

**INFORMACIÓN
GENERAL SOBRE
ENERGÍA EÓLICA**

1 INTRODUCCIÓN	3
2 EL VIENTO Y SUS CARACTERÍSTICAS	3
2.1 EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS EÓLICOS.....	4
2.2 RECURSOS EÓLICOS EN CANARIAS.....	5
3 AERODINÁMICA DE AEROGENERADORES	6
3.1 LA ENERGÍA DEL VIENTO.....	6
3.2 LA FUERZA DEL VIENTO.....	7
3.3 MÁXIMA POTENCIA EXTRAÍBLE DEL VIENTO.....	7
3.4 EL ROTOR.....	7
4 ASPECTOS TÉCNICOS DE LA ENERGÍA EÓLICA.....	8
4.1 SISTEMAS ELÉCTRICOS Y DE CONTROL.....	8
4.1.1 Sistema de orientación.....	9
4.1.2 Sistema de regulación de velocidad.....	10
4.1.3 Regulación de Potencia.....	10
4.1.4 Conexión Eléctrica.....	11
4.1.5 Sistemas Eléctricos.....	11
4.2 INSTALACIONES MIXTAS Y DE PEQUEÑA POTENCIA	12
4.2.1 Instalaciones eólicas de pequeño tamaño.....	12
4.2.2 Sistema eólico-fotovoltaico.....	13
4.2.3 Sistema eólico-diesel.....	13
4.3 INSTALACIONES EÓLICAS PARA PRODUCCIÓN DE AGUA	14
4.3.1 Instalaciones eólicas de desalación.....	14
4.4 PARQUES EÓLICOS.....	15
4.4.1. Conversión de Energía Eólica en Eléctrica	15
4.4.2. Descripción de Instalaciones y Criterios de Diseño.....	16
5 CONSIDERACIONES GENERALES DE LA ENERGÍA EÓLICA	19
5.1 CONSIDERACIONES SOCIO – ECONÓMICAS.....	19
5.2 DESARROLLO SOSTENIBLE.....	20
5.3 PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA	20
5.4 CONDICIONANTES DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.....	21
5.5 CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES.....	21
5.6 EFECTOS EN EL ENTORNO	21
5.6.1 Impacto sobre la Avifauna.....	21
5.6.2 Impacto visual.....	22
5.6.3 Impacto del ruido.....	23
5.6.4 Impacto en la Flora y Erosión.....	23
5.6.5 Impacto en el Terreno	23

1 INTRODUCCIÓN

Apenas un 2% de la energía solar que llega a la Tierra se convierte en energía eólica y sólo podemos aprovechar una pequeña parte de ella. Aún así, se ha calculado que el potencial eólico es unas veinte veces el actual consumo mundial de energía, lo que hace de la energía eólica una de las fuentes de energía renovable más importantes.

El viento es, fundamentalmente, una consecuencia de la radiación solar que incide sobre la Tierra, y que origina el calentamiento de las masas de aire que la circundan. Al calentarse de forma desigual la superficie del planeta en función de la latitud, se provocan unas diferencias de presión que el flujo de aire tiende a igualar.

2 EL VIENTO Y SUS CARACTERÍSTICAS

El viento se define mediante la dirección y la velocidad.

La dirección del viento se designa por el punto cardinal desde donde sopla: por ejemplo, se llamará *viento de dirección Oeste* o *viento del Oeste* si proviene de este punto. Esta dirección nos la da la veleta.

La velocidad es la que da al viento su energía. Se mide con anemómetros, siendo los más utilizados en prácticamente todas las estaciones meteorológicas los anemómetros de rotación de cazoletas.

Las condiciones de viento en un territorio vienen determinadas por tres tipos de circulación de aire, según los efectos dominantes: circulación a escala planetaria o macroescala, a escala local o mesoescala y a escala próxima al emplazamiento o microescala.

La circulación de las masas de aire considerando el conjunto de la atmósfera de la Tierra se denomina "circulación general de la atmósfera". Esta trabaja como una máquina térmica que tiende a igualar las temperaturas de las distintas partes de la superficie terrestre. Tiene lugar fundamentalmente en la troposfera, la zona inferior de la atmósfera, que contiene los 4/5 de la masa de ésta y tiene un espesor de aproximadamente 7 km en los polos y 12 km en el ecuador. Las condiciones de la circulación general de la atmósfera vienen alteradas por la distribución de continentes y mares, existiendo unas desviaciones más acusadas en el hemisferio Norte, donde existen mayores masas continentales que en el hemisferio Sur.

