



DISEÑO DE AEROGENERADORES

MANUEL LEAL RUBIO	93110
AITOR DOMÍNGUEZ MARTÍN	97117
ALVARO LEÓN RENESES	97231
AGUSTÍN MARCOS BARRIO	97257
ALFONSO ARBETETA DURÁN	98029
EMILIO LECHOSA URQUIJO	99803

INDICE

1. INTRODUCCION. LA ENERGIA EOLICA

- 1.1. ANTECEDENTES
- 1.2. VENTAJAS ACTUALES DE LA ENERGIA EOLICA
- 1.3. DESVENTAJAS DE LA ENERGIA EOLICA
- 1.4. ORIGENES Y EVOLUCION TECNOLOGICA
- 1.5. PRODUCCION
- 1.6. LAS NUEVAS MAQUINAS EOLICAS
- 1.7. LOS AEROGENERADORES Y EL MEDIO AMBIENTE
- 1.8. FACTIBILIDAD ECONOMICA DE LA ENERGIA EOLICA

2. CLASIFICACION

3. COMPONENTES DE UN AEROGENERADOR

- 3.1. LA TURBINA
 - 3.1.1. LA GONDOLA
 - 3.1.2. EL BUJE
 - 3.1.3. EL ROTOR
 - 3.1.4. EL EJE DE BAJA VELOCIDAD
 - 3.1.5. EL SISTEMA DE CAMBIO DE PASO
 - 3.1.6. EL TREN DE POTENCIA Y MULTIPLICADOR
 - 3.1.7. EL EJE DE ALTA VELOCIDAD
 - 3.1.8. EL GENERADOR ELECTRICO
 - 3.1.9. LA UNIDAD DE REFRIGERACION
- 3.2. LAS PALAS DEL ROTOR
- 3.3. SISTEMAS DE ORIENTACION
- 3.4. CONVERTIDOR
- 3.5. EL SISTEMA DE ELEVACION DE TENSION
 - 3.5.1. TRANSFORMADOR DE POTENCIA EN SECO
 - 3.5.2. CELDA DE PROTECCION DEL TRANSFORMADOR
 - 3.5.3. CELDA DE SALIDA DE LA LINEA 20 KV
 - 3.5.4. CABINA PARA ENTRADA DE LA LINEA
- 3.6. EL CONTROLADOR ELECTRONICO

3.7. LA TORRE

3.8. EL ANEMOMETRO Y LA VELETA

3.9. LA CIMENTACION

3.10. ESQUEMAS UNIFILARES

BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUCCION: LA ENERGÍA EÓLICA

1.1 ANTECEDENTES

El viento es una de las más antiguas fuentes de energía conocidas. Los convertidores de energía eólica eran conocidos en Persia y en la China y durante muchísimos años los barcos de vela constituyeron una importante utilización de la energía eólica. En el siglo pasado, los convertidores de energía eólica se utilizaban especialmente para accionar molinos, para moler granos y bombear agua.

Durante muchas décadas se han utilizado rotores muy pequeños a fin de suministrar energía eléctrica y calefacción a granjas y casas situadas en lugares apartados, para abastecer de energía a estaciones meteorológicas y de retransmisión, e igualmente para bombeo de agua y ventilación en estanques de piscicultura, etc. Las posibilidades de utilización van en aumento, debido a la tecnología y materiales mejorados, e igualmente debido a los fuertes aumentos en los precios de la energía primaria.

El aprovechamiento de la energía eólica constituye una fuente de energía sumamente atractiva y ventajosa, no solamente para las empresas de servicios públicos, sino para la economía de un país en general.

1.2. VENTAJAS ACTUALES DE LA ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica no contamina, es inagotable y retrasa el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático. Es una tecnología de aprovechamiento totalmente madura y puesta a punto.

Es una de las fuentes más baratas, puede competir en rentabilidad con otras fuentes energéticas tradicionales como las centrales térmicas de carbón (tradicionalmente el combustible más barato), las centrales de combustible e incluso con la energía nuclear, si se consideran los costes de reparar los daños medioambientales.

El generar energía eléctrica sin que exista un proceso de combustión o una etapa de transformación térmica supone, desde el punto de vista medioambiental, un procedimiento muy favorable por ser limpio, exento de problemas de contaminación, etc. 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, la vegetación, etc.

Evita la contaminación que conlleva el transporte de los combustibles; gas, petróleo, gasoil, carbón. Se reduce el intenso tráfico marítimo y terrestre cerca de las centrales. Suprime los riesgos de accidentes durante estos transportes: limpiezas y mareas negras de petroleros, traslados de residuos nucleares, etc. No hace necesaria la instalación de líneas de abastecimiento: Canalizaciones a las refinerías o las centrales de gas.

En cuanto a interacción con el medio ambiente, la utilización de la energía eólica para la generación de electricidad presenta nula incidencia sobre las características fisicoquímicas del suelo o su erosionabilidad, es decir. No produce ningún contaminante que incida sobre este medio, ni tampoco vertidos o grandes movimientos de tierras.

Además, la energía eólica no produce tampoco ningún tipo de alteración sobre los acuíferos ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos. La generación de electricidad a partir del viento no produce gases tóxicos, ni contribuye al efecto invernadero, ni destruye la capa de ozono, tampoco crea lluvia ácida. No origina productos secundarios peligrosos ni residuos contaminantes.

Cada kW/h 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 NO_x, 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 Kg. 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 $\text{-SO}_2\text{-}$ y de 10 Kg. de óxido de nitrógeno $\text{-NO}_x\text{-}$ principales causantes de la lluvia ácida.

La energía eólica es independiente de cualquier política o relación comercial, se obtiene en forma mecánica y por tanto es directamente utilizable. En cuanto a su transformación en electricidad, esta se realiza con un rendimiento excelente y no a través de aparatos termodinámicos con un rendimiento de Carnot siempre pequeño. En el año 2000 las compañías explotadoras pagan una media de alquiler de 400.000 pts (2.400 €) por molino y año. Además de los impuestos municipales, licencias de obra, etc.

1.3 DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA EÓLICA

- El aire al ser un fluido de pequeño peso específico, implica fabricar máquinas grandes y en consecuencia caras. Su altura puede igualar a la de un edificio de diez o más plantas, en tanto que la envergadura total de sus aspas alcanza la veintena de metros, lo cual encarece su producción.
- 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 (cerros, colinas, litoral). 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.
- Un impacto negativo es el ruido producido por el giro del rotor, pero su efecto no es mas acusado que el generado por una instalación de tipo industrial de similar entidad, y siempre que estemos muy próximos a los molinos.
- También ha de tenerse especial cuidado a la hora de seleccionar un parque si en las inmediaciones habitan aves, por el riesgo mortandad al impactar con las palas, aunque existen soluciones al respecto como pintar en colores llamativos las palas, situar los molinos adecuadamente dejando “pasillos” a las aves, e, incluso en casos extremos hacer un seguimiento de las aves por radar llegando a parar las turbinas para evitar las colisiones.

1.4 ORÍGENES Y EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

El aprovechamiento de la energía eólica data de las épocas más remotas de la humanidad (los egipcios ya navegaban a vela en el año 4.500 a. c.).

La primera noticia que se tiene se refiere a un molino que Heron de Alejandría construyó en el siglo II a. c. para proporcionar aire a su órgano. Los molinos más antiguos que se conocen eran de eje vertical.

Hacia el siglo VIII aparecieron en Europa, procedentes del este, grandes molinos de eje horizontal con cuatro aspas. Su fabricación en gran número, en particular por los holandeses, les hizo alcanzar una gran firmeza, pese a que, debido a las dimensiones de sus aspas distaban mucho de recoger en máximo de potencia así que necesitaban una regulación de la orientación de la tela. Siempre sucede esto en los molinos de viento de eje horizontal que han de trabajar siempre frente al viento. Estos molinos eran muy adecuados para vientos del orden de 5 m/s (20 Km/h).

Es a partir de los siglos XII-XIII cuando empieza a generalizarse el uso de los molinos de viento para la elevación de agua y la molienda de grano, los más antiguos aparecieron en Turquía, en Irán y en Afganistán.

Europa se llenó a su vez de molinos, sobre todo en Bélgica y en los Países Bajos. Los molinos de Holanda tenían 4 aspas de lona, mientras que los de Baleares y Portugal tenían 6, y los de Grecia, 12. Los molinos con gran número de palas determinan velocidades de rotación relativamente bajas y un funcionamiento útil a partir de velocidades del viento del orden de 2 m/s.

Todos estos molinos se mantendrán hasta bien entrado el siglo XIX. El desarrollo de los molinos de viento se interrumpe con la revolución industrial ya que comienza la utilización masiva de vapor, la electricidad y los combustibles fósiles como fuentes de energía motriz. Es sin embargo en la segunda mitad de dicho siglo cuando tiene lugar uno de los más importantes avances en la tecnología del aprovechamiento del viento, con la aparición del popular molino multipala tipo “americano” utilizado para bombeo de agua prácticamente en todo el mundo, y cuyas características habrían de sentar las bases para el diseño de los modernos generadores eólicos.

