

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 maquinas 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 (CO₂).

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 CO², dióxido de carbono.
 - 1,33 gr. de SO², 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 CO₂, lográndose un efecto similar al producido por 200 árboles. Se impide la emisión de 66 Kg. de dióxido de azufre -SO₂- 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 CO²
 - 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.

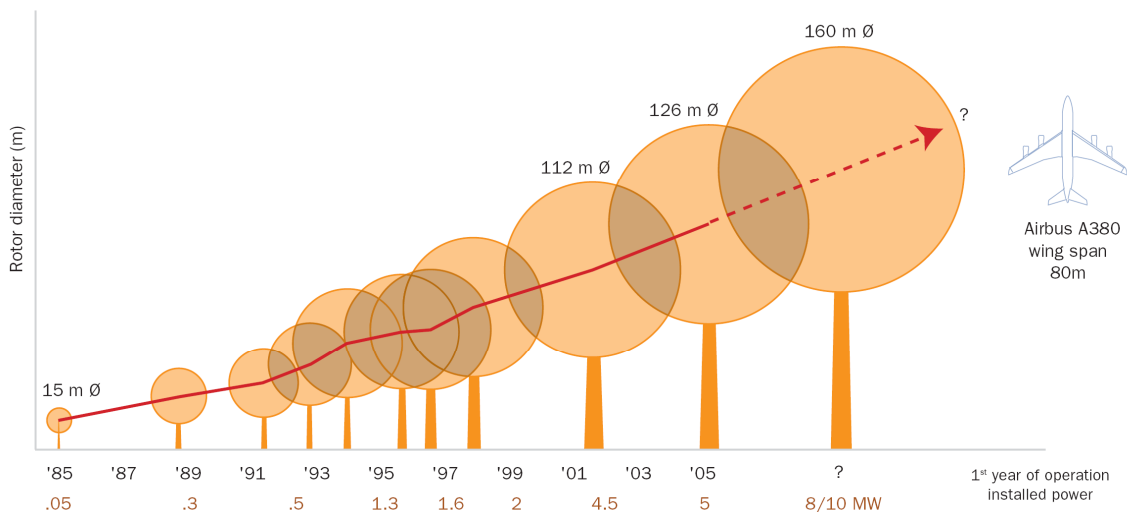


Figura 1.1. Evolución de aerogeneradores por tamaño y capacidad de generación de energía
Fuente: Asociación Europea de Energía Eólica.

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

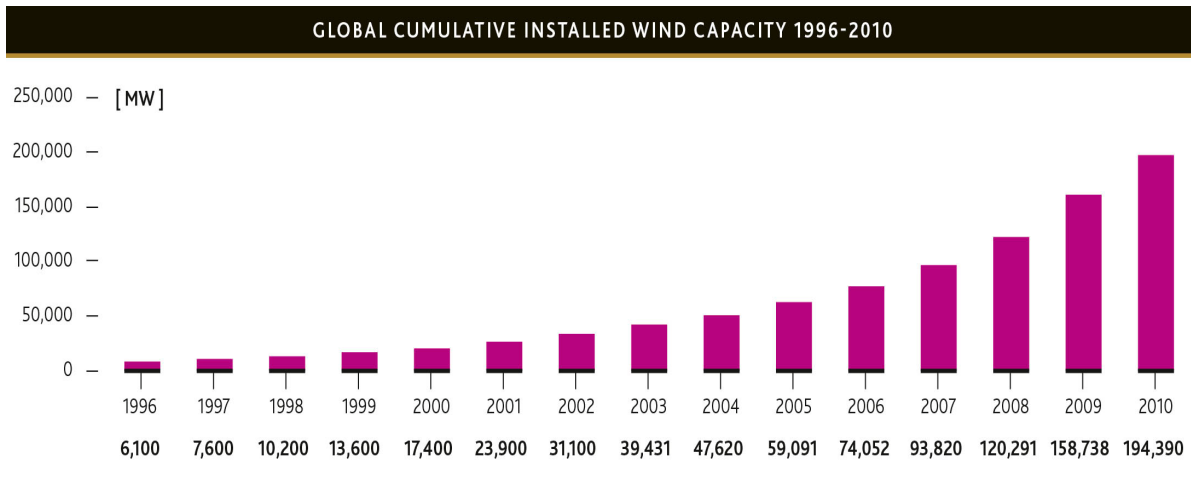


Figura 1.2. Capacidad mundial acumulada de generación de energía eólica.
Fuente: GWEC (Consejo Mundial de la Energía Eólica).

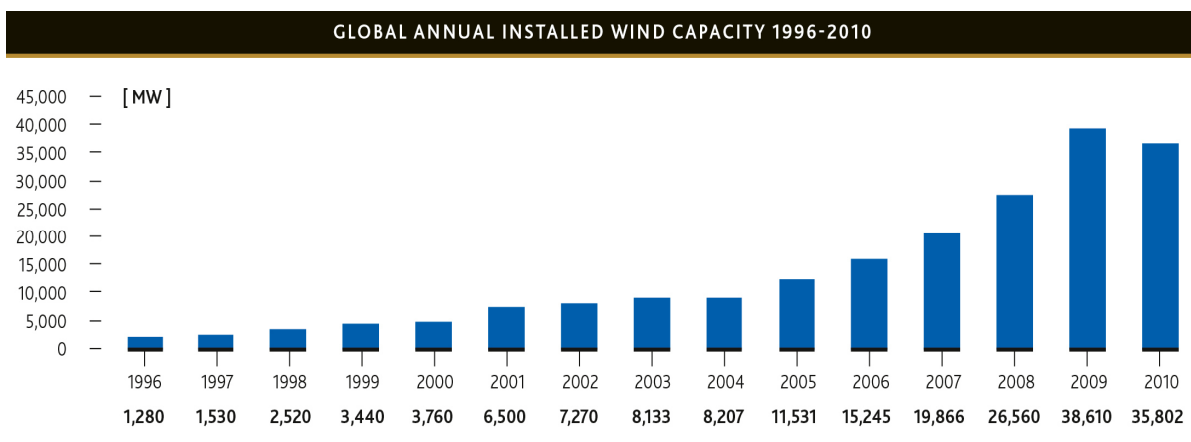


Figura 1.3. Capacidad mundial anual de generación de energía eólica.
Fuente: GWEC (Consejo Mundial de la Energía Eólica).