El viento también puede sufrir modificaciones debido a su interacción con la superficie terrestre, originadas por diferencias de temperatura entre zonas relativamente próximas entre sí, además de la rugosidad y el relieve del terreno.

Los vientos debidos a diferencias de temperatura más conocidos son las brisas marinas y los vientos de montaña y valle.

- Brisas marinas: se originan por las diferencias de temperatura entre el mar y la tierra. Durante el día, la tierra se calienta más rápidamente que

el mar, originándose, a partir del mediodía aproximadamente, una circulación de aire del mar hacia la tierra. Durante la noche, la tierra se enfría más rápidamente que el mar invirtiéndose la corriente. La fuerza del viento resultante depende de la diferencia de temperatura entre ambos elementos, por lo que las brisas se muestran con más claridad en verano.

- Vientos de montaña y valle: tienen el mismo origen que las brisas, originándose la diferencia de temperatura entre las zonas altas de los montes y los valles. Dependen de las distribuciones de temperatura existentes y de la orografía de la zona.

Ambos fenómenos se desarrollan cuando los vientos dominantes están muy atenuados.

Por otra parte, la rugosidad del terreno tiende a frenar el movimiento del aire de tal forma que la capa más cercana al suelo está en completo reposo: es la capa límite atmosférica. La velocidad varía gradualmente con la altura hasta un valor característico de la velocidad del viento geostrófico, o sea, la del aire sin perturbar (correspondiente al nivel de macroescala).

Por último en lo que a escala local se refiere, la orografía del terreno también juega un papel importante. La velocidad del viento sufre una aceleración cuando tiene que remontar colinas, montes o cadenas montañosas, mientras que se atenúa en los valles.

Hay que tener en cuenta también la influencia de los obstáculos como las casas, árboles, vallas, etc., que producen una atenuación de la velocidad del viento y la aparición de turbulencias, y que es lo que conocemos como circulación a microescala.

2.1 Evaluación de los recursos eólicos

El paso previo para la instalación de una aeroturbina o un grupo de ellas consiste en la evaluación de los recursos eólicos de la zona. Determinadas regiones del planeta se ven favorecidas por un flujo de viento constante en velocidad y dirección, lo que las hace especialmente aprovechables desde el punto de vista eólico.

Para poder evaluar los recursos eólicos de un área geográfica hay que realizar mediciones continuas de la velocidad y dirección del viento para saber si es apta para la instalación de aeroturbinas.

Estas mediciones se llevan a cabo mediante instalaciones meteorológicas que recogen los datos de velocidad media cada cierto tiempo, por lo general cada 10 minutos o 1 hora durante varios años como mínimo, para poder controlar las variaciones del viento de un año a otro, a lo largo de un año, un mes, un día, etc.

Dichos resultados se plasman en unos diagramas que permiten conocer la frecuencia y la velocidad media del viento para distintas direcciones: son el

diagrama de frecuencia y el de velocidad o rosa de vientos (fig. 1). Ambos son complementarios, ya que el primero indica el número de veces que el viento sopla en una dirección determinada, y el segundo da la velocidad media en esa dirección.

