es la figura más socorrida en México en cuanto a generación de energía eléctrica por medio de proyectos eólicos

Se puede crear un productor independiente de energía, es decir, una entidad capaz de generar energía eléctrica y hasta cierto punto comercializarla.



Figura 4.1. Ciclo de ejecución de un proyecto eólico  
Fuente: <http://www.wpd.de/de/wpd-think-energy-startseite.html>

ETAPAS	CICLO DE PRODUCCIÓN GAMESA						CICLO DE PRODUCCIÓN CLIENTE	
	DESARROLLO +			INSTALACIÓN +			EXPLOTACIÓN +	
➔ Duración	3 a 4 años			6 a 9 meses			> 20 años	
➔ Acciones	Búsqueda de emplazamientos	Medición de viento	Permisos	Obra civil	Montaje de aerogeneradores	Contratos de servicios de operación y mantenimiento, también atendidos por Gamesa		
➔ Duración	6 meses	2 años	1 año	4 meses	2 - 3 meses			

Figura 4.2. Periodos típicos de ejecución de un proyecto eólico  
Fuente: Gamesa

Los beneficios al utilizar energía proveniente de fuentes renovables y en especial de la energía eólica son muchos, quizás más de los posibles perjuicios que puedan existir:

### **Beneficios**

- No contaminante: La energía eólica es una fuente limpia, gratuita y renovable de energía. Además, más poder del viento puede significar que el país pueda alejarse de las llamadas fuentes "sucias" de producción de energía como el carbón y el petróleo.
- Está disponible: Nuestro vasto territorio y litoral tienen un potencial para producir más energía eólica pues es abundante y segura.
- Los parques eólicos coexisten en armonía con otras actividades de explotación existentes o futuras en el sitio, de manera que éstas casi no se verían afectadas por su presencia. La presencia de aerogeneradores no causa ningún tipo de afectación en las actividades agrícola-ganaderas, excepto las pérdidas de espacio físico mínimo donde están instalados.
- Atracción de la inversión privada
- Creación de empleos: al desarrollarse la industria eólica en México, se fomenta el desarrollo económico, y la generación de empleos tanto nacional como local. Impulsa la Creación de pequeñas y medianas empresas
- Beneficio directo a propietarios donde se ubican parques eólicos: Además de un beneficio económico los propietarios pueden hacer la regularización de sus tierras o la obtención de títulos de propiedad, certificados parcelarios.
- No utiliza agua.
- No genera residuos peligrosos.

### **Posibles Perjuicios**

- Flora y fauna: Los ecosistemas podrían ser modificados por la construcción de parques eólicos. Eventualmente las aves migratorias podrían estar en riesgo, así como otros animales que viven cerca de las tierras evacuadas por la construcción de parques eólicos.
- Es poco fiable: Las turbinas de viento se mueven de forma intermitente, no 24 horas al día, 7 días a la semana. Esto es, de las 8,760 horas que tiene el año, un parque eólico funciona en promedio entre el 20 al 40% de este total, es decir entre 1,752 y 3,500 horas. A esto se le conoce como el factor de planta de un parque eólico o las horas de operación y varía en cada proyecto eólico.
- Algunos sostienen que esto hace que la energía eólica sea poco confiable como fuente de energía.

La Asociación de Energía Eólica de Canadá dice que la energía eólica debe ser considerada como parte de una "dieta energética equilibrada", compensada por las formas convencionales de generación de electricidad, como la hidroelectricidad.

Pero no solo en México se toman iniciativas para fomentar el uso de energía renovable, sino que en todo el mundo se toma conciencia al respecto del uso de fuentes de energía renovables y algunos países tienen políticas y metas agresivas, para tener en un mediano plazo un cierto porcentaje de generación eléctrica a través de estas alternativas limpias.

Las energías renovables a nivel mundial representan el 18% de la generación eléctrica y la mayoría de esta participación considera las energías hidráulica y eólica.

En México, sin considerar la energía generada por hidroeléctricas, apenas se rebasa un 3% de la capacidad instalada de generación eléctrica con base en energías renovables, es decir a través de la geotérmica, la eólica, el biogás y la biomasa. La energía eólica tiene una capacidad instalada, al 2010 de 518.63 MW, lo cual es un insignificante 0.82% de la capacidad del sistema eléctrico nacional.