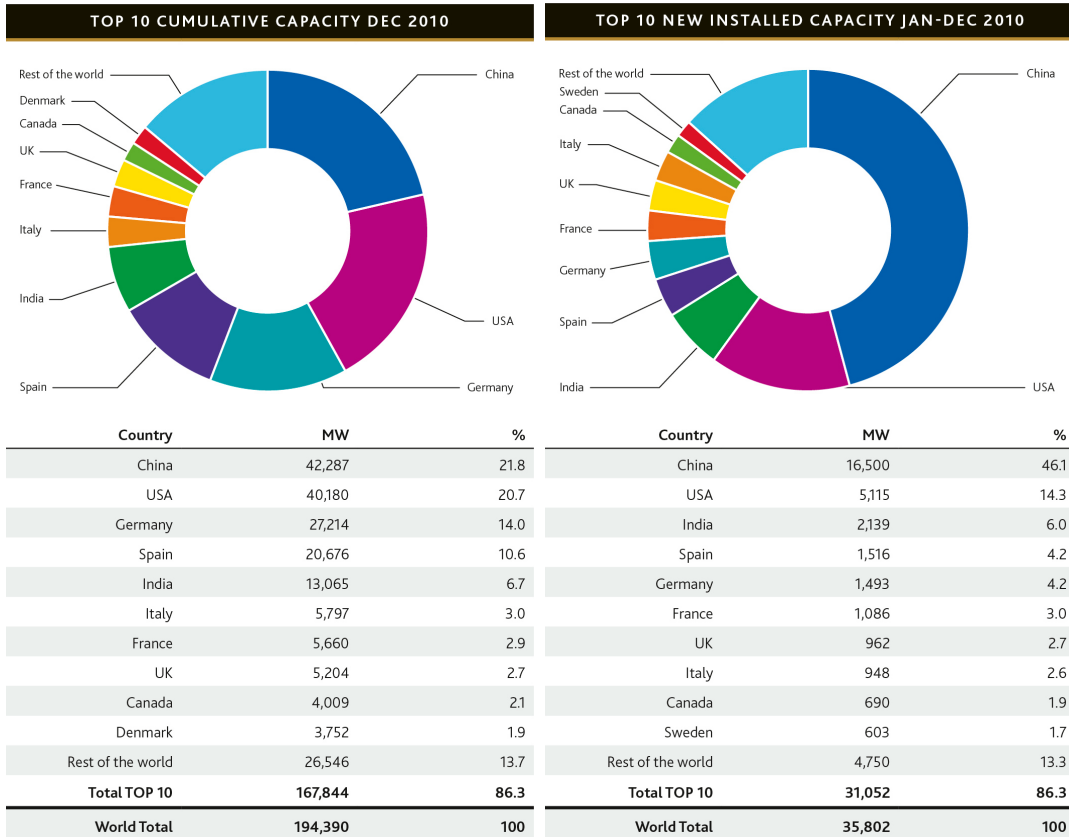


Figura 1.4. Top 10 por capacidad acumulada y capacidad instalada en el 2010.

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.

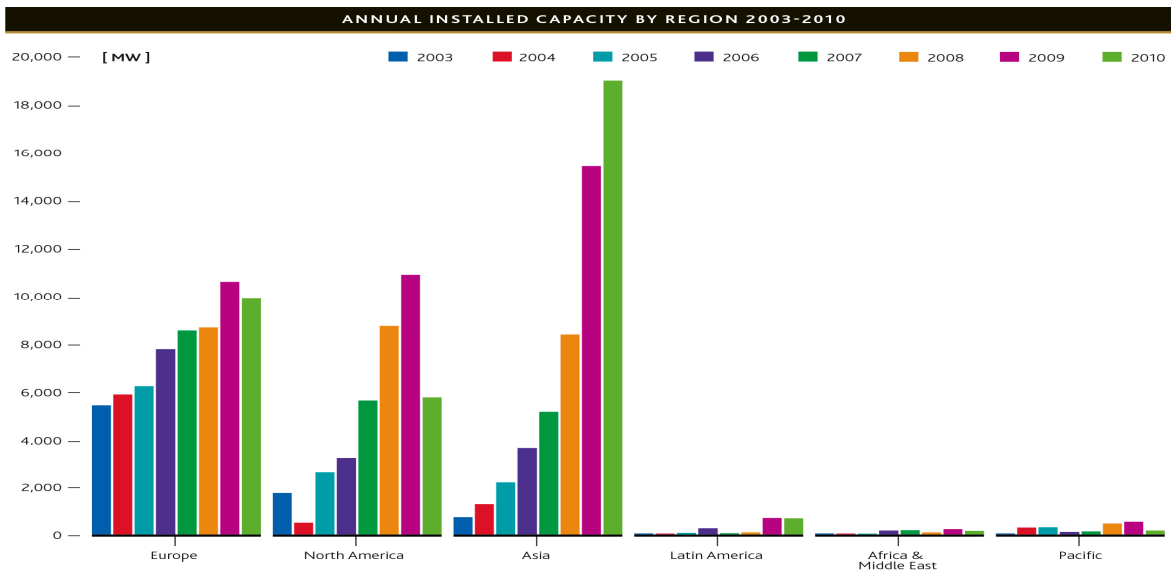


Figura 1.5. Capacidad anual instalada por región mundial en el 2010.