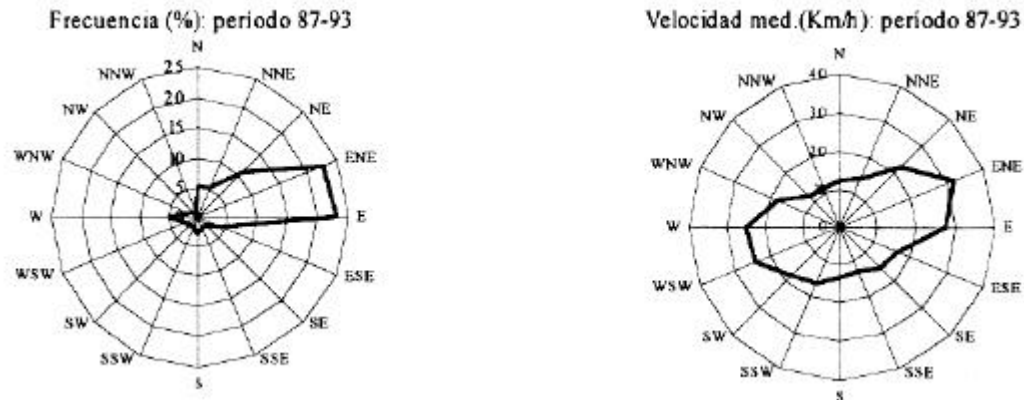


FIGURA 1.-Diagrama de frecuencias y Rosa de vientos

Los diagramas muestran, en el área de Granadilla y para el período 87-93, que la dirección ENE es la más frecuente, con una velocidad media de 30 km/h. En el diagrama de frecuencias se puede ver que el viento sopla mayoritariamente en las direcciones ENE y E, casi un 25% del tiempo, mientras que en la dirección W sólo sopla un 5%. En la rosa de vientos puede observarse que las mayores velocidades se registran en las direcciones ENE y W, con un valor entre 25 y 35 km/h.

Una característica importante de la energía eólica es que la potencia obtenida de una aeroturbina es proporcional al cubo de la velocidad del viento. Por ello se requiere una mayor precisión en los datos de la velocidad del viento que para otras aplicaciones.

2.2 Recursos eólicos en Canarias

Las Islas Canarias están durante el verano de lleno dentro de la corriente de vientos alisios del noreste, consistentes en la circulación en torno al anticiclón atlántico. Durante el invierno, el límite septentrional de los alisios está sólo un poco al norte de la latitud de Canarias, por lo que su efecto es menor, variando mucho de unos días para otros al alternar el alisio con otro tipo de situaciones.

Esta circulación general dominante de alisios se ve perturbada por los importantes accidentes orográficos que el viento tiende, en general, a bordear. Por ello, dado que en algunas islas la orografía supera la altura en la que circula el alisio, no podrán extrapolarse medidas o resultados de unas zonas a otras muy alejadas entre sí.

Las zonas de mayor interés eólico son las dominadas por el régimen de alisios que dan lugar, principalmente en lugares próximos a la costa, a zonas de elevado potencial eólico como puede verse en la *Figura 2*.

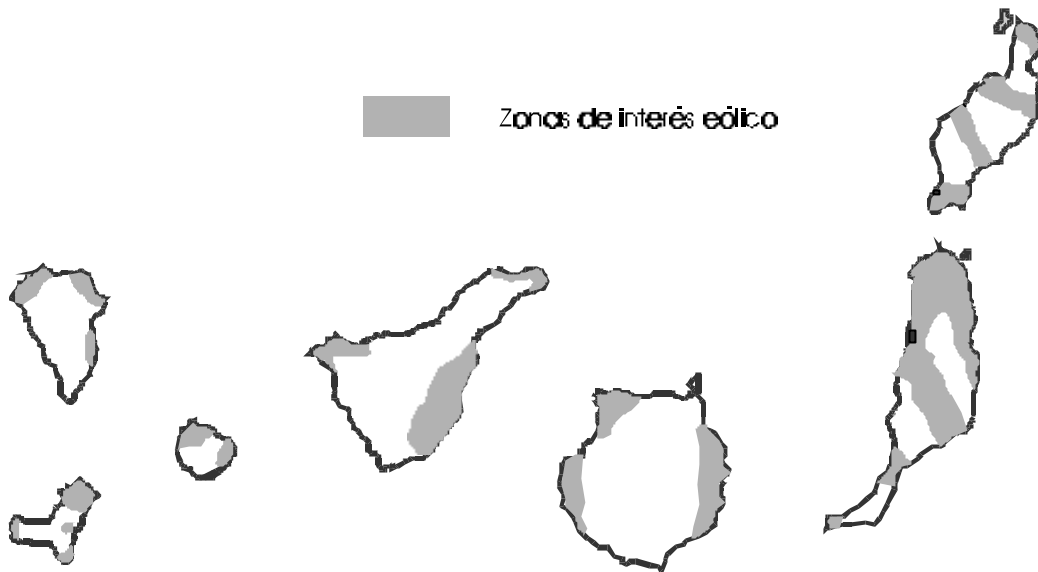


FIGURA 2.- Zonas de alto potencial eólico en Canarias.

3 AERODINÁMICA DE AEROGENERADORES

3.1 La energía del viento

El viento, consiste en aire en movimiento. Todo elemento de masa en movimiento posee una cierta cantidad de energía cinética (E_c), que es proporcional al cuadrado de su velocidad (v_1) y a su masa (dm) respectivamente.