Fue entre las guerras mundiales cuando aparecieron, como consecuencia de los progresos técnicos de las hélices de aviación, y con ellas los proyectos de grandes

aerogeneradores de dos o tres palas. Se tendió a construir casi únicamente los de dos, ya que resultaban mas baratos. Incluso se llegó a utilizar una única pala equilibrada con un contrapeso.

Actualmente predominan los molinos tripalas. Estos aerogeneradores giran más rápidamente que los multipalas, lo que constituye una ventaja cuando se trata de alimentar máquinas de gran velocidad de rotación como los alternadores eléctricos. Los grandes aerogeneradores están situados en lo alto de una torre tronco-cónica de acero.

Los aerogeneradores de eje vertical tienen la ventaja de adaptarse a cualquier dirección del viento. Por ello se los llama panémonas (todos los vientos). No precisan dispositivos de orientación. En su forma mas moderna derivan todos ellos del inventado den 1925 por el ingeniero Francés Darrieus, patentado en Estados Unidos y luego caído en un olvido casi total. Su estudio volvió a iniciarse en Canadá en 1973 y en Estados Unidos a partir de 1975.

Las máquinas pequeñas, de 1 a 60 kW, pueden construirse a un precio inferior al de los molinos de viento clásicos de eje horizontal. Actualmente, en EEUU, los Laboratorios Sandia en Albuquerque, Nuevo México estudian y comercializan los molinos de viento Darrieus.

El primer aerogenerador fue construido en Francia, en 1929, pero se rompió a causa de una violenta tormenta. La compañía electromecánica construyó e instaló en Bourget un aerogenerador de dos palas de 20 metros de diámetro. El aparato fue destruido por las ráfagas de viento.

En Rusia se puso en funcionamiento en 1931, en Crimea, frente al mar muerto, un aerogenerador de 30 metros, que tenía que proporcionar 100 kW a la red de Sebastopol, la media durante dos años fue de 32 kW.

En 1941 los estadounidenses y mas concretamente la NASA construyó un bipala de 53 m de diámetro, previsto para una potencia máxima de 1.250 kW que se instaló en Vermont, en el nordeste de EEUU. Las primeras pruebas, iniciadas en octubre de 1941 continuaron durante unos 15 meses. Un pequeño incidente en 1943 bloqueó la máquina durante dos años, ya que las dificultades ligadas a la guerra retrasaron la fabricación de piezas nuevas. Vuelto a poner en marcha, el

aerogenerador proporcionó corriente al sector durante veintitrés días, luego se rompió una de las palas y se abandonó el proyecto.

En 1975 se pusieron en servicio los aerogeneradores Mod. 0 con unas palas de metal con un diámetro de 38 metros, produciendo 100 kW.

En 1977 se construyó el Mod. 0A que tenía 200 kW. La GENERAL ELECTRIC termina el bipala Mod. 1 en 1978 que con un diámetro de 60 metros acciona un alternador de 2 MW. Mientras la BOEING estudia el Mod. 2, ideal para los vientos medios de las grandes llanuras, que con 91 metros de diámetro produce 2,5 MW, con palas de acero.

En Francia, un vasto programa patrocinado por la Electricité de France, ha realizado un estudio del viento en todas las regiones y ha construido varios grandes aerogeneradores experimentales. El aerogenerador "Best Romani" tripala de 30 m de diámetro con chapas de aleación ligera fue instalado en Nogent-le-Roy en Beauce. Podía proporcionar 800 kW a la red con un viento de 60 Km/h. Esta máquina experimental aportó entre 1958 y 1962 un gran número de informaciones sobre su funcionamiento en condiciones reales de explotación.

La compañía Neyrpic instaló en Saint-Rémy-des-Landes (Manche) dos aerogeneradores de tres palas. El primero de 21 metros de diámetro y que producía 130 kW de potencia, funcionó hasta marzo de 1966. El otro, de 35 metros y previsto para producir 1.000 kW, proporcionó una potencia satisfactoria durante las pruebas, pero a la ruptura de un palier en 1964 hizo que se abandonase el programa de estudios.

En Alemania se construyó entre 1955 y 1957 un aerogenerador de dos palas de 34 metros de diámetro, de fibra de vidrio, a 80 Km. al este de Stuttgart. Esta máquina funcionó hasta 1968. Dinamarca construyó en 1957 el "Gedser Mill", hélice de tres palas de 24 metros de diámetro que funcionó hasta 1968. Producía 200 kW con una velocidad del viento en el eje de la máquina de 15 m/s.

El bajo precio del petróleo determinó entonces la suspensión total de los grandes proyectos en todo el mundo. Pero en los años 70, coincidiendo con la primera crisis del petróleo, se inicia una nueva etapa en el aprovechamiento de la energía del viento. Las aplicaciones de las modernas tecnologías, y en especial de las desarrolladas para la aviación, ha dado como resultado la aparición de una nueva

generación de máquinas eólicas muy perfeccionadas, y que permiten su explotación, bajo criterios de rentabilidad económica, en zonas de potencial eólico elevado.

A principios de los años 70, los norteamericanos, enfrentados al aumento de los problemas de abastecimiento de energía iniciaron un amplio programa para explotar la energía eólica. En aquel momento se estimaba, en efecto, que esta energía renovable podría, aparte de sus aplicaciones tradicionales, proporcionar kW/h a las redes eléctricas a un precio igual o inferior al de las centrales térmicas. Ello sería pronto una realidad con la puesta en servicio, de grandes aerogeneradores que producirán potencias eléctricas comprendidas entre 2 y 5 MW. EEUU cuenta con numerosos proyectos para la utilización de la energía del viento, incluso en combinación con otras centrales como las hidroeléctricas. También ha mostrado un gran interés en promocionar los aerogeneradores entre el público para que no los rechace y entre los posibles interesados (fabricantes y usuarios).

Algunos de estos molinos alcanzaban dimensiones colosales para aquella época: sus hélices, con un diámetro de varias decenas de metros, están sostenidas por grandes postes. Casi todas las grandes eólicas fueron destruidas del mismo modo tras algunos años de servicio. Es el caso, por ejemplo, de la gran hélice de 31 metros instalada en 1958 en Nogent-le-Roi, un pueblo de Normandía, al oeste de Francia, destruido por una tormenta en 1963. Montado sobre un trípode metálico, tenía tres palas, situada a 35 metros por encima del suelo y capaz de girar a 47 r.p.m. Ponía en movimiento un generador eléctrico conectado a la red urbana, o de otra mas modesta (18 m.) construida en una isla de Gran Bretaña en 1979: sólo funcionó durante 9 meses.

Los primeros grandes aerogeneradores se encuentran en los Estados Unidos, donde en 1941 había ya una eólica cuya hélice pesaba 7 toneladas y tenía un diámetro de 53 metros. También ésta se rompería durante una tormenta. Desde 1973, y bajo la responsabilidad de la NASA los Estados Unidos han reanudado la construcción de eólicas gigantes. Las dos mas grandes miden 61 y 91 metros de diámetro y funcionan desde 1978 en Boone (Ohio) y en Barstow (California). Producen de 2.000 a 2.500 kW de electricidad.

El florecimiento californiano de la energía eólica se debió en gran parte a una política fiscal favorable y a los altos precios que pagaban las eléctricas por la energía de origen eólico a mediados de los años 1980. Ambos incentivos se han suprimido,

pero la energía de origen eólico continúa creciendo en California, si bien a un ritmo más lento.. Los incentivos fiscales estimularon la rápida construcción de aerogeneradores cuyo diseño no se había sometido a pruebas rigurosas, y las averías menudeaban. Hoy, resueltos la mayoría de los problemas, la economía de la generación eólica ha mejorado notablemente. Desde 1981, el coste de la energía eléctrica generada por fuerza eólica ha caído en casi un orden de magnitud. De las reducciones en coste, pocas son atribuibles a innovaciones técnicas. La reducción de costos de la energía eólica obedece, sobre todo, a la experiencia de los años, que lleva consigo la introducción de métodos normalizados. En las industrias, los fabricantes se aplicaron a las técnicas de producción en masa; en el campo, los especialistas aprendieron a escoger los emplazamientos mejores y a acomodar el calendario de mantenimiento a los períodos de viento flojo. Las nuevas turbinas eólicas, de técnica más depurada, prometen ulteriores ahorros.

1.5 PRODUCCIÓN

Actualmente la energía eólica se aprovecha de dos formas bien diferenciadas: Por una parte se utiliza para sacar agua de los pozos un tipo de eólicas llamadas **aerobombas**, de las cuales el modelo de máquina más generalizado corresponde a molinos multipala del tipo americano. Estos molinos extraen el agua de los pozos directamente a través de la energía mecánica o por medio de bombas sin más ayuda que la del viento.