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

GLOBAL INSTALLED WIND POWER CAPACITY (MW) – REGIONAL DISTRIBUTION

	End 2009	Installed 2010	End 2010
AFRICA & MIDDLE EAST			
Egypt	430	120	550
Morocco	253	33	286
Tunisia	54	60	114
Iran	92	0	92
Other ¹⁾	37	0	37
Total	866	213	1,079
ASIA			
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 ²⁾	6	48	54
Total	39,639	19,022	58,641
EUROPE			
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 ³⁾	1,611	1,071	2,677
Total Europe	76,300	9,883	86,075
of which EU-27 ⁴⁾	74,919	9,259	84,074
LATIN AMERICA & CARIBBEAN			
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 ⁵⁾	83	23	106
Total	1,306	703	2,008
NORTH AMERICA			
USA	35,086	5,115	40,180
Canada	3,319	690	4,009
Total	38,405	5,805	44,189
PACIFIC REGION			
Australia	1,712	167	1,880
New Zealand	497	9	506
Pacific Islands	12	0	12
Total	2,221	176	2,397
WORLD TOTAL	158,738	35,802	194,390

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.

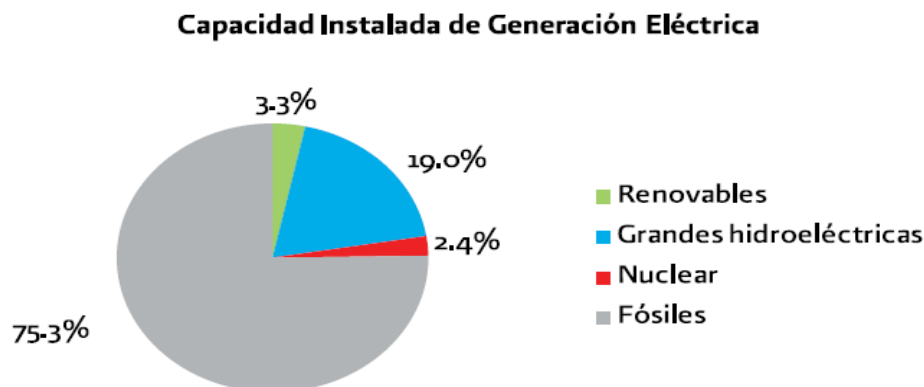


Figura 1.7. Capacidad instalada en México en el 2008.
Fuente: Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables

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) ha 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.

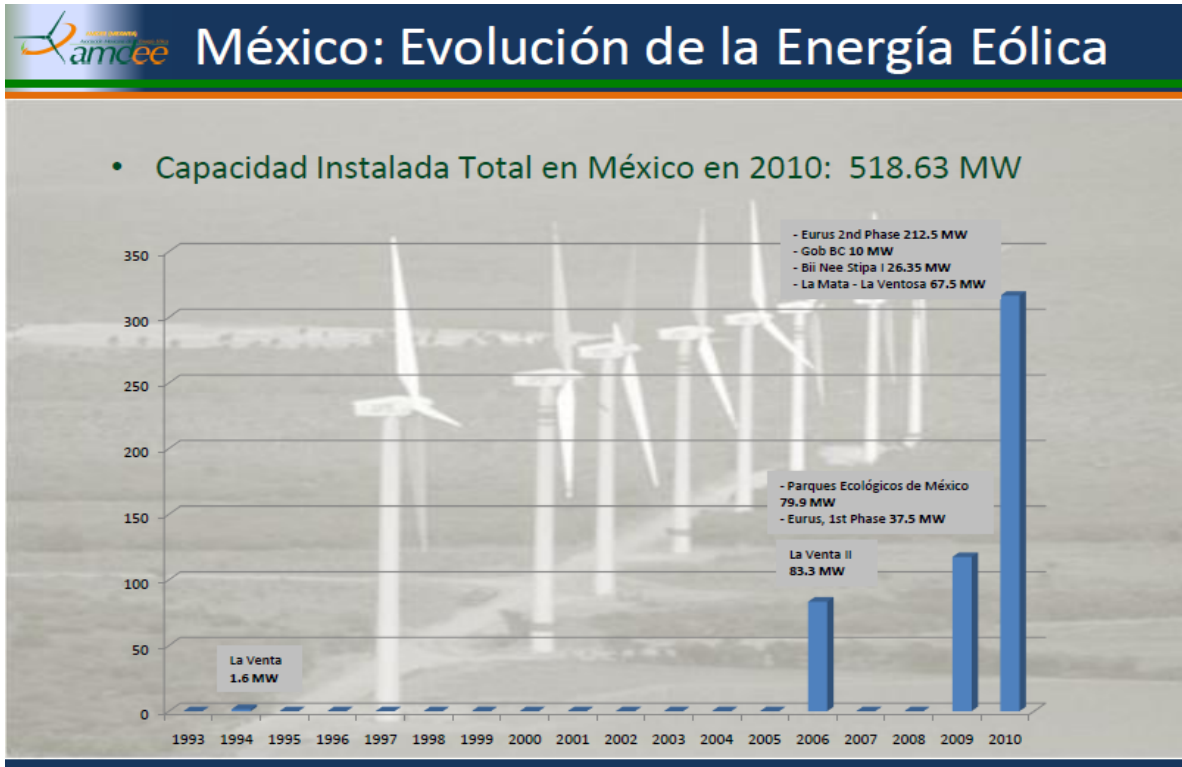


Figura 1.8. Capacidad eólica acumulada en México al 2010.
Fuente: Asociación Mexicana de Energía eólica AMDEE

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
						518.63

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 eolieléctrica 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.