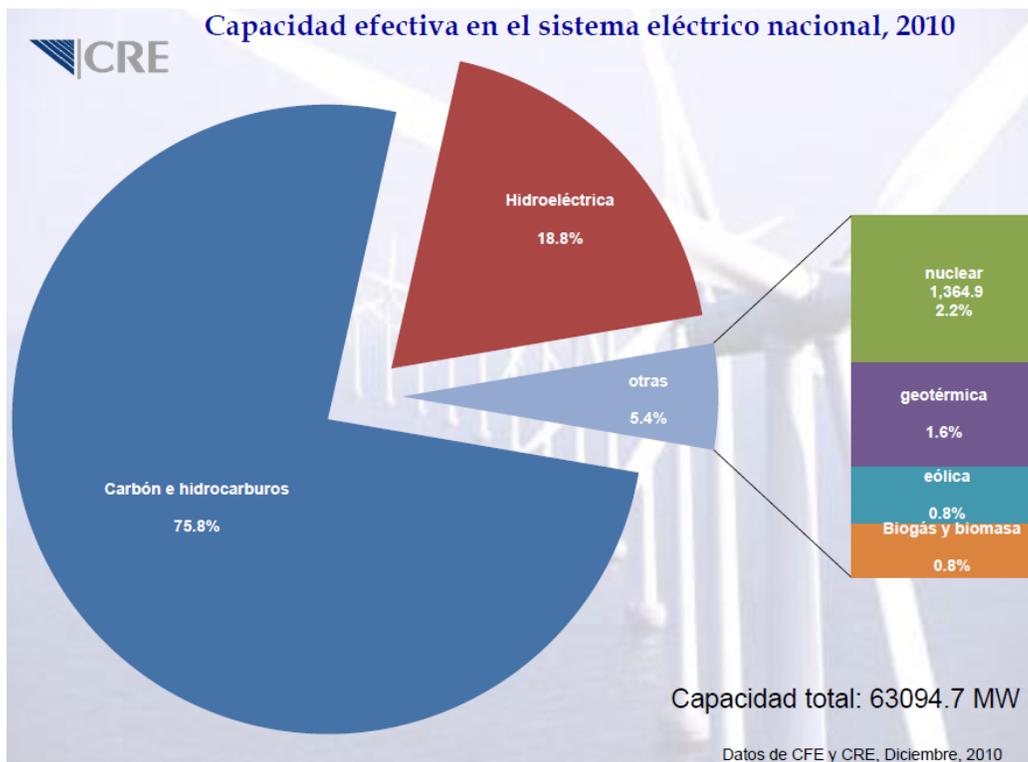


Figura 4.3. Capacidad efectiva del sistema eléctrico nacional 2010  
Fuente: CRE

Si bien las energías renovables han estado incluidas en la política pública mexicana de distintas formas desde hace décadas, es la primera vez que ocupan un lugar tan importante en el Plan Nacional de Desarrollo, pues están explícitamente incluidas en sus estrategias. Para ello plasma dichas estrategias de la siguiente forma:

Documento	Plazo	Metas
Estrategia Nacional de Energía	2009-2024	Capacidad de generación eléctrica con tecnologías limpias de 35%. (Energías renovables, grandes hidroeléctricas y energía nuclear).
Programa Sectorial de Energía	2007-2012	Participación de las energías renovables, incluyendo grandes hidroeléctricas, en la capacidad de generación de energía eléctrica de 23 a 26%.
Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovable	2009-2012	Capacidad instalada de 7.6% - de ellos la Energía Eólica 4.34%-.  Y una generación entre el 4.5 y 6.6% del total nacional a partir de fuentes renovables de energía, excluyendo grandes hidroeléctricas. -de ellos la Energía Eólica: entre 1.74 - 2.91%.

Figura 4.4. Estrategias del Gobierno Mexicano para energías renovables  
Fuente: <http://www.renovables.gob.mx/portal/Default.aspx?id=1669&lang=1>

De esta manera es como el gobierno federal traza sus políticas y estrategias del uso de energía renovable.

Para cumplir estas metas, dependencias como la Comisión Reguladora de Energía, la CRE, ha otorgado una cantidad importante de permisos para la generación de energía, a base del viento y que para abril del 2011 alcanza una capacidad de 2,727.1 MW, con lo cual se puede llegar al objetivo planteado de tener la capacidad instalada del 4.34% a través de la energía eólica.

Recientemente la misma CRE ha lanzado una convocatoria denominada temporada abierta para el desarrollo de proyectos eólicos en los estados de Oaxaca, Tamaulipas y Baja California. Para Oaxaca es la segunda temporada abierta. Estas temporadas abiertas se refieren a la infraestructura de transmisión y transformación asociada a proyectos eoloelectrónicos en cada uno de estos estados y tienen como propósito coordinar a CFE y a usuarios de transmisión en el desarrollo de líneas de transmisión cuando ésta es insuficiente. Lo cual fomenta que diversas empresas deseen participar en el desarrollo de proyectos eólicos

Sin embargo algunos de los proyectos lamentablemente no se logran concretar por diversas situaciones y barreras, las principales son:

- Por los problemas de tenencia de la tierra. El territorio Mexicano tiene un 53% del mismo regulado por el derecho agrario, es decir son ejidos y solo un porcentaje de los ejidatarios cuenta con su certificado parcelario que da fe de su propiedad. Esto ocasiona que no se tenga una certeza jurídica para realizar contratos de arrendamiento o usufructo.
- Muchos trámites: la gran cantidad de trámites y permisos ocasionan un lento avance de los proyectos y en casos extremos la cancelación de los mismos.

- La falta de infraestructura eléctrica, tanto en líneas de transmisión como subestaciones, para conectar los proyectos eólicos a la red del Sistema Eléctrico Nacional.
- Que el proyecto no se ubique en las cercanías de un área natural protegida, pues de lo contrario la SEMARNAT, no autorizará la realización del proyecto.
- La falta de incentivos económicos o fiscales para proyectos eólicos. Actualmente son incipientes estos incentivos y solo se cuenta con estímulo fiscal que a la letra indica: *“Los contribuyentes del ISR que inviertan en maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables, podrán deducir 100% de la inversión en un solo ejercicio y con ello favorecer la protección del medio ambiente al disminuir el uso de combustibles fósiles.”*
- Financiamiento. Para proyectos eólicos de la magnitud que aquí se plantea es necesario recurrir a distintas entidades financieras nacionales e internacionales, como el banco mundial. Muchos perciben las inversiones en energía eólica como de alto riesgo y por ende limitan el financiamiento económico.

### **Reflexiones Finales**

- El potencial de la energía eólica en México es grande.
- Es necesario desarrollar capacidades para identificar y aprovechar las oportunidades de negocio.
- Es urgente incrementar el acervo tecnológico nacional en el campo eólico.
- Es importante establecer la cadena de suministro en México para aprovechar el pleno valor del recurso eólico.
- Es necesario planear, construir y pagar por las nuevas instalaciones de transmisión y distribución de energía eléctrica que se requerirán para acceder a recursos eólicos.
- Hay que desarrollar la planeación de la integración de centrales eólicas al sistema eléctrico nacional, estableciendo prioridades regionales en función de las necesidades y oportunidades.
- Es necesario ampliar el portafolio energético del país, impulsando una mayor seguridad energética al no depender de una sola fuente de energía; es decir, diversificar las fuentes para la generación de energía eléctrica, impulsando especialmente el uso de fuentes renovables.
- Mejorar el marco regulador específico para la generación eoloeléctrica que incluya elementos que faciliten su integración al sistema eléctrico nacional. Con ello incentivar la inversión con suficiente certidumbre jurídica y económica en el largo plazo.