Por otra, está ese tipo de eólicas que llevan unidas un generador eléctrico y producen corriente cuando sopla el viento, reciben entonces el nombre de **aerogeneradores**.

1.6 LAS NUEVAS MÁQUINAS EÓICAS

Los avances en la aerodinámica han incrementado el rendimiento de los aerogeneradores del 10% hasta el 45%. En buenos emplazamientos, con vientos medios anuales superiores a los 5 m/s a 10 metros de altura, se consiguen producciones eléctricas anuales por metro cuadrado de área barrida superiores a los 1.000 kW/h. El tamaño medio de los grandes aerogeneradores es de 600-1.300 kW

con rotores de 40 metros de diámetro. Existe una tendencia generalizada hacia las máquinas tripala, que representan más del 80% de los aerogeneradores instalados.

Los futuros desarrollos tecnológicos buscan la reducción de costes mediante la elección de conceptos simplificados como, por ejemplo, el uso de trenes de potencia modulares, diseños sin caja de multiplicación, sistemas de comunicación pasivos y con orientación libre. Los desarrollos inciden también en la reducción de cargas y desgastes mecánicos mediante articulaciones y sistemas de velocidad variable, con control de par, reduciendo las fluctuaciones y mejorando la sincronización a la red. Todo esto se traducirá en trenes de potencia más ligeros y baratos.

1.7 LOS AEROGENERADORES Y EL MEDIO AMBIENTE:

Existe un amplio consenso social sobre la compatibilidad entre las instalaciones eólicas y el respeto al medioambiente, si bien también existen ciertos impactos derivados del aprovechamiento de la energía eólica que no deben obviarse en un esfuerzo por reducir el impacto medioambiental de la generación de energía eléctrica.

Los parques eólicos están localizados de modo preferente en áreas de montaña, en posiciones próximas a las líneas de cumbre, en donde se suele manifestar un alto potencial del recurso. En estas áreas el grado de conservación natural suele ser bueno y, a veces, con alto valor paisajístico, por lo que la ocupación del terreno por las instalaciones del parque eólico es un factor de impacto por su posible afección a los recursos naturales, paisajísticos o culturales de la zona. Generalmente, su incidencia es de escasa importancia, puesto que la ocupación irreversible de suelo por los aerogeneradores representa un porcentaje muy bajo en relación con la superficie total ocupada por el parque, quedando prácticamente todo el terreno disponible para los tipos de usos que habitualmente se daban en el área del emplazamiento. Las acciones del proyecto que generan mayor número de impactos son las referidas a obra civil: viales, zanjas, edificio de control y subestación. Todas estas acciones causan una alteración del suelo y cubierta vegetal y en ocasiones, pequeñas modificaciones geomorfológicas provocadas por desmontes o aplanamientos. No obstante, en la mayoría de los casos, el acceso principal lo constituyen carreteras ya existentes, mientras que los accesos interiores a las líneas de aerogeneradores se construyen, en la medida de lo posible, aprovechando el trazado de las pistas forestales y de accesos de uso.

Los aerogeneradores son siempre elementos muy visibles en el paisaje. De lo contrario, no estarían situados adecuadamente desde un punto de vista meteorológico. La ilustración muestra el parque eólico de Kappel (Dinamarca). Probablemente sea una de las distribuciones de máquinas eólicas más agradables posibles desde el punto de vista estético. La forma del dique a lo largo de la costa se repite en la línea de las turbinas.

En todo caso el impacto visual es algo consustancial a esta forma de producir energía. Puede minimizarse en lo posible, por ejemplo pintando las torres de gris, pero nunca evitarse totalmente. En áreas llanas suele ser una buena estrategia disponer las turbinas según una distribución geométrica simple, fácilmente perceptible por el espectador. Sin embargo, existen límites a la utilización de patrones simples: en paisajes con fuertes pendientes, rara vez es viable la utilización de un patrón simple, y suele ser mejor hacer que las turbinas sigan los contornos del altitud del paisaje, o los cercados u otras características del mismo.

Otro efecto achacado a este tipo de instalaciones es la contaminación acústica. Aunque el sonido no es un problema capital para la industria, dada la distancia a la que se encuentran los vecinos más cercanos (normalmente se observa una distancia mínima de unos 7 diámetros de rotor o 300 metros), no por ello es éste un detalle que se descuide totalmente a la hora de diseñar nuevos equipos. Además, ningún paisaje está nunca en

silencio absoluto.

Por ejemplo, las aves y las actividades

humanas emiten

sonidos y, a

velocidades del

viento alrededor de

4-7 m/s y

superiores, el ruido

del viento en las

hojas, arbustos,

árboles, mástiles, etc. enmascarará gradualmente cualquier potencial sonido de los aerogeneradores. Esto hace que la medición del sonido de los aerogeneradores de forma precisa sea muy difícil. Generalmente, a velocidades de 8 m/s y superiores llega



a ser una cuestión bastante difusa el discutir las emisiones de sonido de los modernos aerogeneradores, dado que el ruido de fondo enmascarará completamente cualquier ruido de la turbina. Al menos este es el punto de vista defendido por los fabricantes de equipos eólicos, que en diseños modernos declaran niveles de ruido de 48 dB a 200 metros del aerogenerador.

Por último se hace necesario reseñar, aunque sea muy sucintamente, un debate abierto entre la industria explotadora de parque eólicos y los diferentes grupos de defensa de la naturaleza, quienes paradójicamente deberían ser los mayores defensores de esta fuente no contaminante de energía. Tal debate es la mortandad de aves causadas por colisiones con las aspas de los equipos. Si bien este fenómeno está muy vinculado a las distintas especies (agudeza visual, velocidad y altura de vuelo...) las posturas son enfrentadas y las posiciones dispares, aunque se han ensayado soluciones diversas como ya se ha indicado en el apartado de desventajas de la energía eólica, por ejemplo, pintar las palas de los rotores en colores llamativos, distribuir los molinos contemplando pasillos aéreos para las aves, etc... En cualquier caso, los datos disponibles indican que, aun en zonas de paso de grandes bandadas de aves migratorias, como es el caso de Tarifa, los impactos observados son pequeños.

De todos modos, la instalación de parques eólicos está precedida por un *Estudio de Impacto Ambiental* que ha de ser aprobado por las autoridades de la Comunidad Autónoma correspondiente con el objetivo de obligar a los promotores de la instalación a adoptar las medidas pertinentes para minorar los posibles impactos negativos que pudieran producirse sobre el medio ambiente local. La realización de este tipo de estudios se justifica más por la sensibilidad social en las áreas geográficas donde se ubican que por las características de este tipo de instalaciones, cuyos efectos ambientales negativos suelen ser muy inferiores a los producidos por cualquier otra actividad de producción energética. La aprobación medioambiental mencionada suele estar acompañada tanto de medidas correctoras para el diseño global de la instalación como para el posicionamiento de aerogeneradores, restauración de la cubierta vegetal, formas de torres, pinturas o enterramiento de líneas eléctricas, así como de un plan de vigilancia cuya función básica es garantizar la afectación mínima del parque al entorno en el que está situado.

1.8 FACTIBILIDAD ECONOMICA DE LA ENERGIA EOLICA

Aunque la rentabilidad económica de un aerogenerador no debe ser la única medida de referencia, -sino también evaluar las ventajas ecológicas de este tipo de energía- los costes de generación deberán por supuesto quedar en un valor macro-económicamente justificable. La rentabilidad económica de un aerogenerador y por ende su utilización, depende fundamentalmente de los datos del viento en el lugar de emplazamiento.

Un parámetro decisivo es la velocidad anual media del viento, la cual se calcula mediante la distribución y el valor absoluto de la velocidad a lo largo de un año natural. Debe aclararse que la mejor forma de calcular la energía anual media de un aerogenerador es mediante la distribución estadística de Weibull II, llevando los valores medios que generalmente se miden a 10 metros de altura, a la altura del eje del rotor del aerogenerador.

Una forma aproximada de cálculo de la velocidad del viento a la altura del aerogenerador es mediante la ecuación:

$$V_h = V_{10} \cdot \left(\frac{h}{10} \right)^\alpha$$

donde se han utilizado los siguientes parámetros:

V_h = Velocidad media a la altura de cálculo.

V_{10} = Velocidad media a 10 m de altura.

h = Altura de cálculo.

α = Exponente en función de la rugosidad del terreno. Oscila entre 0,08 y 0,40.

Por otra parte, la rentabilidad de un aerogenerador está determinada por los costes de generación de corriente eléctrica, la cual puede calcularse según la siguiente igualdad:

$$COE = (IC / E) \cdot (a+OM) = BIC \cdot b$$

donde:

COE = Coste de generación de corriente eléctrica (€/kWh)

IC= Costes de inversión del aerogenerador (€).