Considérese un elemento de volumen cilíndrico dV que es atravesado por aire en movimiento con velocidad v_1 (fig. 3):

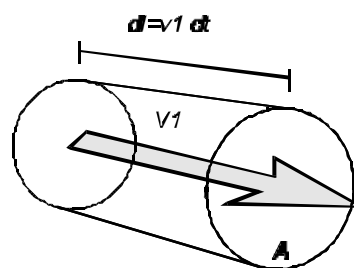


FIGURA 3

La energía que atraviesa la superficie A en la unidad de tiempo es la potencia P desarrollada por el fluido a través de dicha sección:

$$P = \frac{dE_c}{dt} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3$$

Se tiene así, que la potencia del viento es proporcional a la densidad del aire, al área de sección considerada y al cubo de su velocidad .

3.2 La fuerza del viento

Si en el medio fluido se interpone un elemento captador de energía (fig. 4), el viento después de atravesarlo tendrá una velocidad v_2 menor a la v_1 que traía originalmente (disminución de energía cinética). El cambio en velocidad del flujo implica que se realiza una fuerza sobre el elemento interpuesto.

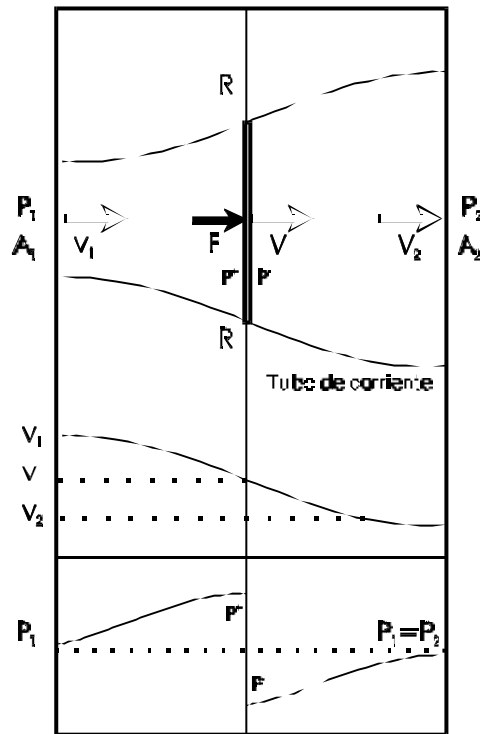


FIGURA 4

En la figura 4 se representa gráficamente el comportamiento de las variables que caracterizan el flujo. El disco del rotor (línea R-R) se sitúa perpendicularmente a la dirección del viento incidente que tiene una velocidad v_1 a una distancia infinita aguas arriba. El aire que se desplaza por el tubo de corriente atraviesa el rotor, cediéndole parte de su energía y estableciendo la correspondiente diferencia de presiones a ambos lados.

3.3 Máxima potencia extraíble del viento

La potencia captada por un aerogenerador suele expresarse como:

$$P = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3 \right) \cdot C_p$$

donde C_p es el *coeficiente de potencia* que determina el rendimiento aerodinámico del rotor.

3.4 El rotor

En los sistemas eólicos el elemento captador consiste en una hélice que transforma la energía cinética del viento en energía rotacional que es comunicada a un generador eléctrico (aerogeneradores), a un sistema de

bombeario (aerobombas) o a un sistema para molar grano (molino de viento tradicional). El principal elemento de estas hélices es la pala.

El dimensionamiento de un rotor es una tarea complicada y que requiere integrar los conocimientos de diferentes disciplinas: además de aerodinámica, hay que tener en cuenta aspectos estructurales (estáticos y dinámicos), de generación de ruido, de fabricación, etc.

Como primera aproximación se necesita saber cuanta potencia debe generar el rotor, a que velocidad debe generarla, y a que velocidad de giro (este último parámetro está limitado por la maquinaria que va acoplada al rotor, por ejemplo).

De forma preliminar, se puede calcular el área del rotor deseado partiendo de la relación:

$$P = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3 \right) \cdot C_p$$

dónde se debe tomar un valor aproximado de C_p (normalmente entre 0.3 y 0.35). Pero también hay que tener en cuenta las pérdidas en la maquinaria que va conectada al rotor (multiplicador, generador, eje con cojinetes, bomba de agua,...) Cada componente tiene su propia eficiencia, por lo que se debe multiplicar C_p por cada una de estas eficiencias para conocer la potencia útil que se va a generar.