- Creación de un mayor número de incentivos fiscales para hacer más atractivo la inversión en proyectos eólicos.
- Minimizar la cantidad de trámites y permisos para hacer desarrollar los proyectos eólicos de una manera más ágil.

Nuestro país tiene un gran potencial en energía eólica y en otras energías renovables, con lo que ofrece amplias oportunidades que deben ser aprovechadas. Esto permitirá atender los desafíos que se enfrentan por el calentamiento global.

Toca a nuestra generación la responsabilidad, la obligación y la gran oportunidad de dejar a nuestros hijos y a generaciones futuras, un mundo mejor y que tengan el beneficio de disfrutar la riqueza de los recursos naturales. Hagamos conciencia de que el tiempo se está agotando para instrumentar las soluciones que se requieren para enfrentar los efectos del cambio climático.

Tenemos una sola casa, nuestro planeta tierra, y nos toca a nosotros preservar lo que a la naturaleza le ha llevado crear por miles de años.

# **GLOSARIO DE TERMINOS**

## 5. GLOSARIO DE TERMINOS

**Aerogenerador:** Máquina que transforma la energía del viento en energía eléctrica.

**Amperio o ampere:** Es la unidad de intensidad de corriente eléctrica. Es la cantidad de electricidad que pasa por un conductor por un segundo. La corriente está relacionada con la potencia expresada en watts o vatios de la siguiente forma  $P \text{ (watts)} = I \text{ (amperes)} \times V \text{ (volts)}$ .

**Anemómetro:** instrumento que se utiliza para medir la velocidad del viento. Sus señales son empleadas por el controlador electrónico para conectar el aerogenerador cuando el viento alcance la velocidad de arranque. Si la velocidad es superior a la de corte, el ordenador parará el aerogenerador para evitar desperfectos en el mismo.

**Bridas:** Las secciones de la torre de un aerogenerador son atornilladas utilizando bridas de acero laminado en caliente, soldada a los extremos de cada sección de la torre.

**Buje:** Centro del rotor donde se acoplan las palas.

**Coefficiente de potencia:** El coeficiente de potencia mide la eficiencia con la que el aerogenerador convierte la energía eólica en electricidad. Se obtiene dividiendo la potencia eléctrica disponible entre la potencia eólica de entrada.

**Combustible fósil:** Se considera combustible fósil al carbón, petróleo y el gas natural o sus derivados de ellos

**Conexión directa a red:** En la conexión directa a red el generador está directamente conectado a la red de corriente alterna, generalmente trifásica.

**Contaminación:** Cualquier alteración física, química o biológica del aire. El agua o la tierra que produce daños a los organismos vivos.

**Curva de potencia:** Es un gráfico que indica cual será la potencia eléctrica disponible en el aerogenerador a diferentes velocidades de viento.

**Densidad de potencia:** La densidad de potencia calcula la distribución de energía eólica a diferentes velocidades del viento. Se obtiene multiplicando la potencia de cada velocidad del viento por la probabilidad del viento de la gráfica de Weibull.

**Densidad del aire:** La energía cinética del viento depende de la densidad del aire, es decir, de su masa por unidad de volumen, esto es, cuanto "más pesado" sea el aire más energía recibirá la turbina.

**Disponibilidad:** Relación entre el número de horas en las que un aerogenerador produce energía y el número de horas en que han existido velocidades de viento dentro del rango de funcionamiento del aerogenerador.

**Energía Cinética:** La energía cinética de un cuerpo es una energía que surge en el fenómeno del movimiento. Está definida como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa dada desde su posición de equilibrio hasta una velocidad dada.

**Factor de carga:** Para conocer la producción anual de energía de un aerogenerador se divide la producción anual de energía entre la producción teórica máxima, si la máquina estuviera funcionando a su potencia nominal (máxima) durante las 8760 horas del año. Este factor suele rondar el 20 o 30%.

**Gases invernadero:** Son los gases que permiten pasar las radiaciones solares, pero no permiten pasar hacia el exterior de la atmósfera la radiación infrarroja emitida por la tierra. Esto modifica el equilibrio térmico de la tierra y puede originar incrementos en la temperatura de la tierra.

**Góndola:** Es donde se encuentran el multiplicador y el generador eléctrico, dos de los componentes claves del aerogenerador. Para acceder al interior de la góndola ha de hacerse desde la torre de la turbina. El rotor del aerogenerador, formado por las palas y el buje, está situado a la izquierda de la góndola.

**Hertzio o Hz:** Medida de frecuencia o Número de ciclos de onda por segundo.

**Isoventas:** Líneas de un mapa eólico que unen puntos de igual velocidad media de viento, debiendo ser especificadas previamente las condiciones de determinación de la velocidad media.

**Mapa eólico:** Mapa en donde se consignan diversos datos de tipo eólico, tales como velocidades medias de viento, direcciones predominantes, regularidad.

**Multiplicador:** Sistema mecánico inverso al reductor de velocidad que mediante un conjunto de engranajes comunica al eje arrastrado o de salida una velocidad de giro mayor que la del eje motor o de entrada.

**Mecanismo de orientación:** es utilizado en el aerogenerador para girar el rotor de la turbina en contra del viento, de forma que pase a través del roto la mayor proporción de viento.