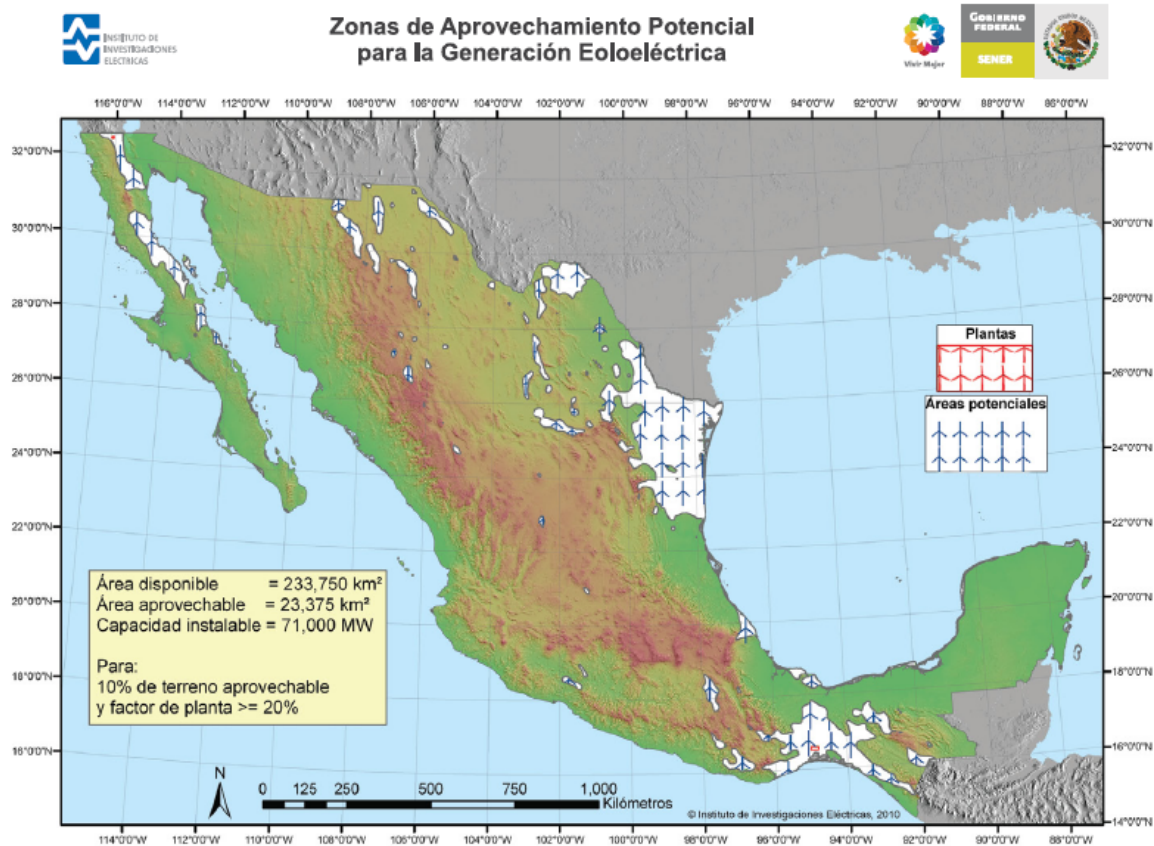


Figura 1.10. Zonas de aprovechamiento eólico Nacional.
Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas.

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.	GSSEER	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 Pacífico (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 Eolica	Por Definir	2011-2014	400
OPF: Obra Pública Financiada						3,492.9
PIE: Productor Independiente de Energía						
FOC: Fecha de Operación Comercial						
Total MW						4,728.7

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 1.74×10^{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).

ρ = Densidad del aire seco = 1.225, medida en kg/m³ (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 m². 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.

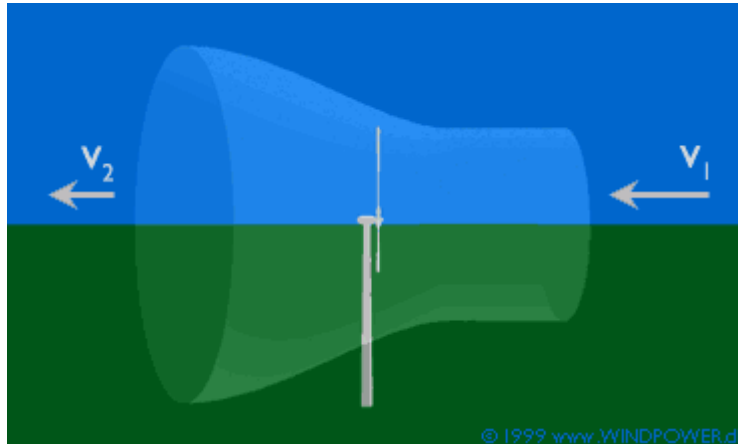


Figura 1.12. Tubo de corriente para ley de Betz.

Fuente: www.windpower.dk

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:

ρ = densidad del aire en 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 (ρ) 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

ρ_0 = densidad del aire a nivel del mar = 1,225 kg/m³

ρ = densidad del aire a la altura Hm en kg/m³

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.

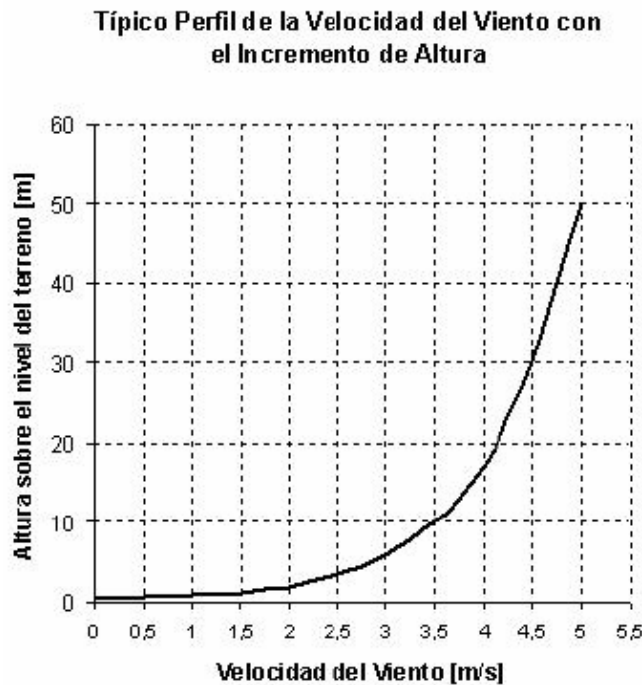


Figura 1.13. Variación de la velocidad del viento con la altura

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

α = 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.