Los materiales a emplear en la fabricación de rotores son muy variados. En principio, una pala puede ser fabricada en madera, metal, telas y materiales compuestos, entre otros. Los valores que determinan cual de estos materiales es el adecuado varían para cada caso específico.

Con diferencia, casi todos los nuevos diseños prefieren las ventajas de los materiales compuestos: fibras de vidrio, carbono y kevlar, resinas de poliéster, viniléster y epoxi. La ventaja de utilizar los tejidos de fibra es que se puede optimizar la estructura para resistir las cargas en las direcciones apropiadas, aligerando además el peso total. Además, el coste de estos materiales está descendiendo considerablemente, por lo que su empleo se generalizará en el futuro.

4 ASPECTOS TÉCNICOS DE LA ENERGÍA EÓLICA

4.1 Sistemas Eléctricos y de Control

Un buen diseño de un aerogenerador puede tener un funcionamiento incorrecto o llegar a destruirse si no se desarrolla un sistema de control adecuado.

El sistema de control deberá ser diferente en función del tamaño del aerogenerador. Para pequeñas máquinas, el control será simple y normalmente pasivo, por el contrario, para grandes máquinas - media y alta potencia -, el sistema de control será más complicado debido a los múltiples parámetros a

medir y el aumento de precisión requerido, pero representará un coste, que aunque alto, es pequeño comparado con el coste total.

Así, los controles pasivos hacen sus medidas de la manera más simple posible y utilizan fuerzas naturales para actuar, mientras que los sistemas de control activos utilizan sistemas eléctricos, mecánicos, hidráulicos y neumáticos o combinaciones de los anteriores para alcanzar su propósito.

. Los objetivos principales de un sistema de control son :

Obtener un funcionamiento automático del aerogenerador.

Conseguir que la turbina funcione en consonancia con el viento (orientación, regulación de velocidad, etc.)

Decidir la conexión / desconexión del generador.

Proteger al sistema (sobrevelocidades, vibraciones, sobrecalentamientos).

Maximizar el rendimiento del sistema.

Señalizar posibles averías o funcionamientos incorrectos disminuyendo los costes de mantenimiento.

Aumentar la vida útil del aerogenerador (minimizando y maximizando las cargas imprevistas que se pueden presentar).

En el control activo se deberán medir múltiples variables que darán información sobre el estado del sistema, al control central. Estas señales (velocidad del viento, orientación, velocidad del rotor, ángulo de paso, temperatura del generador, tensión y corriente de salida, etc) se muestrearán mediante sensores que deberán ser extremadamente fiables y precisos, ya que toda la estrategia de control puede ser inútil si las medidas son erróneas.

4.1.1 Sistema de orientación

El aerogenerador deberá estar siempre situado en la dirección en la cual la velocidad del viento sea mayor, perpendicular a ésta. Para conseguirlo existen diversos métodos, unos más sencillos, en general mecánicos y otros más sofisticados que aplican elementos activos (servomotores, etc.).

El método más utilizado actualmente es orientar mediante un servomotor. El motor de orientación podrá girar en los dos sentidos y será dirigido mediante una veleta y una dinamo tacométrica accionada por el mismo aerogenerador.

La veleta, sujeta a la góndola del aerogenerador envía una señal eléctrica al control que es proporcional a la orientación óptima. La dinamo tacométrica envía también una señal eléctrica proporcional a la velocidad de rotación. Mediante estas dos señales, el control pondrá en marcha el servomotor en el sentido adecuado en el momento en que se detecte una velocidad mínima, parándose cuando la turbina esté exactamente en dirección al viento.

4.1.2 Sistema de regulación de velocidad

La mayoría de los aerogeneradores actuales son de velocidad constante : la velocidad de giro de su rotor debe permanecer casi constante a pesar de la variación de la velocidad del viento. Además algún dispositivo debe limitar la potencia y proteger al aerogenerador de sobreesfuerzos en caso de fuertes vientos. Estas funciones las asume el sistema de regulación de velocidad. Los métodos de regulación de velocidad se puede clasificar en dos grupos. Métodos basados en palas fijas y métodos basados en palas orientables. Hoy en día son muchos los aerogeneradores que efectúan la regulación de velocidad por paso fijo de manera que, por encima de la velocidad nominal, la pala entra en pérdida aerodinámica limitando la potencia de salida. Existen también técnicas adicionales de control de velocidad con palas fijas como son la aleta estabilizadora articulada que gira al rotor en dirección paralela al viento.