E= Energía generada anualmente **E= P*T** (kWh/año).

P= Potencia nominal del aerogenerador (kW).

T= Horas de generación con máxima potencia (**T=FC*8760**).

FC= Factor de carga.

a= Tasa de anualidad de los costes de capital.

OM= Costes de operación y mantenimiento, se puede calcular como un porcentaje de la inversión **IC**, variando según el aerogenerador entre 0,5% y 3,5%.

b= Costes anuales de servicio (**b=a+OM**).

La tasa de anualidad **a** depende del interés y del tiempo de amortización en años, y está definida para diferentes intereses y diferentes tiempos de amortización. Pero sin lugar a dudas las diferencias más grandes resultan de los costes específicos de inversión, (**BIC=IC/E**), es decir, de los costes totales de inversión y de la energía generada anualmente.

La inversión a realizar para la instalación de un parque eólico se ve especialmente afectada, además de por el propio coste de los aerogeneradores, por el coste de la línea y el equipamiento eléctrico necesario para la interconexión. Este último factor constituye frecuentemente una causa de incertidumbre que afecta a la viabilidad económica del proyecto, y su cuantificación pasa normalmente, por alcanzar un acuerdo previo con la compañía distribuidora de electricidad que tenga en cuenta no sólo los costes de la línea de conexión sino las modificaciones que se requieran en la red de distribución o transporte. Estas dificultades son a menudo tan importantes que están ralentizando e incluso comprometiendo seriamente las financiaciones de los parques eólicos. Los costes de conexión, las tasas a la administración local, que aunque reguladas suelen ser acordadas entre promotores y autoridades municipales, y los costes de los terrenos son difíciles de cuantificar, pero en cualquier caso están sufriendo un aumento progresivo en los últimos años.

Para un parque considerado como “caso tipo”, de 15 MW de potencia nominal, constituido por máquinas de 600 ó 700 kW de potencia unitaria, con altura de buje de 45 m., con una orografía normal y una línea de conexión de 10 km a 132 kV, la inversión total sería de unos 11,7 millones de euros. En este total, los aerogeneradores significarían el 75%, el equipamiento electromecánico incluida línea de transporte el 14% y la obra civil el 6%, correspondiendo el 5% restante a los estudios de evaluación de recursos eólicos, impacto ambiental, promoción, tramitación

de permisos e ingeniería. La vida operativa de la instalación se estima en 20 años y la producción eléctrica media la equivalente a 2.400 horas anuales de funcionamiento a potencia nominal. Por su parte, los costes de explotación medios suponen anualmente del orden de un 3% de los costes de inversión.

La inversión señalada supone un ratio de 780 €/kW instalado en 2004 que, teniendo en cuenta principalmente el coste previsto de los aerogeneradores, evolucionará según previsiones del Plan de Fomento de las Energías Renovables hasta quedar aproximadamente en 690 €/kW en 2010.

2. CLASIFICACIÓN

En la actualidad existe toda una enorme variedad de modelos de aerogeneradores, diferentes entre sí tanto por la potencia proporcionada, como por el número de palas o incluso por la manera de producir energía eléctrica (aisladamente o en conexión directa con la red de distribución convencional). Pueden clasificarse, pues, atendiendo a distintos criterios:

1) POR LA POSICIÓN DEL AEROGENERADOR:

A. Eje Vertical

Su característica principal es que el eje de rotación se encuentra en posición perpendicular al suelo. Son también llamados "VAWTs", que corresponde a las siglas de la denominación inglesa "vertical axis wind turbines". Existen tres tipos de estos aerogeneradores:

a.1) Darrieus:

Consisten en dos o tres arcos que giran alrededor del eje.

a.2) Panemonas

Cuatro o más semicírculos unidos al eje central. Su rendimiento es bajo.



a.3) Sabonius:

Dos o más filas de semicilindros colocados opuestamente.

B. Eje horizontal

Son los más habituales y en ellos se ha centrado el mayor esfuerzo de diseño en los últimos años. Se los denomina también "HAWTs", que corresponde a las siglas de la denominación inglesa "horizontal axis wind turbines".

2) POR LA POSICIÓN DEL EQUIPO CON RESPECTO AL VIENTO:

a) A barlovento:

Las máquinas corriente arriba tienen el rotor de cara al viento. La principal ventaja de los diseños corriente arriba es que se evita el abrigo del viento tras la torre. Con mucho, la mayoría de los aerogeneradores tienen este diseño.

Por otro lado, también hay algo de abrigo enfrente de la torre, es decir, el viento empieza a desviarse de la torre antes de alcanzarla, incluso si la torre es redonda y lisa. Así pues, cada vez que el rotor pasa por la torre, la potencia del aerogenerador cae ligeramente.

El principal inconveniente de los diseños corriente arriba es que el rotor necesita ser bastante inflexible, y estar situado a una cierta distancia de la torre. Además una máquina corriente arriba necesita un mecanismo de orientación para mantener el rotor de cara al viento.



b) A sotavento:

Las máquinas corriente abajo tienen el rotor situado en la cara a sotavento de la torre. La ventaja teórica que tienen es que pueden ser construidos sin un mecanismo de orientación, si el rotor y la góndola tienen un diseño apropiado que hace que la góndola siga al viento pasivamente.

Sin embargo, en grandes máquinas ésta es una ventaja algo dudosa, pues se necesitan cables para conducir la corriente fuera del generador. Si la máquina ha estado orientándose de forma pasiva en la misma dirección durante un largo periodo de tiempo y no dispone de un mecanismo de orientación, los cables pueden llegar a sufrir una torsión excesiva.

Un aspecto más importante es que el rotor puede hacerse más flexible. Esto supone una ventaja tanto en cuestión de peso como de dinámica de potencia de la máquina, es decir, las palas se curvarán a altas velocidades del viento, con lo que quitarán parte de la carga a la torre.

El inconveniente principal es la fluctuación de la potencia eólica, debida al paso del rotor a través del abrigo de la torre. Esto puede crear más cargas de fatiga en la turbina que con un diseño corriente arriba.

3) POR EL NUMERO DE PALAS:

a) Una pala



Al tener sólo una pala, estos aerogeneradores precisan un contrapeso en el otro extremo para equilibrar. La velocidad de giro es muy elevada. Su gran inconveniente es que introducen en el eje unos esfuerzos muy variables, lo que acorta la vida de la instalación.

Una aplicación de este tipo de máquinas puede verse en la foto situada al lado.

b) Dos palas

Los diseños bipala de aerogeneradores tienen la ventaja de ahorrar el coste de una pala y, por supuesto, su peso. Sin embargo, suelen tener dificultades para penetrar en el mercado, en parte porque necesitan una mayor velocidad de giro para producir la misma energía de salida. Esto



supone una desventaja tanto en lo que respecta al ruido como al aspecto visual. Una aplicación de este diseño se presenta en la figura.

c) Tres palas

La mayoría de los aerogeneradores modernos tienen este diseño, con el rotor mantenido en la posición corriente arriba, usando motores eléctricos en sus mecanismos de orientación. Este diseño tiende a imponerse como estándar al resto de los conceptos evaluados. La gran mayoría de las turbinas vendidas en los mercados mundiales poseen este diseño.

Un espectacular ejemplo, de 72 m de diámetro del rotor y 80 m de altura hasta el eje, puede verse en la foto .



d) Multipalas



Con un número superior de palas o multipalas. Se trata del llamado modelo americano, debido a que una de sus primeras aplicaciones fue la extracción de agua en pozos de las grandes llanuras de aquel continente.

4) POR LA MANERA DE ADECUAR LA ORIENTACIÓN DEL EQUIPO A LA DIRECCIÓN DEL VIENTO EN CADA MOMENTO:

El mecanismo de orientación de un aerogenerador es utilizado para girar el rotor de la turbina en contra del viento. Se dice que la turbina tiene un error de orientación si el rotor no está perpendicular al viento.

Un error de orientación implica que una menor proporción de la energía del viento pasará a través del área del rotor (esta proporción disminuirá con el coseno del error de orientación). Por tanto, la eficiencia del mecanismo de orientación es fundamental para mantener el rendimiento de la instalación.