**Multiplicador:** es el sistema mecánico que mediante un conjunto de engranes comunica al eje de salida una velocidad de giro mayor que al eje de entrada.

**Número de horas equivalentes:** Parámetro usado en la caracterización del aprovechamiento de la energía eólica que es igual a la razón entre la energía generada durante un año y la potencia nominal de la máquina.

**Pala:** Elemento del aerogenerador que por aprovechamiento aerodinámico transforma la energía cinética del viento en energía mecánica en el eje del generador.

**Parque eólico:** Instalación eólica que comprende varios aerogeneradores y su infraestructura eléctrica, de medición y control correspondiente.

**Potencia:** Cantidad de energía consumida por unidad de tiempo. Unidad de potencia W (watt), un Kilowatt (KW) son 1,000 Watts, un Mega watt (MW) son 1,000,000 watts

**Red eléctrica:** Conjunto de líneas de transmisión, subestaciones eléctricas y obras conectadas entre sí para la conducción de energía eléctrica

**Rosa de vientos:** Gráfico que representa la frecuencia con la que se produce la velocidad de viento en las distintas direcciones.

**Sistema hidráulico:** El sistema hidráulico restaura los frenos aerodinámicos del aerogenerador.

**Torre:** Soporta la góndola y el rotor. Es mejor cuanto más alta ya que a mayor altura mayores velocidades de viento. Las torres pueden ser tubulares, de celosía o concreto.

**Unidad de refrigeración:** La unidad de refrigeración está compuesta por un ventilador eléctrico y una unidad de refrigeración de aceite. El primero se utiliza para enfriar el generador eléctrico y el segundo para enfriar el aceite del multiplicador. Algunas turbinas tienen generadores enfriados por agua.

**Veleta:** Es un accesorio utilizada para medir la dirección del viento, envía sus señales al controlador electrónico de forma que éste pueda girar el aerogenerador en contra del viento utilizando el mecanismo de orientación.

**Velocidad de arranque:** Velocidad mínima de viento por encima de la cual el rotor comienza a girar.

**Velocidad de corte:** Velocidad máxima de viento por encima de la cual rotor deja de suministrar potencia al eje motor.

**Velocidad de diseño nominal:** Velocidad del viento incidente para la cual se obtiene la potencia máxima.

**Velocidad máxima crítica:** Velocidad del viento a la que se pone en funcionamiento los sistemas de parada de emergencia en previsión sobre cargas mecánicas peligrosas.

**Velocidad media anual del viento:** Valor medio del módulo de la velocidad del viento en un emplazamiento y altura dados a lo largo de un año.

# **BIBLIOGRAFÍA**

## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. GWEC Global Wind Report Annual market update 2010 <http://www.gwec.net/>
2. REN21 Renewables 2011 Global Status Report <http://www.ren21.net/>
3. Wind energy manual. Danish Wind Industry Association (DWIA) [http://wiki.windpower.org/index.php/Category:Wind\\_energy\\_manual](http://wiki.windpower.org/index.php/Category:Wind_energy_manual)
4. AEE Anuario Eólica 2011 Asociación Empresarial Eólica de España <http://www.aeeolica.org/>
5. Manuales sobre energía renovable: Eólica Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R. ISBN: 9968-904-00-7. 2002
6. La energía del viento ¿Cómo aprovechar su valor? Jorge M. Huacuz Villamar. Ciencia y desarrollo. Febrero del 2010.
7. Reporte sobre Eficiencia Energética y Acceso en América Latina y el Caribe. Foro de Eficiencia energética y Acceso. México D.F. Sept. 28-29, 2010.
8. Guía de gestiones para implementar en México plantas de generación eléctrica que utilicen energías renovables. Secretaría de Energía (SENER), Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) [www.layrlin.org/pdfs/guia.pdf](http://www.layrlin.org/pdfs/guia.pdf)
9. Presentation and demonstration of the Wind Atlas Method and the WASP software. SAWEP Workshop Wind Atlas for South Africa (WASA) Cape Town, 4th March 2010. [www.wasaproject.info/wp.../7\\_wind\\_atlas\\_wasp\\_resource\\_mapping.pdf](http://www.wasaproject.info/wp.../7_wind_atlas_wasp_resource_mapping.pdf)
10. Curso de Energía eólica ENDESA. Gaspar Iniesta Mora , 25 Septiembre de 2007
11. Wind Energy Toolkit, New York State Energy Research and Development Authority. [www.nyserda.org](http://www.nyserda.org) , [www.powernaturally.org](http://www.powernaturally.org) ---CONSTRUCCIÓN--
12. La Energía Eólica En MÉXICO, TECH4CDM [www.tech4cdm.com](http://www.tech4cdm.com)
13. Información sobre arrendamiento de tierras y potencial de generación de empleos relacionados con el desarrollo de proyectos eoloeléctricos en México. Elaborado por Windrock international, American Wind Energy Association, Marzo 21, 2003
14. Primer Documento del Proyecto Eoloeléctrico del Corredor Eólico del Istmo de Tehuantepec. Marco A. Borja Díaz, Oscar Jaramillo Salgado Fernando Mimiaga Sosa. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Gobierno del Estado de Oaxaca. 2005.
15. (Pasado), Presente y Futuro de las Energías Renovables en España Manuel Vázquez Vázquez Universidad de Vigo. España. Durante la semana nacional de energía solar del 28 de septiembre -3 de octubre 2009. Guadalajara Jalisco.