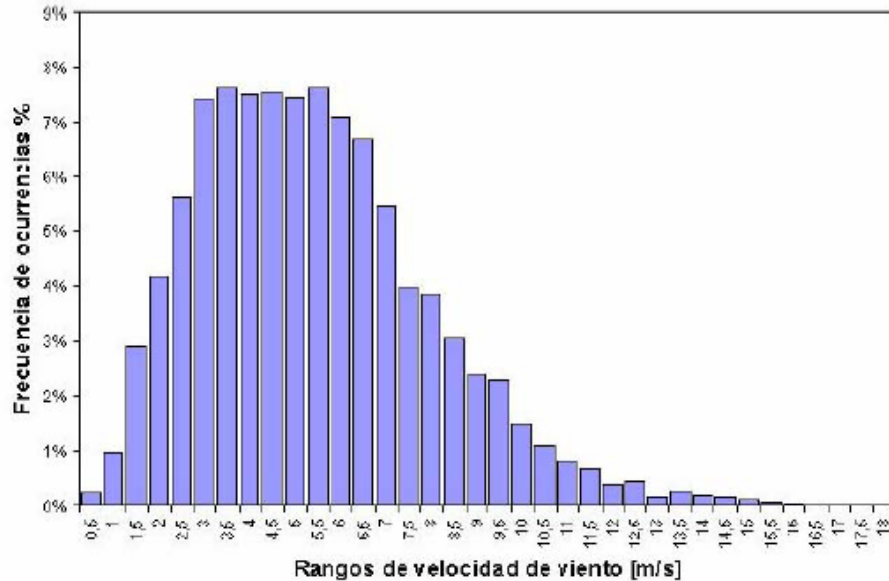


Figura 1.17. Curva de distribución de probabilidades de Weibull.

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.

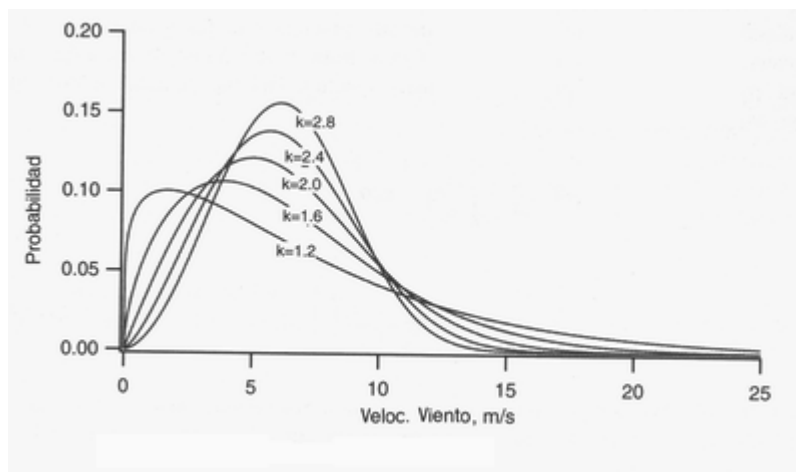


Figura 1.18. Distribución de probabilidades de Weibull.

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.

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.

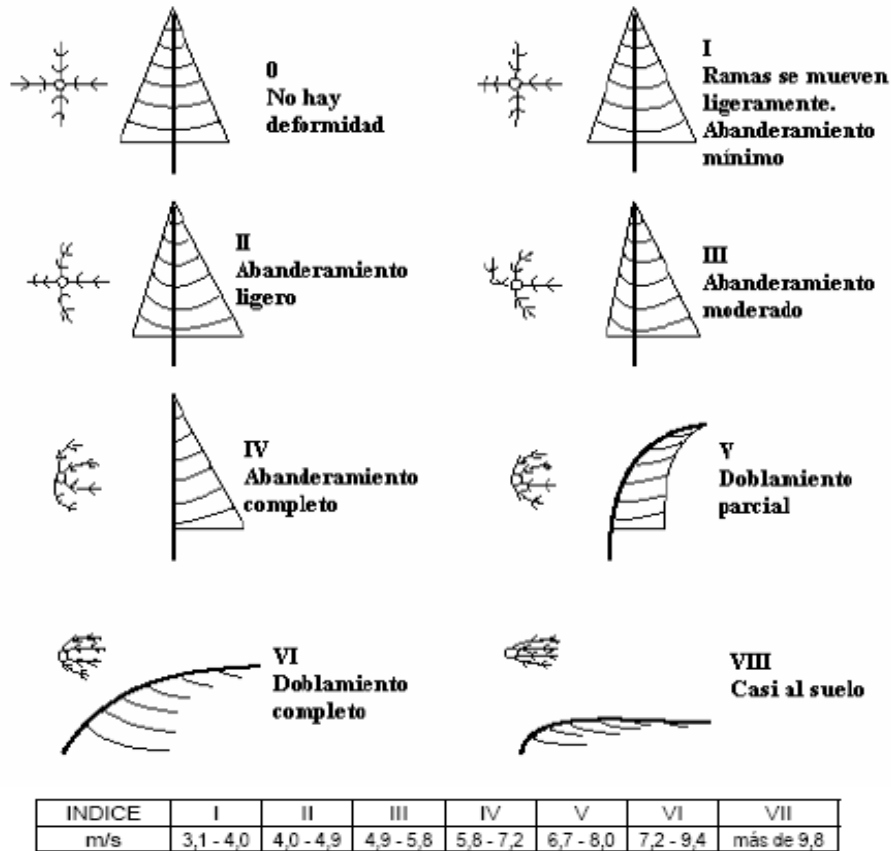


Figura 1.20. Índice de Deformidad de Griggs – Putnam del viento.

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.