5) SEGÚN LA FORMA DE PRODUCIR ENERGÍA ELÉCTRICA

Se divide en dos: en conexión directa a la red de distribución convencional o de forma aislada:

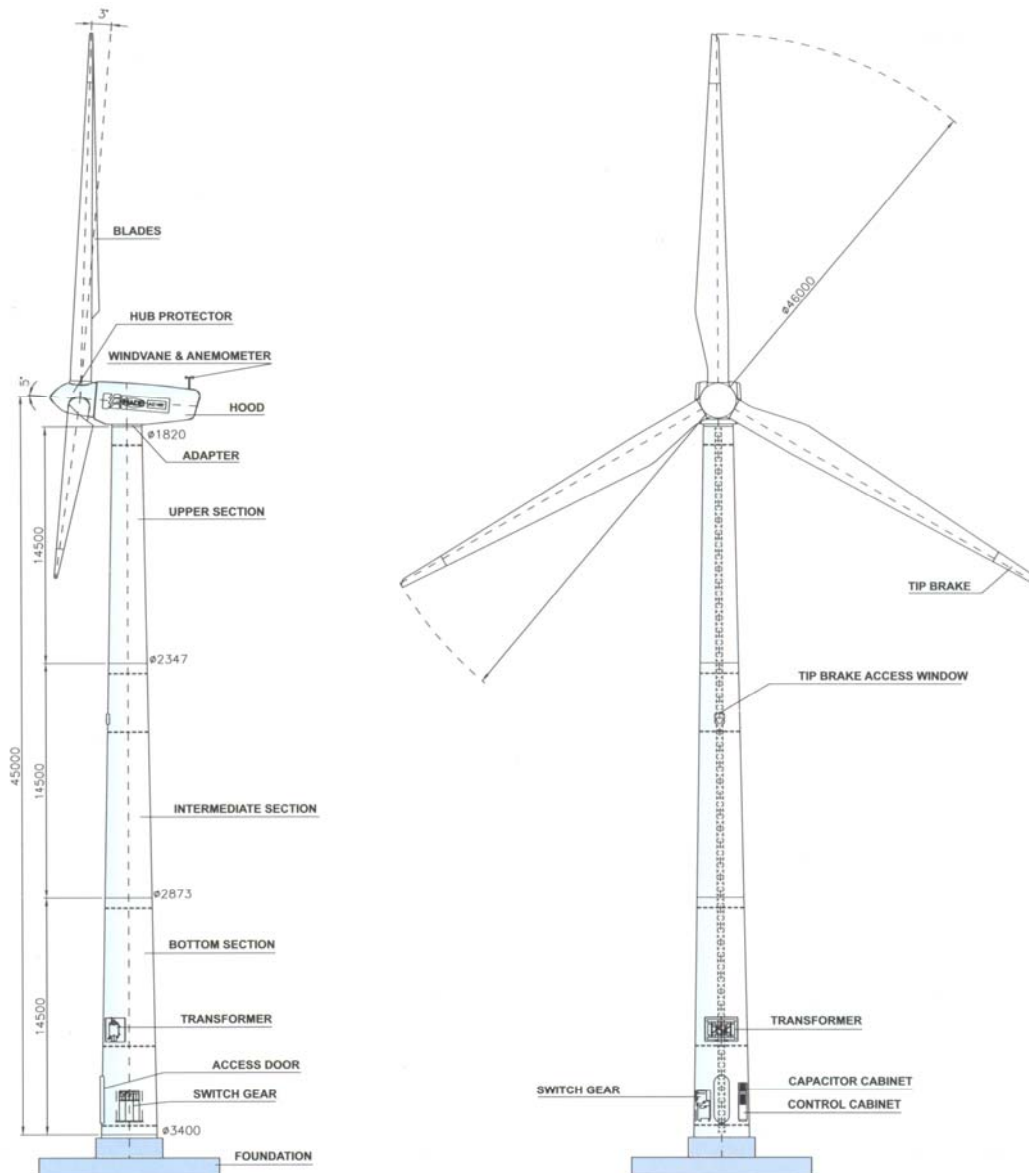
Las **aplicaciones aisladas** por medio de pequeña o mediana potencia se utilizan para usos domésticos o agrícolas (iluminación, pequeños electrodomésticos, bombeo, irrigación, etc.), incluso en instalaciones industriales para desalación, repetidores aislados de telefonía, TV, instalaciones turísticas y deportivas, etc. En caso de estar condicionados por un horario o una continuidad, se precisa introducir sistemas de baterías de acumulación o combinaciones con otro tipo de generadores eléctricos (grupos diésel, placas solares fotovoltaicas, centrales minihidráulicas,...) También se utilizan aerogeneradores de gran potencia en instalaciones aisladas, desalinización de agua marina, producción de hidrógeno, etc.

La **conexión directa a la red** viene representada por la utilización de aerogeneradores de potencias grandes (mas de 10 ó 100 kW). Aunque en determinados casos, y gracias al apoyo de los Estados a las energías renovables, es factible la conexión de modelos mas pequeños, siempre teniendo en cuenta los costes de enganche a la red (equipos y permisos). La mayor rentabilidad se obtiene a través de agrupaciones de máquinas de potencia conectadas entre si y que vierten su energía conjuntamente a la red eléctrica. Dichos sistemas se denominan **parques eólicos**.

Por sus condiciones de producción caprichosa, está limitada en porcentaje al total de energía eléctrica (en la conexión directa a la red). Se considera que el grado de penetración de la energía eólica en grandes redes de distribución eléctrica, puede alcanzar sin problemas del 15 al 20% del total, sin especiales precauciones en la calidad del suministro, ni en la estabilidad de la red.

3. COMPONENTES DE UN AEROGENERADOR

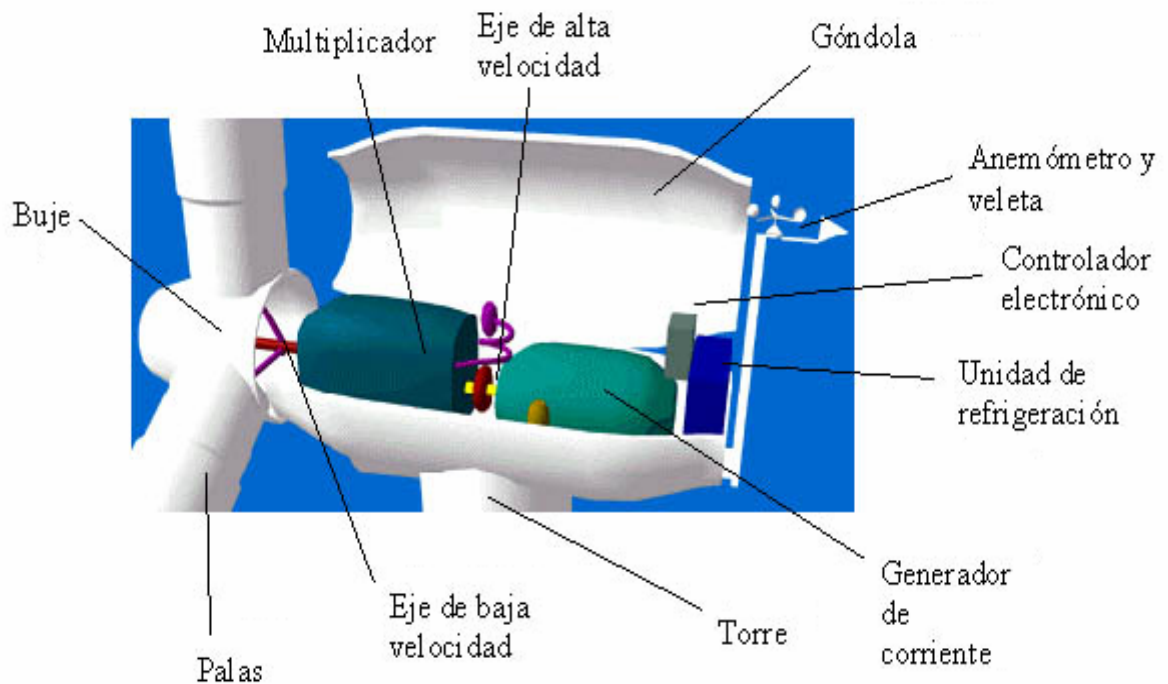
En esta figura se pueden ver los principales elementos de un aerogenerador:



Donde se observan los siguientes componentes:

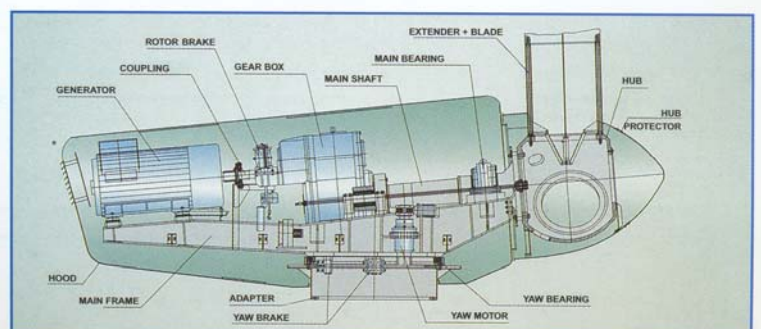
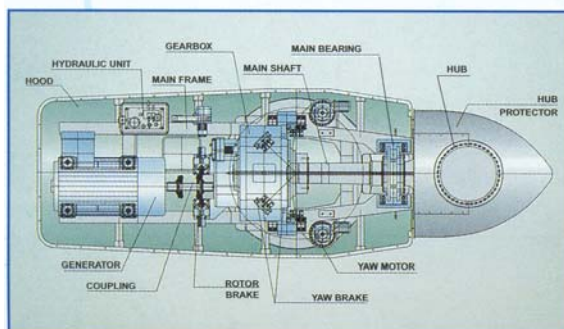
3.1 TURBINA:

Las principales partes de la turbina se ven en la siguiente figura:



Y en la siguiente imagen se aprecian todos los componentes en detalle

General layout of the turbine



Frame: chasis

Gearbox: multiplicador

Bearing: rodamiento

Hub: buje

Generator: Generador

Yaw motor / brake : motor/freno para el movimiento de orientación de la turbina

3.1.1 LA GÓNDOLA

Contiene los componentes clave del aerogenerador, incluyendo el multiplicador y el generador eléctrico. El personal de servicio puede entrar en la góndola desde la torre de la turbina.