Respecto a los métodos de regulación de velocidad basados en palas orientables, estos permiten la adaptación de las palas a diferentes condiciones de viento hasta el repliegue en caso de viento muy fuerte.

Existen múltiples métodos, ya sean constituidos por resortes, masos o servomotores. Pocos sistemas eólicos tienen un sistema de regulación de velocidad orientable mediante el cual el ángulo de paso está cambiando constantemente, la mayoría de los sistemas consideran a las palas fijas en un ancho margen de viento. Estos métodos tienen múltiples ventajas : ayudan a arrancar el rotor, posicionan el ángulo de ataque de la pala de forma que esté en el punto de operación óptimo, efectúan el control de vueltas para que no se sobrecargue el generador y protegen a todo el sistema frente a daños debidos a una alta velocidad del viento.

Actualmente, la regulación de los aerogeneradores se lleva a cabo en un control que suele ser un ordenador. El sistema de control electrónico recibe, mediante sensores que monitorizan las variables más importantes, datos como la velocidad del viento, las revoluciones por minuto del eje, las vibraciones que puedan aparecer, la potencia generada, el ángulo de paso de la pala, etc. A partir de estas entradas, el ángulo de paso de la pala óptimo se obtendrá mediante un algoritmo, a partir del cual se envíe una orden adecuada a los actuadores. Esta técnica controla las vueltas del rotor en todo el rango de operación. Si se detecta algún problema o algún parámetro fuera del rango preseleccionado, el sistema, actuando sobre los servomecanismos del ángulo de paso, pondrá a la pala fuera de operación (posición de bandera, ángulo=90°); cuando todo vuelva a la normalidad efectuará el proceso de arranque de nuevo.

4.1.3 Regulación de Potencia

Desde el punto de vista de la potencia existen dos apartados: uno es la conexión del generador a la red cuando las vueltas del mismo están a velocidad de sincronismo. Esta condición se da cuando no hay exceso de par y la potencia ni entra ni sale del generador. La otra es el control de velocidad del rotor ; así no existe sobrepotencia en el generador (exceso de deslizamiento, par u otros parámetros) y no se causan daños en el sistema de generación. El

control de vueltas del rotor se ha discutido en la sección anterior y lo único que se debe recordar es que si se desconecta eléctricamente al generador, se debe utilizar algún tipo de control de velocidad del rotor.

4.1.4 Conexión Eléctrica

El sensor electrónico que conecta el generador correctamente diferirá para sistemas en alterna y en continua. Los generadores de corriente continua tienen una potencia de salida muy pequeña a baja velocidad. Por ello, la conexión correcta se hará cuando las vueltas del rotor sean adecuadas para generar algo de potencia, ya que el pequeño pero suficiente flujo remanente puede ser la causa de un imprevisto traqueteo del rotor cuando se efectúa la conexión eléctrica. La sensibilidad en el punto de conexión en velocidad es mucho mayor en sistemas de corriente alterna que en los de corriente continua, no sólo por la naturaleza del sistema anterior, sino por la necesidad de algún control de frecuencia en la potencia generada. Los sistemas utilizados para el control en continua son generalmente la corriente del generador o la tensión de activación. Estos sistemas son muy comunes, económicos y no hace falta una excesiva sofisticación.

Por el contrario, los generadores de corriente alterna representan una condición de diseño que es más difícil de encontrar. Al principio de todo, la conexión a la red puede hacerse ajustándose a la frecuencia de sincronismo tanto como sea posible para ayudar a eliminar los picos de par generador y rotor - eje.

Una última consideración que debe ser discutida es la imprevista pérdida de potencia útil en la línea. El efecto de caída de tensión debida a la imprevista apertura del contactor se puede evitar mediante grandes condensadores conectados en paralelo con la red. Pero el mayor problema es la posible pérdida de control de frecuencia. La regulación de frecuencia solo es válida cuando se está conectado a red, ya que el aerogenerador está generalmente libre de cambiar la frecuencia mediante el cambio de la velocidad del rotor. Un sistema de control del rotor hará esto automáticamente ante posibles elevaciones de la velocidad. El sistema de control electrónico puede ser válido para diferenciar entre varias condiciones y dispararse cuando se detecte un cambio en la frecuencia.