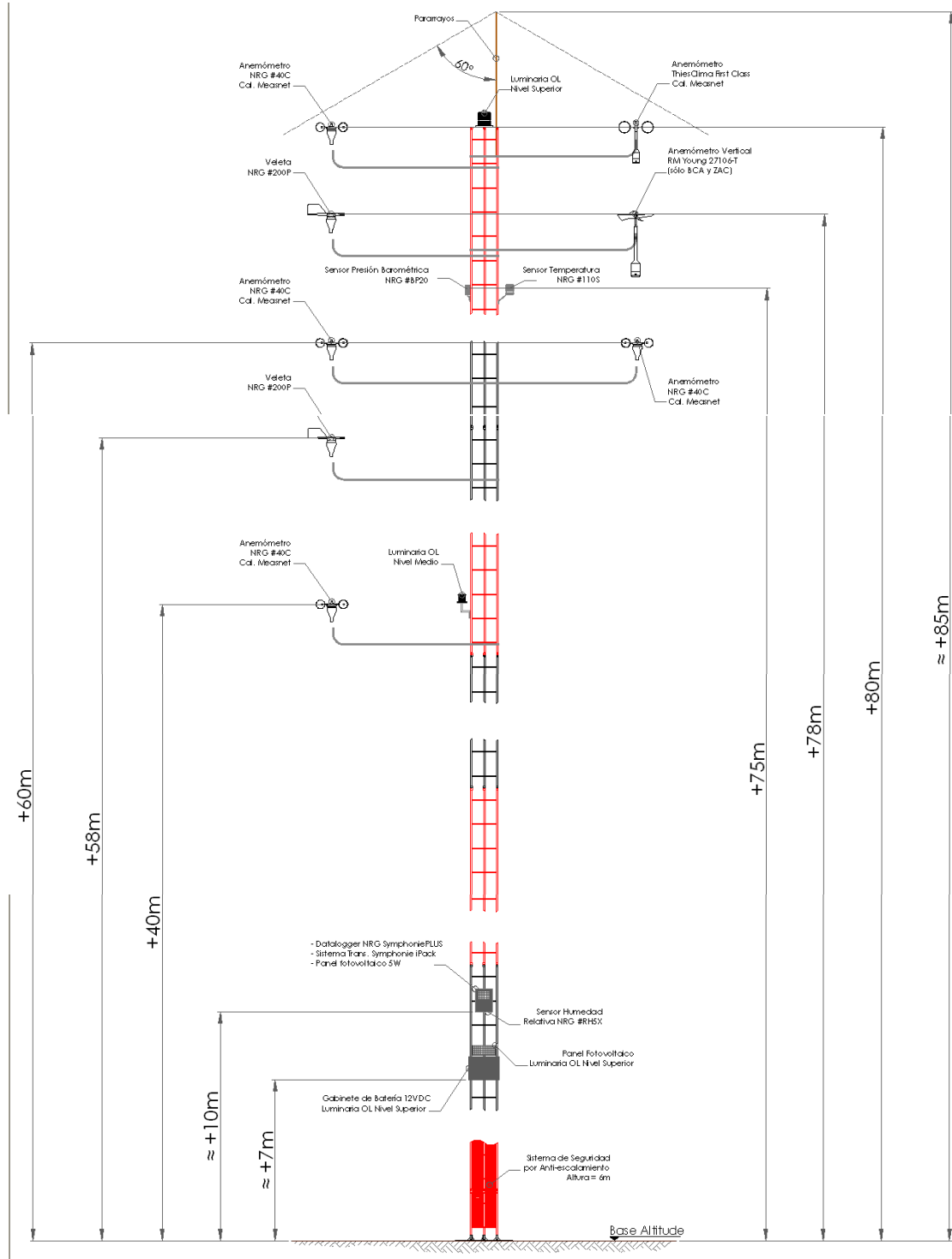
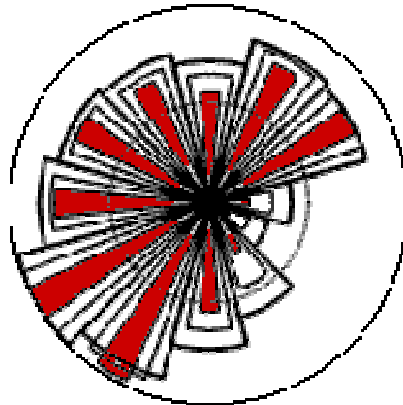


Figura 1.21. Torre de medición Meteorológica y sus distintos componentes.

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

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° 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.