La góndola del aerogenerador protege a todos los componentes del mismo de las inclemencias del tiempo, a la vez que aísla acústicamente el exterior del ruido generado por la máquina

La capota de la góndola, fabricada en material compuesto, está unida al chasis, sobre el que se montan todos los componentes. Está construida en un 30% de fibra de vidrio y en un 70% de poliéster. Dispone de tomas de aire para la refrigeración, trampilla, pararrayos, anemómetro y veleta.

La cara externa está protegida con gelcoat de alta calidad, no permitiéndose que en su acabado aparezcan deformaciones o marcas de fibra, Este acabado proporciona una resistencia suficiente al medio marino y a la erosión derivada de vientos fuertes y partículas en suspensión.

El chasis es partido, con una parte frontal en la que se soportan y transmiten las cargas del rotor y tren de potencia, y una parte posterior en voladizo sobre la que descansan el generador y los armarios de potencia y equipos auxiliares.

3.1.2 EL BUJE

El buje del rotor está acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador.

3.1.3 EL ROTOR

Podemos encontrar varios modelos de rotor, y esa es la mejor forma de entender y hacer la elección de uno para la creación de una máquina eólica.

Un ejemplo de rotor será un tripala horizontal, con control de potencia por entrada en pérdida. La pala puede ser de longitud 21 m por lo que al usar buje esférico son necesarios unos alargadores de aproximadamente 0.5 m. (para un buje de 1.7 m. diámetro). El ángulo de inclinación del eje de giro del rotor respecto a la horizontal es de 5° (ángulo de tilt).

La pala viene equipada con dispositivos aerodinámicos que optimizan el comportamiento de ésta tanto desde un punto de vista estructural-dinámico como de actuaciones.

El sentido de giro del rotor, visto desde aguas arriba, es horario.

También podemos encontrar un rotor de tipo tripala de eje horizontal, con control de potencia por cambio de paso de las palas, y por elección de la velocidad de giro de su rotor, de manera que se está siempre en la situación óptima para la producción energética. Ejemplos de pala elegida para este tipo pueden ser la LM 25.1 P 27.1 P 28.6 P (Longitud de pala 25.1 m 27.1 m y 28.6 m)

La pala está unida al buje mediante un rodamiento de bolas, que permite a ésta girar alrededor de su eje. El rodamiento se une a la pala por su anillo interior y al buje por el exterior. El control del ángulo de paso permite a la pala girar entre 0 y 90° y conseguir que el aerogenerador mantenga la potencia nominal en un rango de vientos comprendido entre $12 - 25,11,5 - 25$ y $10,8 - 25$ m/s) así como realizar arranque y paradas eficaces.

3.1.4 EL EJE DE BAJA VELOCIDAD

Conecta el buje del rotor al multiplicador. En un aerogenerador moderno de 600 kW. El rotor gira muy lento, a unas 19-30 r.p.m. El eje contiene conductos del sistema hidráulico para permitir el funcionamiento de los frenos aerodinámicos.

3.1.5 SISTEMA DE CAMBIO DE PASO

La principal función del sistema de cambio de paso es el control de potencia el sistema de control está continuamente comparando la curva de potencia con la producción del aerogenerador, seleccionando el paso de la pala óptimo para cada velocidad de rotación.

El cambio de paso se realiza mediante un actuador hidráulico individual para cada pala, aumentando o disminuyendo la presión. Con este sistema se logra una mayor precisión en la regulación, optimizar la dinámica del sistema y una mayor seguridad frente a fallos.

También se utiliza el cambio de paso para el sistema de frenado. Mediante las servoválvulas se llevan las palas hasta 88° (posición de bandera) a una velocidad de $5,7^\circ/\text{s}$ en una parada normal. Para frenada de emergencia se utilizan, adicionalmente a las servoválvulas, unos acumuladores que son capaces de llevar la pala a 88° a una velocidad de $15^\circ/\text{s}$.

3.1.6 EL TREN DE POTENCIA Y MULTIPLICADOR

El tren de potencia está constituido por el eje lento, el soporte principal de dicho eje, el multiplicador de velocidades y el acoplamiento. Su misión es transmitir la potencia mecánica al generador eléctrico en las condiciones adecuadas para la generación de electricidad.

El multiplicador tiene en la entrada el eje de baja velocidad. Permite que el eje de alta velocidad que está a la salida gire más de 50 veces más rápido que el eje de baja velocidad.

Se debe tener presente que este multiplicador está equipado con un sistema de lubricación, que puede ser por bomba independiente o por barbotaje. La bomba, acoplada a un motor eléctrico e instalada a un costado de la máquina, se activa antes de liberar el rotor, con lo que la máquina recibe una cantidad suficiente de aceite ya antes de iniciar el giro, caudal que en todo momento es constante e independiente del régimen de revoluciones del multiplicador.

En este caso la cantidad de aceite en el cárter es sensiblemente inferior que en la lubricación por barbotaje, si bien, en la práctica se opta por una combinación racional de los dos sistemas, a objeto de minimizar las necesidades de energía requeridas para los equipos de bombeo y abaratar los costes.

El eje principal realizado en acero forjado (42 CrMo4) consta de una brida para su unión mediante tornillos al buje, se apoya sobre un rodamiento de doble hilera de

rodillos en su parte delantera y se une al multiplicador mediante un aro Stüwe de compresión.

El multiplicador tiene una relación de velocidades mayor a 1:50, que consigue mediante una primera etapa planetaria y dos etapas más de ejes paralelos helicoidales. El sentido de giro en eje lento y eje rápido es el mismo. La potencia nominal de entrada en el eje lento puede ser de 715 kW o 860 kW.

El acoplamiento entre multiplicador y generador es elástico, con capacidad de absorber desalineamientos en operación en continuo. El freno mecánico se monta sobre el eje rápido del multiplicador, y consiste en un disco de 795 mm de diámetro sobre el que actúa una pinza hidráulica, segura ante el fallo.

3.1.7 EL EJE DE ALTA VELOCIDAD

Gira aproximadamente a 1.500 r.p.m. lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con un freno de disco mecánico de emergencia. El freno mecánico se utiliza en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante las labores de mantenimiento de la turbina.

3.1.8 EL GENERADOR ELÉCTRICO

Suele ser un generador asíncrono o de inducción. En los aerogeneradores modernos la potencia máxima suele estar entre 500 y 1.500 kW

- Generador asíncrono: tiene un doble devanado estatórico de, por ejemplo, 4 y 6 polos, lo que permite elegir, en función de la velocidad del viento, cual de los dos se conecta a la red, optimizando así el rendimiento de la transformación energética y características aerodinámicas, a la vez que se reduce el nivel de ruido a bajas velocidades de viento. La potencia de cambio está en el entorno de los 130 kW.

- Generador es de tipo síncrono: es de velocidad de sincronismo 1500 rpm. El sistema de control permite al generador producir energía desde 750 rpm hasta la velocidad de sincronismo. Este sistema de velocidad variable permite optimizar la captación de energía para velocidades de viento inferiores a la velocidad nominal. En este sistema, el acoplamiento entre el generador síncrono y la red eléctrica de frecuencia fija, se establece a través de un convertidor de frecuencia, situado

directamente entre el estator de la máquina y la red. La potencia total generada por la máquina pasa a través del convertidor.

El generador se sitúa en la parte trasera de la góndola, en la parte lateral izquierda. A su lado se encuentra el armario de contactores del generador y el módulo de tiristores. Éste último se encarga del arranque y acoplamiento suaves del generador a la red así como de la conmutación entre generadores. También se encuentra en la góndola el módulo de compensación de reactiva.

El armario de potencia se conecta a un transformador de 715 kVA situado en la base de torre, en el que se eleva la tensión hasta 20 kV, para ser entregada a la red a través de las correspondientes celdas de media tensión. En la base de la torre se encuentra también el armario de control del aerogenerador.