16. Energía eólica. Clemente Álvarez IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía C/Madera, 8 E-28004-Madrid comunicacion@idae.es [www.idae.es](http://www.idae.es) septiembre de 2006.
17. Energías renovables: ventajas y desventajas de la energía eólica.  
[http://www.revistafuturos.info/futuros14/energia\\_eolica.htm](http://www.revistafuturos.info/futuros14/energia_eolica.htm)
18. This is for you. Our complete product portfolio. Vestas. <http://www.vestas.com/>
19. Estudio Macroeconómico del Impacto del Sector Eólico en España. Elaborado por Deloitte para 2011 Asociación Empresarial Eólica de España Actualización 2010, Proyección 2020.  
<http://www.aeeolica.org/>
20. Wind Power Project Site. Identification and Land Requirements. New York State Energy Research and Development Authority. [www.nyserda.org](http://www.nyserda.org) , [www.powernaturally.org](http://www.powernaturally.org)
21. Panorama General de la Energía Eólica en México Asociación Mexicana de Energía Eólica 2010. [www.amdee.org](http://www.amdee.org).
22. Acción de Coordinación / Acciones para el Desarrollo de la Energía Eólica en Latinoamérica Coordinador: Santiago Arnaltes Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Cartagena (Colombia), Julio 2010.
23. Wind Energy Handbook. Tony Burton, David Sharpe and Nick Jenkins. John Wiley & Sons. England. (2001). ISBN 0-471-48997-2
24. Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México, Sener 2009
25. Estrategia Nacional Para La Transición Energética y El Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2011. Sener
26. Estrategia Nacional de la Energía, 2010 y 2011. Sener.  
<http://www.sener.gob.mx/res/1646/EstrategiaNacionaldeEnergiaRatificadaporelHCongresodelaUnion.pdf>, <http://www.sener.gob.mx/res/1646/EstrategiaNacionalEnergia2011-2025Enviada25Febrero2011HCongresoUnionRatificacion.pdf>
27. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables. Subsecretaría de planeación energética y desarrollo tecnológico. Sener.  
<http://www.sener.gob.mx/res/0/Programa%20Energias%20Renovables.pdf>
28. REN21. 2010. Renewables 2010 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat).  
[http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/REN21\\_GSR\\_2010\\_full\\_revised%20Sept2010.pdf](http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/REN21_GSR_2010_full_revised%20Sept2010.pdf)
29. WIND RESOURCE ASSESSMENT FOR Wind Site 1, SITE No. 1001 GPCo Inc. 1471, boul. Lionel-Boulet, #26, Varennes, QC J3X 1P7 Canada.  
[www.gpcoenergy.com/uploads/Sample\\_GPCo\\_Monthly\\_Report.pdf](http://www.gpcoenergy.com/uploads/Sample_GPCo_Monthly_Report.pdf)

30. Prospectiva del sector eléctrico 2010-2025. Sener.  
[http://www.sener.gob.mx/res/1825/SECTOR\\_ELECTRICO.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/1825/SECTOR_ELECTRICO.pdf)
31. Wind Energy Siting Handbook. 2008 Awea  
[http://www.awea.org/sitinghandbook/downloads/AWEA\\_Siting\\_Handbook\\_Feb2008.pdf](http://www.awea.org/sitinghandbook/downloads/AWEA_Siting_Handbook_Feb2008.pdf)
32. Energías Renovables para todos” editora de la revista “Energías Renovables”, Iberdrola.  
[www.energias-renovables.com](http://www.energias-renovables.com)
33. Seminario Cigré México 2010. Energía Eólica Generación Eoloeléctrica Ing. Marco A. Borja Díaz Instituto de Investigaciones Eléctricas Gerencia de Energías No Convencionales.
34. Atlas del potencial eólico y solar para un México.  
<http://sag01.iie.org.mx/eolicosolar/Default.aspx>
35. Energía Eólica .Aerogeneradores Abel Maestre Gaya, Máster en Mantenimiento Industrial y Técnicas De Diagnóstico Sevilla 2007/2008.
36. The Economics of Wind Energy .A report by the European Wind Energy Association.  
[http://www.ewea.org/fileadmin/ewea\\_documents/documents/00\\_POLICY\\_document/Economics\\_of\\_Wind\\_Energy\\_March\\_2009\\_.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/00_POLICY_document/Economics_of_Wind_Energy_March_2009_.pdf)
37. Aerogeneradores Enercon .Gama de Productos. [www.enercon.de](http://www.enercon.de)
38. Metodología para la determinación de los cargos correspondientes a los servicios de transmisión que preste el suministrador a los permisionarios con centrales de generación de energía eléctrica con fuentes de energía renovable o cogeneración eficiente. Diario oficial de la federación 16/04/2010
39. Atlas del potencial eólico de Nuevo León México. 2011
40. Elementos para la Promoción de la Energía Eólica en México. MARZO 2009 Publicación producida y revisada por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional  
<http://www.amdee.org/LiteratureRetrieve.aspx?ID=44031>
41. Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.( LAERFTE) Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión DOF 28-11-2008
42. Reglamento de la ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética Diario Oficial Miércoles 2 de septiembre de 2009.  
<http://www.cre.gob.mx/documento/1570.pdf>
43. Energía Eólica: realidades, elaborada por la Asociación Europea de la Energía Eólica (EWEA).  
<http://www.wind-energy-the-facts.org/es/resumen-ejecutivo/prefacio.html>
44. Wind Energy Manual, Wind Energy Economics Iowa Energy Center.  
[http://www.energy.iastate.edu/renewable/wind/wem/wem-13\\_econ.html](http://www.energy.iastate.edu/renewable/wind/wem/wem-13_econ.html)