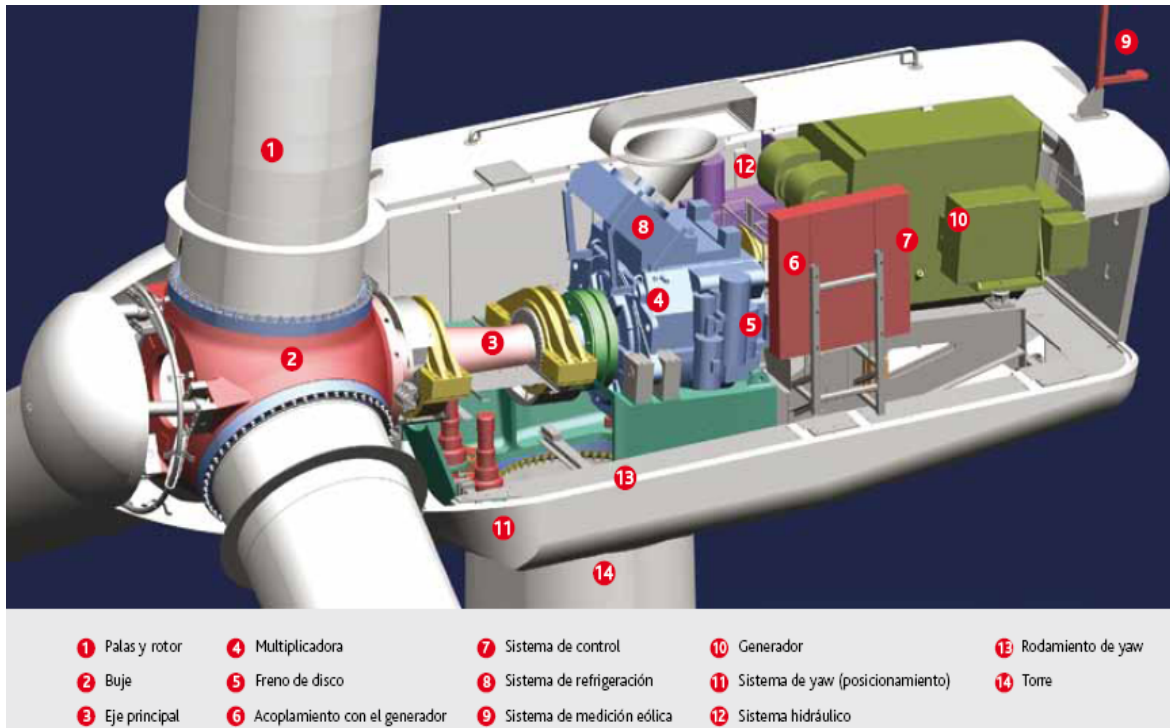


Figura 1.26. Componentes de un Aerogenerador.

- 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.

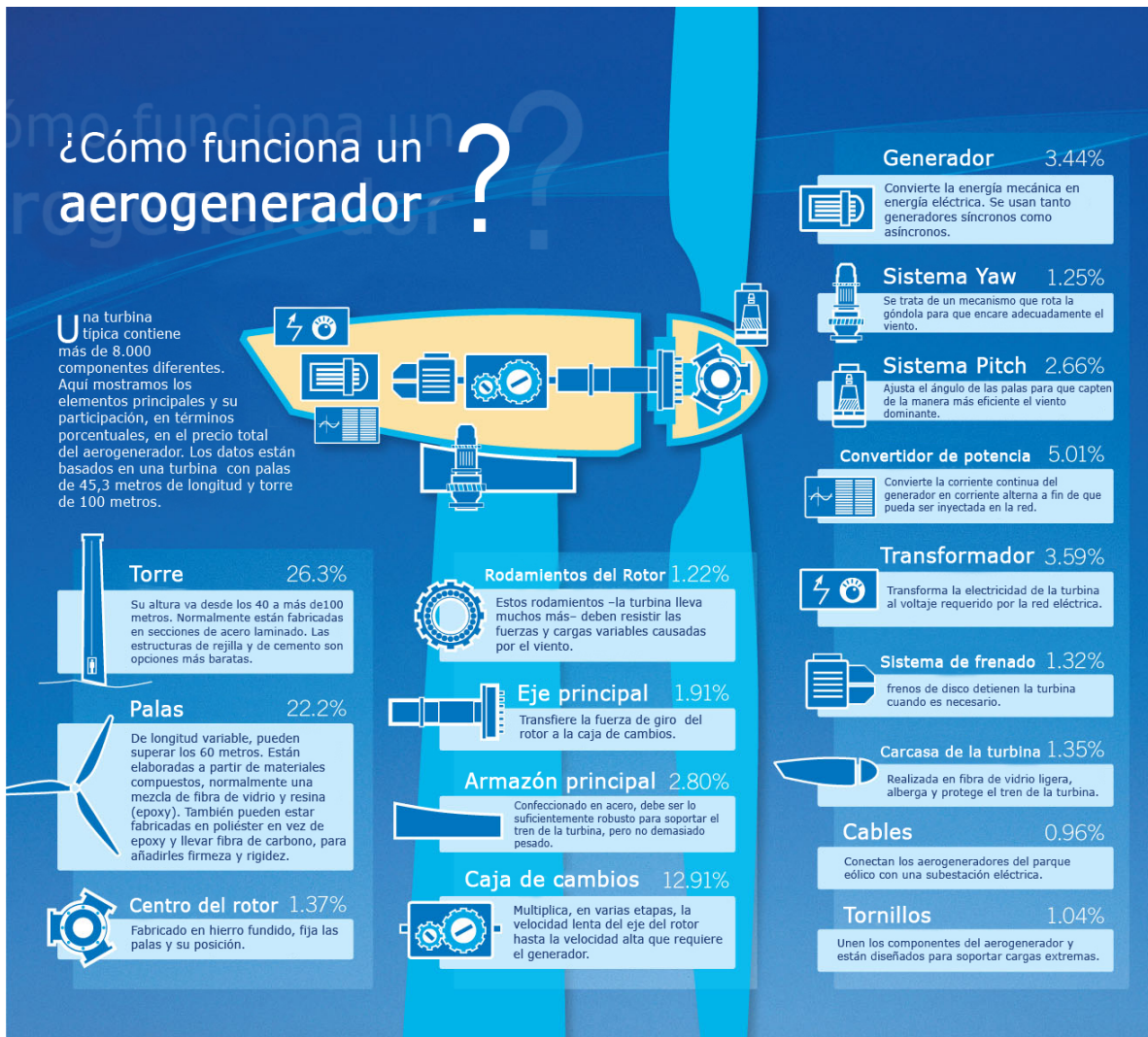


Figura 1.27 Elementos principales de un aerogenerador y su participación en el precio total del aerogenerador.
Fuente: Asociación Empresarial Eólica.

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.