3.1.9 LA UNIDAD DE REFRIGERACIÓN

Contiene un ventilador eléctrico utilizado para enfriar el generador eléctrico. Además contiene una unidad refrigerante por aceite empleada para enfriar el aceite del multiplicador. Algunas turbinas tienen generadores refrigerados por agua.

3.2 LAS PALAS DEL ROTOR

Se mueven con el viento y transmiten su potencia hacia el buje. En un aerogenerador moderno de 600 Kw. cada pala mide alrededor de 20 metros de longitud y su diseño es muy parecido al del ala de un avión.

Los materiales que tradicionalmente se han utilizado en la fabricación de las palas de los aerogeneradores se han visto desplazados por la utilización de plásticos y resinas, La fibra de vidrio se aplica al 99% de los grandes aerogeneradores. Existe una tendencia clara hacia el uso de epoxy (generalmente resina de poliéster) reforzado de fibra de vidrio o carbono.

En cuanto a las turbinas pequeñas, igualmente el 99 % usan materiales plásticos, solo algún fabricante usa madera, la mayoría son de materiales plásticos inyectados. Antes de aplicarse estos materiales las palas eran de madera, acero y aluminio.

3.3 SISTEMA DE ORIENTACIÓN

El aerogenerador tiene un sistema activo de orientación, que hace girar la góndola de forma que el rotor permanezca orientado hacia el viento. El sistema actúa sobre un rodamiento de bolas que une la torre al chasis. La parte exterior del rodamiento, que se une a la torre a través de tornillos, tiene un dentado sobre el que actúan los moto-reductores de orientación. En la parte interna de la torre existe un disco de freno, sobre el que se montan las pinzas de freno.

A través de los sensores de viento localizados en el exterior de la góndola (duplicados por seguridad), el control es informado si la góndola está orientada o no con el viento incidente. Si no lo está, se liberan parcialmente (reduciendo la presión de su circuito hidráulico) las 4 pinzas de freno en orientación de la máquina, de forma que cuando los 2 moto-reductores eléctricos aplican su par de giro sobre el rodamiento corona, la máquina mantiene un par pasivo que hace más suave y más seguro el movimiento de la máquina.

3.4 CONVERTIDOR.

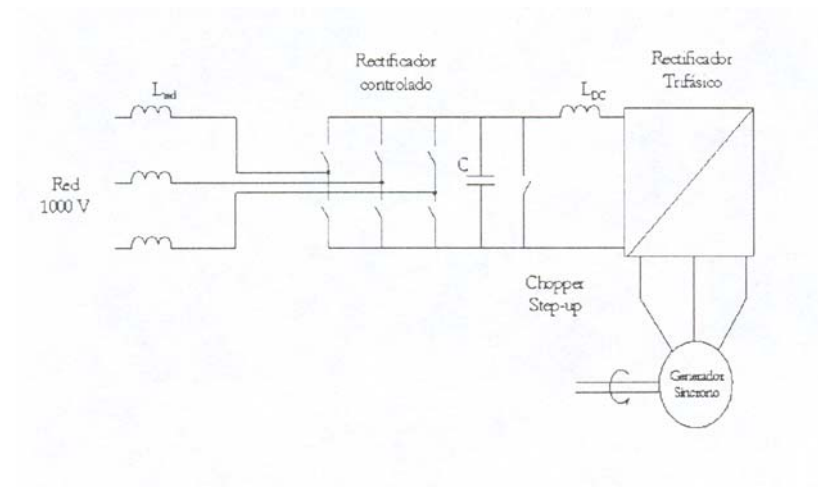
Tiene el cometido de regular el par que es opuesto por el generador eléctrico a la turbina, regulando de esta forma su velocidad de giro, y el de inyectar la energía producida en la red con la máxima calidad posible.

El convertidor se encuentra en una plataforma intermedia de la torre. Su entrada se encuentra conectada al generador a través de mangueras flexibles, y la salida es dirigida de igual forma al transformador de media tensión para su distribución.

Los objetivos que el convertidor cumple son:

- . Inyección de potencia a la red de forma óptima.
- . Reducción máxima de fluctuaciones de potencia y efecto Flickering.

. Operación con velocidad variable del rotor, de forma que el punto de funcionamiento de la turbina sea el de máximo rendimiento dentro del rango de funcionamiento.



3.5 SISTEMA DE ELEVACIÓN DE TENSIÓN.

El armario de potencia y control situado en la base de la torre, se conecta a un transformador seco de 1000 kVA ubicado en el interior de la torre, en el que se eleva la tensión hasta 20 kV (más adecuada para su distribución dentro del parque), para ser entregada a la red a través de las correspondientes celdas de media tensión.

Los devanados del transformador son continuamente monitorizados mediante tres sondas, las cuales llevan a cabo la medida y el control de la temperatura.

Los aerogeneradores de la serie 800 kW se encuentran equipados con un sistema de tres celdas de 20 kV. Su función es la de proporcionar una conexión fácil y segura entre el aerogenerador y la red, posibilitando la desconexión y puesta a tierra, si fuera necesario, del aerogenerador.

El sistema de elevación de tensión está compuesto por los siguientes equipos, ubicados en el interior de la torre:

3.5.1 TRANSFORMADOR DE POTENCIA SECOLA

Tiene devanados encapsulados en resina epoxi, servicio continuo, instalación interior de 1000 KV A, 20/1 kV, grupo de conexión DIN 11, 50 Hz.

3.5.2 CELDA DE PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR

Tiene un interruptor seccionador y posiciones de conexión - seccionamiento - puesta a tierra, de 24 kV, 400 A, 16 kA, mando manual, bobina de disparo y portafusibles con timonería de disparo por fusión. Incluye captosres capacitivos de presencia de tensión, seccionador de doble puesta a tierra de los portafusibles según DIN43.625. Salida de cable por pasatapas para bornes enchufables de 200 A.

3.5.3 CELDA DE SALIDA DE LÍNEA 20 KV

Tiene interruptor seccionador y posiciones de conexión - seccionamiento - puesta a tierra, de 24 kV, 400 A Y mando manual, incluyendo captosres capacitivos de presencia de tensión en cada fase de la línea de salida y acometida de cables a pasatapas para bornes atornillables 400/630 A.

3.5.4 CABINA PARA ENTRADA DE LÍNEA

Se realiza mediante acometida directa de pasatapas para bornes atornillables de 400/630 A, sin elemento de corte.

Estas celdas disponen de un sistema de seguridad que indica claramente si apareciera cualquier fuga del gas aislante. Las celdas permiten la desconexión y puesta a tierra del transformador de un aerogenerador a la vez que el servicio a máquinas conectadas en la misma línea sigue estando disponible

3.6 EL CONTROLADOR ELECTRÓNICO

Es un ordenador que continuamente monitoriza las condiciones del aerogenerador y que controla el mecanismo de orientación. En caso de cualquier disfunción (por ejemplo, un sobrecalentamiento en el multiplicador o en el generador), automáticamente para el aerogenerador y llama al ordenador del operario encargado de la turbina a través de un enlace telefónico mediante MODEM.

3.7 LA TORRE

Soporta la góndola y el rotor. Generalmente es una ventaja disponer de una torre alta, dado que la velocidad del viento aumenta conforme nos alejamos del nivel del suelo. Una turbina moderna de 600 Kw. Tendrá una torre de 40 a 60 metros.

Las torres pueden ser bien torres tubulares (como la mostrada en el dibujo) o torres de celosía. Las torres tubulares son más seguras para el personal de mantenimiento de las turbinas ya que pueden usar una escalera interior para acceder a la parte superior de la turbina. La principal ventaja de las torres de celosía es que son más baratas.

3.8 EL ANEMÓMETRO Y LA VELETA



Las señales electrónicas de anemómetro son utilizadas por el controlador electrónico del aerogenerador para conectarlo cuando el viento alcanza aproximadamente 5 m/s. El ordenador parará el aerogenerador automáticamente si la velocidad del viento excede de 25 m/s, con el fin de proteger a la turbina y sus alrededores. Las señales de la veleta son utilizadas por el controlador electrónico para girar el aerogenerador en contra del viento, utilizando el mecanismo de orientación.

3.9 LA CIMENTACIÓN

La cimentación del aerogenerador asegura la estabilidad del mismo para todas las condiciones de diseño, y está diseñada para una amplia variedad de terrenos. Consta del anclaje y de la zapata. El anclaje se diseña como continuación de la torre, a la que se atornilla por medio de una brida interior, de manera que transmite los esfuerzos a la zapata.

La zapata, construida en hormigón en masa, es de planta cuadrada, y está reforzada por una armadura de acero.