45. 2009 WIND TECHNOLOGIES MARKET REPORT U.S Department Energy, Agosto 2010
46. WIND RESOURCE ASSESSMENT HANDBOOK Fundamentals for Conducting a Successful Monitoring Program Prepared By: AWS Scientific, Inc. CESTM, 251 Fuller Road Albany, NY 12203 April 1997. [www.awsscientific.com](http://www.awsscientific.com)
47. Normas de CFE. [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)
48. NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas (utilización), aprobada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Instalaciones Eléctricas. [www.sener.gob.mx/res/Acerca\\_de/NOM001-SEDE-2005.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/Acerca_de/NOM001-SEDE-2005.pdf)
49. Guía de Programas de Fomento de Energías Renovables para los Municipios de la República Mexicana [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)
50. ENERGÍA EÓLICA Oscar A. Jaramillo Salgado Coordinación de Concentración Solar x UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA. 28 Marzo 2008.
51. Manual de la Energía Eólica. J.M. Escudero López ediciones Mundi-Prensa 2008.
52. Normas IEC series 61400-X Wind Turbine. International Electrotechnical Commission 3, rue de Varembé P.O. Box 131 CH-1211 Geneva 20 Switzerland [info@iec.ch](mailto:info@iec.ch) [www.iec.ch](http://www.iec.ch)
53. WIND ENERGY BIBLIOGRAPHY U.S. Department of Energy (DOE). [http://www.nrel.gov/research/wind/wind\\_bib.html](http://www.nrel.gov/research/wind/wind_bib.html)
54. Wind Energy Resource Atlas of Oaxaca. 136 pp Elliott, D.; Schwartz, M.; Scott, G.; Haymes, S.; Heimiller, D.; George, R. (2003). NREL Report No. TP-500-34519. <http://www.nrel.gov/docs/fy03osti/34519.pdf>
55. Presentación de Fuerza Eólica del Istmo “La Nueva Cosecha del Oaxaca Rural” Huatulco Oaxaca Octubre 14, 2010.
56. Central Eólica La Mata & La Ventosa. Eléctrica del valle de México. Guillermo Cacho. Octubre 14, 2010.
57. LEY DE COORDINACIÓN PARA EL FOMENTO DEL APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN EL ESTADO DE OAXACA Ley publicada en el Periódico Oficial del Estado de Oaxaca el 3 de abril de 2010. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Oaxaca/wo54199.pdf>
58. Pasado, presente y futuro de en la oferta de turbinas en el corredor eólico de del istmo la nueva cosecha del Oaxaca rural, Oaxaca México Oct 2010. Vestas
59. Introducing WAsP 9.0. RISO <http://risoe.dtu.dk/WAsP.aspx>
60. Product-brochure-V80-2.0MW-06-09-EN. Vestas <http://www.vestas.com/>
61. <http://www.3tier.com/firstlook/>

62. <http://www.amdec.org/>
63. <http://www.lawea.org/>
64. <http://www.nrel.gov>
65. <http://www.windpro.com/>
66. [www.awsopenwind.com](http://www.awsopenwind.com)
67. [www.meteosimtruewind.com](http://www.meteosimtruewind.com)
68. Bloomberg New Energy Finance <http://bnef.com>
69. Energy Business Review. <http://www.energy-business-review.com/>
70. Energy Central. <http://www.energycentral.com>
71. IEEE publications [http://www.ieee.org/publications\\_standards/index.html](http://www.ieee.org/publications_standards/index.html)
72. North American Clean Energy <http://www.nacleanenergy.com>
73. North American Windpower [http://www.nawindpower.com/new\\_home.php](http://www.nawindpower.com/new_home.php)
74. Sun & Wind Energy <http://www.sunwindenergy.com>
75. Renewable Energy Focus <http://www.renewableenergyfocus.com>
76. Renewable Energy World <http://www.renewableenergyworld.com>
77. Windpower Engineering <http://www.windpowerengineering.com>
78. Windpower Monthly <http://www.windpowermonthly.com>
79. Wind Today <http://www.windtoday.net>
80. World of Renewables <http://www.worldofrenewables.com>
81. <http://www.energiasrenovables.ciemat.es/>
82. Energía Eólica Teoría y Características de Instalaciones Ing. Ricardo Iannini - Ing Jorge Gonzalez - Ing. Sabino Mastrángelo.
83. Revista Energías Renovables, Especial de América [www.energias-renovables.com](http://www.energias-renovables.com)
84. Guía para Evaluación Ambiental Energías Renovables no convencionales Proyectos Eólicos. Elaborado por la Comisión Nacional de Energía de Chile [www.cne.cl](http://www.cne.cl)
85. Guidelines for Design Wind Turbines. A publication from DNV /RISO in technical co-operation. [http://ns7.freeheberg.com/~mach085/Guidelines\\_for\\_Design\\_of\\_Wind\\_Turbines.pdf](http://ns7.freeheberg.com/~mach085/Guidelines_for_Design_of_Wind_Turbines.pdf)

86. Cener (Centro Nacional de Energías Renovables) España. [www.cener.com](http://www.cener.com)
87. G5X-850 KW) y aerogeneradores Multi-MW (Gamesa G8X-2,0 MW y la nueva .... eléctrica (centros de transformación e infraestructura de media tensión del ..... transformación para ubicación de cabinas y transformador elevador (en el ... ) [http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/8247/1/PFC\\_Nieves\\_Alvarez\\_Marivela.pdf](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/8247/1/PFC_Nieves_Alvarez_Marivela.pdf)
88. <http://tps-mex.com/es/renovables#video>
89. <http://www.escuelaendesa.com/>
90. Evaluation Of Site-Specific Wind Conditions Version 1 November 2009 MEASNET 2009 [www.measnet.com](http://www.measnet.com)
91. <http://www.wind-works.org/articles/>
92. [www.retscreen.net](http://www.retscreen.net)
93. <http://www.wpd-argentina.com/home/frame.index.php>
94. <http://www.thewindpower.net>