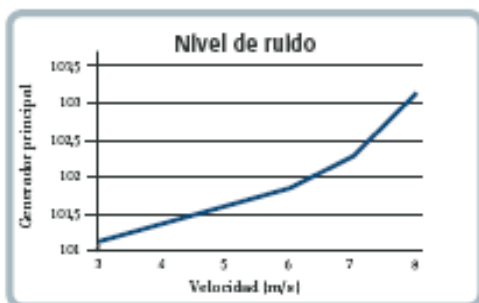
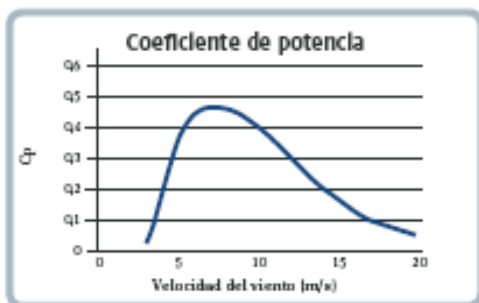
Información de los fabricantes de aerogeneradores.

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 ²
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:	IEC IIA
Altura del buje:	78 m
	115 t
60Hz, 110V:	IEC IIA
Altura del buje:	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

Power regulation	pitch regulated with variable speed	
Operating data	IEC IIA	IEC IIIA
Rated power	1,800 kW	2,000 kW
Cut-in wind speed	4 m/s	
Rated wind speed	12 m/s	
Cut-out wind speed	25 m/s	
Frequency	50 Hz/60 Hz	
Operating temperature	standard range -20°C to 40°C low temperature option -30°C to 40°C	
Sound power (10 m above ground, hub height 80 m air density 1,225 kg/m ³)		
4 m/s	94.4 dB(A)	
5 m/s	99.4 dB(A)	
6 m/s	102.5 dB(A)	
7 m/s	103.6 dB(A)	
> 8 m/s	104 dB(A)	
Rotor		
Rotor diameter	90 m	
Swept area	6,362 m ²	
Nominal revolutions	14.5 rpm	
Operational interval	9.3 - 16.6 rpm	
Air brake	full blade feathering with 3 pitch cylinders	
Tower		
Type	tubular steel tower	
Hub heights	80 m, 95 m and 105 m (IEC IIA) 95 m, 105 m and 125 m (DIBt II)	
Generator	50 Hz	60Hz
Type	4-pole asynchronous with variable speed	6-pole asynchronous with variable speed
Nominal output	1,800 kW/ 2,000 kW	1,800 kW
Gearbox		
Type	3-stage planetary/helical	

Copyright Notice

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.

Main dimensions

Blade	
Length	44 m
Max. chord	3.5 m
Weight	6,700 kg
Nacelle	
Height for transport	4 m
Height installed (including CoolerTop™)	5.4 m
Length	10.4 m
Width	3.4 m
Weight	70 metric tonnes
Hub	
Max. diameter	3.3 m
Max. width	4 m
Length	4.2 m
Weight	18 metric tonnes
Tower	
80 m	
Weight	148 metric tonnes
95 m	
Weight	206 metric tonnes
105 m	
Weight	245 metric tonnes
125 m	
Weight	335 metric tonnes

Power curve V90-1.8/2.0 MW

Noise reduced sound power modes are available.

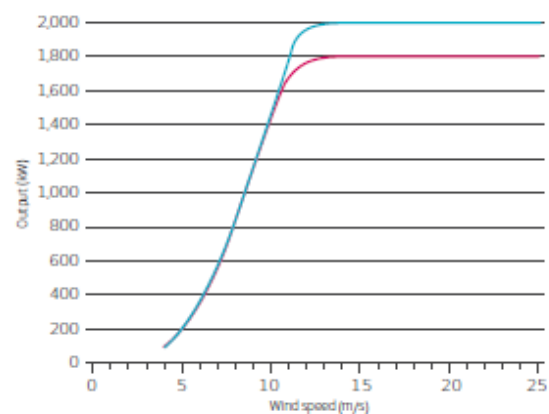


Figura 1.30 Ejemplo de Hoja Técnica de aerogenerador de Modelo V90- 1.8/2.0 MW de la marca Vestas.

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 ²	4.615,83 m ²	5.289 m ²
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	Metallizado Zn + Epoxy

SISTEMA BASO 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
Soporta	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

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

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

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 [kg/m³].

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 [kg/m³].

P [kW]	Densidad del aire / Air density [kg/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 [kg/m³].

Table 3 G90 2MW WT power [KW] calculated as a function of wind speed W_s [m/s] at different air densities [kg/m³].

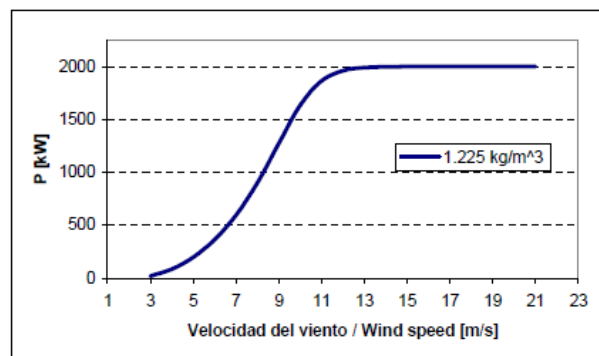



Figura 1 Curva de potencia del AEG G90 2.0MW para una densidad del aire igual a 1.225 [kg/ m³].

Figure 1 G90 2.0MW WT power curve for an air density of 1.225 [kg/ m³]

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

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

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 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 kg/m^3 and Turbulence Intensity 10%.

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

	FICHA TECNICA / TECHNICAL FILE	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 C_P Y C_T

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.

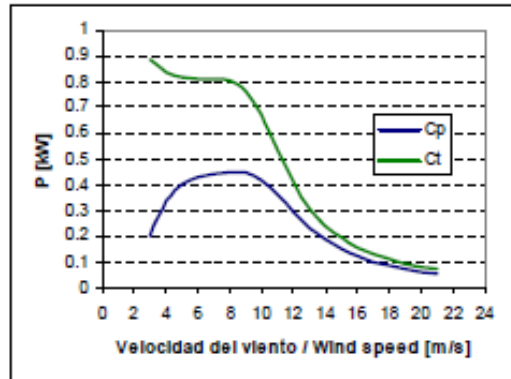


Figura 2 Curvas de C_P y C_T del AEG G90 2MW

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