3.10. ESQUEMAS UNIFILARES

A continuación se muestran los esquemas unifilares de baja y media tensión. En el esquema de baja tensión encontramos la parte destinada a la conversión de la tensión del generador asíncrono para poder entregarla a la línea cliente, mediante rectificadores e inversores, en nuestro caso entregada a 1000 V

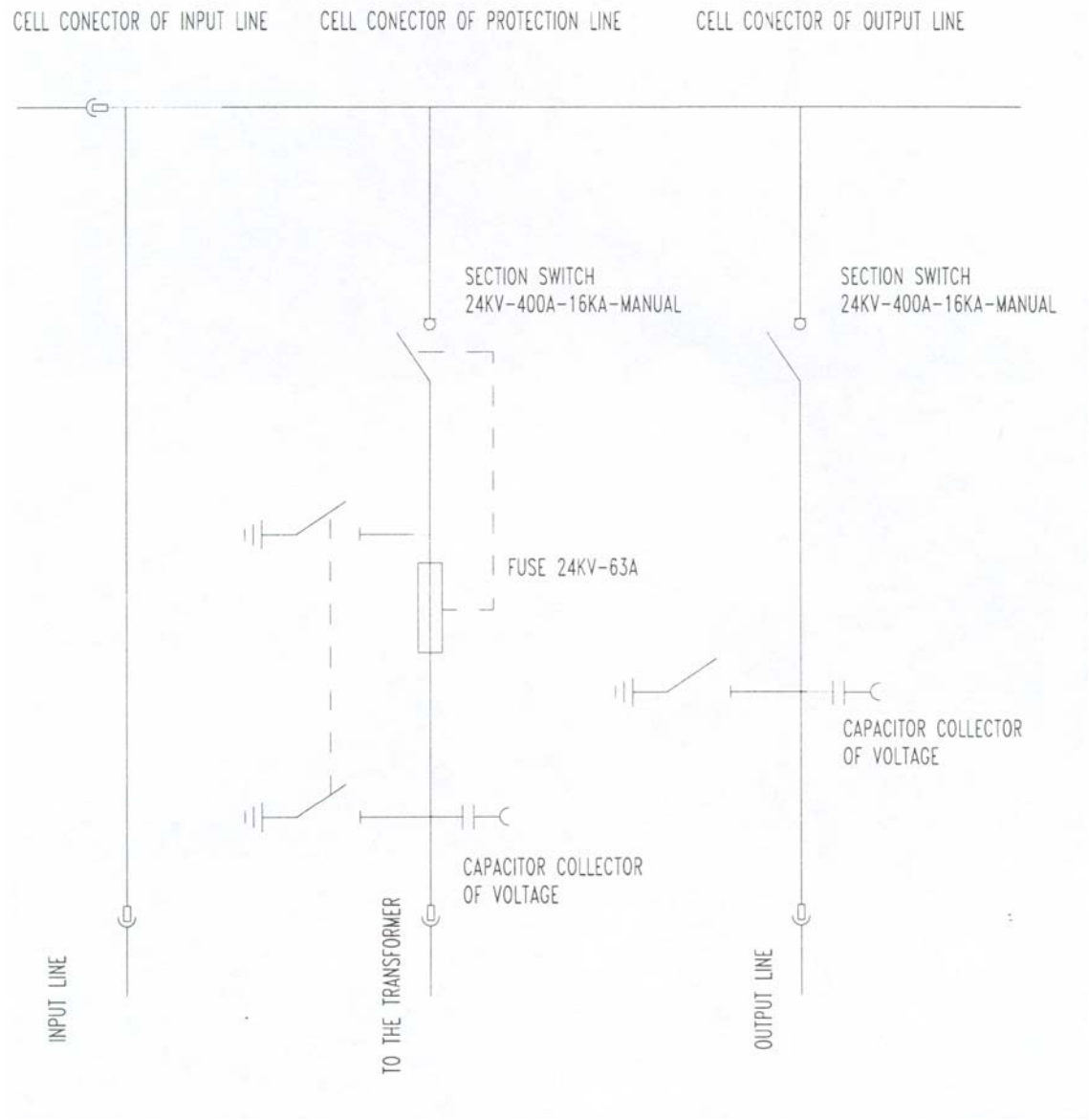
Igualmente encontramos como de esa misma tensión, en nuestro caso 1000 V, mediante un transformador para tener la tensión necesaria, alimentamos los elementos auxiliares necesarios para el buen funcionamiento del generador –bombas hidráulicas, intercambiadores, electroválvulas...- estando todo ello controlado en un sistema de lazo cerrado, leyendo permanentemente las condiciones de funcionamiento del generador, parámetros como temperatura, velocidad de rotación, etc... y modificando el funcionamiento de los elementos auxiliares en función de las lecturas obtenidas.

Se observa de este modo que el generador se comporta de un modo autónomo, autoabasteciéndose de energía eléctrica para poder funcionar y entregando a la red la energía sobrante generada en el generador asíncrono.

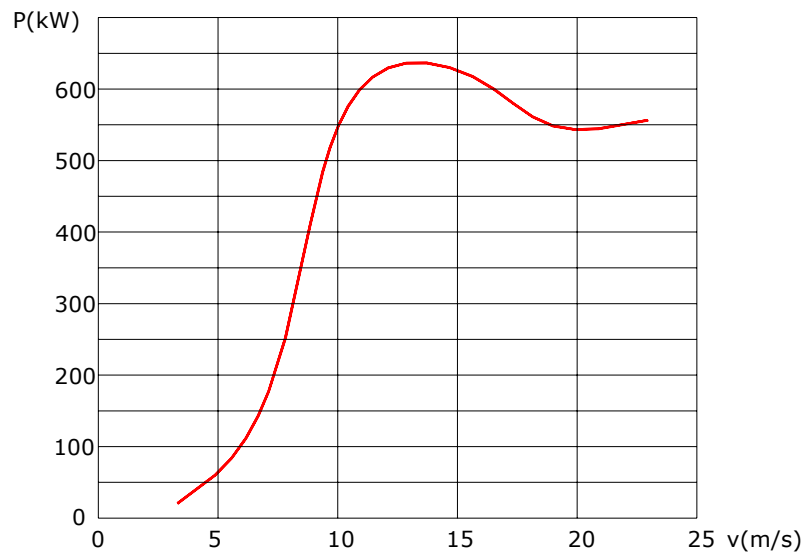
El diagrama ilustra la configuración eléctrica de un sistema de potencia trifásico de 400 V. Se detallan los componentes de los armarios IES y MADE, así como la interconexión entre ellos y con la red de alimentación. Los elementos clave incluyen:

- Armario IES:** Incluye un interruptor S2, un fusible F4, un inversor (IGCTs), un Ldc Chopper, un redificador (Diodos), un controlador, un sensor de posición, un sensor de velocidad (Se) y un generador síncrono de 800 kW y 1500 rpm.
- Armario MADE:** Incluye un interruptor S1, un fusible F1, un controlador, un sensor de posición, un sensor de velocidad (Se) y un generador síncrono de 800 kW y 1500 rpm.
- Conexiones:** Se muestran las líneas de alimentación trifásica (1, 2, 3) y la conexión a tierra (X1). Se detallan los interruptores (S1, S2) y los fusibles (F1, F4) en cada etapa.
- Componentes de Control:** Se indican los sensores de posición y velocidad, y el controlador que gestiona el inversor y el redificador.

Esquema Unifilar de Media Tensión



En la siguiente curva de potencia se observa como la misma presenta un máximo a una velocidad a partir de la cual no es interesante operar. Recordemos que con la velocidad también aumentan los esfuerzos en las palas, y el desgaste en elementos en movimiento es mayor.



BIBLIOGRAFIA

- www.made.es MADE Tecnologías Renovables, S.A.
- www.gamesa.es GAMESA
- www.idae.es Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- www.cener.com Centro Nacional de Energías Renovables.
- www.ciemat.es Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
- www.appa.es Asociación de Productores de Energías Renovables.
- www.windpower.org Danish Wind Industry Association (Dinamarca).
- <http://www.risoe.dk/vea/index.htm> Risø National Laboratory, Wind Energy Department (Dinamarca).
- www.afm.dtu.dk/wind Technical University of Denmark (Dinamarca).
- www.vestas.com Vestas Wind Systems (Dinamarca).
- www.lmglassfiber.com LM Glasfiber (Dinamarca).
- www.anev.org Associazione Nazionale Energia del Vento (Italia).
- www.anemon.it Anemon S.p.a. (Italia).
- www.fera-co.com Fabbrica Energie Rinnovabili Alternative (Italia).
- www.awea.org American Wind Energy Association (EEUU).
- www.nrel.gov/wind National Wind Technology Center (EEUU).
- www.ewea.org European Wind Energy Association (Europa).
- www.wind-energie.de Bundesverband WindEnergie e.V. (Alemania).
- www.yes2wind.com Ecología (WWF, Greenpeace, Friends of the Earth).
- www.energetica21.com/eol.html Revista Energética.
- www.abb.es Generadores para molinos de viento.