# **LISTADO DE FIGURAS**

## LISTADO DE FIGURAS

### CAPITULO 1

- Figura 1.1. Evolución de aerogeneradores por tamaño y capacidad de generación de energía. Fuente: Asociación Europea de Energía Eólica.
- Figura 1.2. Capacidad mundial acumulada de generación de energía eólica. Fuente: GWEC (Consejo Mundial de la Energía Eólica).
- Figura 1.3. Capacidad mundial anual de generación de energía eólica. Fuente: GWEC (Consejo Mundial de la Energía Eólica).
- Figura 1.4. Top 10 por capacidad acumulada y capacidad instalada en el 2010. Fuente: GWEC (Consejo Mundial de la Energía Eólica).
- Figura 1.5. Capacidad anual instalada por región mundial en el 2010. Fuente: GWEC (Consejo Mundial de la Energía Eólica).
- Figura 1.6. Capacidad anual instalada por región mundial en el 2010. Fuente: GWEC (Consejo Mundial de la Energía Eólica).
- Figura 1.7. Capacidad instalada en México en el 2008. Fuente: Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables.
- Figura 1.8. Capacidad eólica acumulada en México al 2010. Fuente: Asociación Mexicana de Energía eólica AMDEE.
- Figura 1.9. Proyectos Eólicos en México al 2010. Fuente: Asociación Mexicana de Energía eólica AMDEE.
- Figura 1.10. Zonas de aprovechamiento eólico Nacional. Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- Figura 1.11. Proyectos eólicos en operación, bajo construcción y en desarrollo en México. Fuente: Asociación Mexicana de Energía eólica AMDEE.
- Figura 1.12. Tubo de corriente para ley de Betz. Fuente: [www.windpower.dk](http://www.windpower.dk).
- Figura 1.13. Variación de la velocidad del viento con la altura.
- Figura 1.14. Clases y longitudes de rugosidad del terreno.
- Figura 1.15. Fuerzas de Coriolis.
- Figura 1.16. Mediciones de viento mensual.
- Figura 1.17. Curva de distribución de probabilidades de Weibull.

- Figura 1.18. Distribución de probabilidades de Weibull para tres sitios y curva de distribución Normal.
- Figura 1.19. Escala de Beaufort del viento.
- Figura 1.20. Índice de Deformidad de Griggs – Putnam del viento.
- Figura 1.21. Torre de medición Meteorológica y sus distintos componentes.
- Figura 1.22. Rosa de vientos típica. Fuente: [www.windpower.org](http://www.windpower.org).
- Figura 1.23. Aerogenerador de eje Vertical.
- Figura 1.24. Aerogenerador de eje horizontal, tripala, barlovento.
- Figura 1.25. Secciones esenciales de un Aerogenerador moderno para generar electricidad.
- Figura 1.26. Componentes de un Aerogenerador.
- Figura 1.27 Elementos principales de un aerogenerador y su participación en el precio total del aerogenerador. Fuente: Asociación Empresarial Eólica.
- Figura 1.28 Clasificación de aerogeneradores según la IEC 61400-1. Fuente: Instituto de investigaciones eléctricas.
- Figura 1.29 Ejemplo de Hoja Técnica de aerogenerador de Modelo V82- 1.65 MW de la marca Vestas. Fuente: [www.vestas.com/media/brochures.aspx](http://www.vestas.com/media/brochures.aspx).
- Figura 1.30 Ejemplo de Hoja Técnica de aerogenerador de Modelo V90- 1.8/2.0 MW de la marca Vestas. Fuente: [www.vestas.com/media/brochures.aspx](http://www.vestas.com/media/brochures.aspx).
- Figura 1.31 Ejemplo de Hoja Técnica de aerogenerador de Modelo AW-1500 de 1.5 MW de la marca Acciona. Fuente: [http://www.accionaenergia.es/areas\\_actividad/aerogeneradores/modelos.aspx](http://www.accionaenergia.es/areas_actividad/aerogeneradores/modelos.aspx).
- Figura 1.32 Ejemplo de Hoja Técnica de aerogenerador de Modelo G-90 de 2.0 MW de la marca GAMESA. Fuente: [http://www.gobcan.es/industria/eolica/V-07\\_GC-091.pdf](http://www.gobcan.es/industria/eolica/V-07_GC-091.pdf).
- Figura 1.33 Ejemplo de Hoja Técnica de aerogenerador de Modelo G-90 de 2.0 MW de la marca GAMESA. (Continuación). Fuente: [http://www.gobcan.es/industria/eolica/V-07\\_GC-091.pdf](http://www.gobcan.es/industria/eolica/V-07_GC-091.pdf).
- Figura 1.34 Ejemplo de Hoja Técnica de aerogenerador de Modelo G-90 de 2.0 MW de la marca GAMESA. (Continuación). Fuente: [http://www.gobcan.es/industria/eolica/V-07\\_GC-091.pdf](http://www.gobcan.es/industria/eolica/V-07_GC-091.pdf).

## CAPITULO 2

- Figura 2.1. Atribuciones de las principales dependencias gubernamentales del sector de energía eléctrica. Fuente: Comisión Reguladora de Energía.

- Figura 2.2. Costos de porteo actualizado a Marzo del 2011. Fuente: Comisión Reguladora de Energía.
- Figura 2.3. Atlas de viento de Baja California. Fuente: [http://www.nrel.gov/wind/pdfs/mexico\\_baja.pdf](http://www.nrel.gov/wind/pdfs/mexico_baja.pdf).
- Figura 2.4. Atlas de viento de Gobierno del estado de Nuevo León. Fuente: [http://200.23.43.29/eolico/Atlas de Potencial Eolico de Nuevo Leon.pdf](http://200.23.43.29/eolico/Atlas_de_Potencial_Eolico_de_Nuevo_Leon.pdf).
- Figura 2.5. Información de 3tier del mismo punto del atlas del Estado de Nuevo León. Fuente: [www.3tier.com](http://www.3tier.com).
- Figura 2.6. Torre de medición en sitio.
- Figura 2.7. Información generada mediante el software WAsP. Fuente: SAWEP Workshop, Wind Atlas for South Africa (WASA) Cape Town, 4th March 2010.
- Figura 2.8. Mediciones de torre de medición en sitio necesarias para el software WAsP. Fuente: SAWEP Workshop, Wind Atlas for South Africa (WASA) Cape Town, 4th March 2010.
- Figura 2.9. Información generada por WAsP (distribución de Weibull y rosa de vientos de sitio). Fuente: SAWEP Workshop, Wind Atlas for South Africa (WASA) Cape Town, 4th March 2010.
- Figura 2.10. Distribución de potencia en terreno generada por WAsP. Fuente: SAWEP Workshop, Wind Atlas for South Africa (WASA) Cape Town, 4th March 2010.
- Figura 2.11. Distribución de aerogeneradores en sitio generada por WAsP. Fuente: SAWEP Workshop, Wind Atlas for South Africa (WASA) Cape Town, 4th March 2010.
- Figura 2.12. Ejemplo de Distribución de aerogeneradores según velocidad del viento Fuente: [www.normawind.com/sericios-detalle.php?idservicio=11](http://www.normawind.com/sericios-detalle.php?idservicio=11).

### CAPITULO 3

- Figura 3.1. Diagrama unifilar general de un parque eólico de 100 MW.
- Figura 3.2. Memoria de cálculo para obtener conductores y pérdidas de potencia.
- Figura 3.3. Costos estimados de generación de Energía con distintas fuentes de generación Fuente: [www.eia.gov/oiaf/beck\\_plantcosts/index.html](http://www.eia.gov/oiaf/beck_plantcosts/index.html).
- Figura 3.4. Costos estimados de generación de Energía eólica en distintos países. Fuente: Instituto de Investigaciones eléctricas.
- Figura 3.5. Costos estimados de aerogeneradores en distintos países. Fuente: Instituto de Investigaciones eléctricas.

- Figura 3.6. Análisis de costos de un proyecto eólico. Fuente: Manual de energía eólica J.M Escudero López.
- Figura 3.7. Análisis de costos de un proyecto eólico. Fuente: Asociación Europea de la Energía Eólica (EWEA).
- Figura 3.8. Análisis de costos de un proyecto eólico. Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- Figura 3.9. Análisis de costos de un proyecto eólico de 100 MW. Basado en Manual de energía eólica J.M Escudero López.
- Figura 3.10. Análisis de costos de un proyecto eólico. Basado en Asociación Europea de la Energía Eólica (EWEA).
- Figura 3.11. Análisis de costos de un proyecto eólico. Basado en Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- Figura 3.12. Resumen de estructura de costos en proyectos eólicos. Fuente: The Economics of Wind Energy .A report by the European Wind Energy Association.
- Figura 3.13 Resumen de costos en proyectos eólicos.
- Figura 3.14 Niveles de ruido de aerogenerador y otros enseres de uso común. Fuente.GE Global Research National Intitute.
- Figura 3.15 Listado base de compras y contratos para realización de un parque eólico.
- Figura 3.16 Logística de transporte para el suministro de Aerogeneradores de 2MW en el estado de Baja California. Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.
- Figura 3.17 Transporte marítimo de aspas de aerogeneradores. Fuente. AMDEE.
- Figura 3.18 Transporte de tramos de torre de aerogeneradores. Fuente. Iberdrola.
- Figura 3.19 Cuarto de Potencia Para Aerogeneradores 2MW. Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.
- Figura 3.20 Subestación de parque eólico. Fuente. Eléctrica Del Valle De México.
- Figura 3.21 Subestación de parque eólico. Fuente. Eléctrica Del Valle De México.
- Figura 3.22 Dimensiones de caminos y radios de curvatura de fabricante de aerogeneradores. Fuente. Gamesa.
- Figura 3.23 porcentaje de pendientes en caminos y zanjas de cableando. Fuente: Gamesa.
- Figura 3.24 Plataforma de montaje para aerogeneradores. Fuente. Gamesa.

- Figura 3.25 Obra civil general de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW. Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.
- Figura 3.26 Ductos eléctricos para cables de potencia hasta 35 KV. Fuente. NOM-SEDE-001-2005.
- Figura 3.27 Obra civil de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW. Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.
- Figura 3.28 Cementación de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW. Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.
- Figura 3.29 Armado y hormigonado de cimentación para aerogenerador. Fuente. Fuerza Eólica.
- Figura 3.30 Ejemplo básico de la red de media tensión, la subestación y la conexión a la red eléctrica.
- Figura 3.31 Memoria de cálculo de conductores de Media tensión para un parque eólico de 100 MW y medición de cableado de media tensión.
- Figura 3.32 Obra Eléctrica de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW. Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.
- Figura 3.33 Ejemplo de montaje de equipos en plataforma de la torre. Fuente. Gamesa.
- Figura 3.34 Montaje de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW. Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.
- Figura 3.35 Montaje de secciones de torre de aerogeneradores. Fuente. Fuerza Eólica.
- Figura 3.36 Montaje de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW. Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.
- Figura 3.37 Montaje de Nacelle o Góndola. Fuente. Iberdrola.
- Figura 3.38 Montaje de Nacelle o Góndola. Fuente. Iberdrola.
- Figura 3.39 Montaje de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW. Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.
- Figura 3.40 Montaje de rotor y aspas aerogeneradores. Fuente. Fuerza Eólica.
- Figura 3.41 Montaje de rotor y aspas aerogeneradores. Fuente. Iberdrola.
- Figura 3.42 Montaje de rotor y aspas aerogeneradores. Fuente. Iberdrola.
- Figura 3.43 Parque eólico con aerogeneradores de 2 MW. Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.