Las pérdidas totales de potencia es un problema adicional para un sistema controlado electrónicamente. En éste caso, cuando la alimentación del ordenador falta (si no hay batería de emergencia) la alimentación de los servos que actúan sobre el ángulo de paso de las palas también falla. Así se produce una situación muy peligrosa ya que el rotor probablemente girará con ángulo de paso fijo. Una solución a este problema es conectar un pequeño generador de continua al eje de alta.

4.1.5. Sistemas Eléctricos

El aerogenerador incorpora un sistema eléctrico con dos funciones diferenciadas. La primera función de generación eléctrica propiamente dicha, se lleva a cabo mediante el generador, los contactores e interruptores y, a veces con la posible inclusión de una batería de condensadores para la compensación de energía reactiva. La segunda función tiene como objeto el funcionamiento de los equipos auxiliares, como son los motores de orientación, el grupo hidráulico, tomas de corriente, resistencias calefactoras, iluminación general y alimentación del sistema electrónico de control y comunicaciones.

Los diferentes equipos mencionados se encuentran en la góndola, sujetos al bastidor y protegidos por la carcasa, pudiéndose actuar a través de los armarios eléctricos, normalmente situados en la base de la torre. Algunos actuadores son redundantes, disponiendo en la propia góndola de la posibilidad de manejar algunos sistemas para realizar mejor labores de operación, mantenimiento e inspecciones.

En este armario se suelen situar los siguientes componentes:

- Elementos de compensación de energía reactiva: condensadores y sus elementos de descarga y protección.
- Elementos de potencia: contactores, instrumentos de medida, disyuntor general, circuitos de tiristores, contactores de bypass etc.
- Elementos de control: control por microprocesador, fuente de alimentación, resistencia de calentamiento, bobinas de actuación de contactores, etc.
- Elementos de protección: relés y contactores de los elementos auxiliares o elementos de protección de los equipos.

Como parte del equipo eléctrico se considera todo el cableado, propio de la máquina, tanto de los elementos de generación como auxiliares, incluida la red de tierras tanto para protección general como para protección ante descargas atmosféricas.

Normalmente la tensión de generación en cada aerogenerador se eleva a media tensión agrupando paquetes pequeños de aerogeneradores para cada unidad de transformación, con el objeto de optimizar la inversión. Recientemente existe la tendencia a instalar elementos de transformación eléctrica de baja a media tensión, a nivel individual en cada aerogenerador, con lo cual se evitan grandes trazados internos de la red de media tensión.

4.2 INSTALACIONES MIXTAS Y DE PEQUEÑA POTENCIA

4.2.1 Instalaciones eólicas de pequeño tamaño

Este tipo de proyectos suelen ser realizados en zonas muy alejadas del trazado de la red general de distribución eléctrica. El tamaño y tipo de instalación depende únicamente de las necesidades del usuario de la instalación y es

característico en ellos que la instalación se sitúe muy cerca del centro de consumo, requiriéndose frecuentemente la existencia de acumuladores. Las instalaciones más frecuentes emplean tecnologías muy fiables en las que es necesario un mantenimiento básico. En estas instalaciones de pequeña potencia, las aeroturbinas empleadas son aerogeneradores de alta velocidad ($\lambda > 2$) y se emplean normalmente para suministro eléctrico a viviendas aisladas y/o a otros centros de consumo.

Cuando la instalación aislada se diseña para proporcionar suministro eléctrico y la demanda de energía o es grande o debe ser permanente, se recurre a las llamadas "instalaciones mixtas" que frecuentemente suelen ser:

- Instalaciones eólico-fotovoltaicas, en los que el aerogenerador está interconectado a una serie de paneles fotovoltaicos.
- Instalaciones eólico-diesel, normalmente con mayor potencia que las anteriores, instalándose en ellas un aerogenerador interconectado con un grupo diesel.

Se puede considerar que este tipo de instalaciones cuentan con tecnología desarrollada y fiable cuando se trata de suministro eléctrico a viviendas aisladas, contando con baterías de acumulación u otros suministros eléctricos tales como bombeo mediante bombas centrífugas, ordeño automático, repetidores de radio, etc., contando con baterías de acumulación y aportación energética adicional mediante paneles fotovoltaicos o grupos electrógenos diesel.

4.2.2 Sistema eólico-fotovoltaico

Este tipo de sistemas presentan una serie de ventajas respecto a los simplemente eólicos, así la captación de energía es mayor, entregando un nivel de energía más constante a lo largo del año. Por otra parte requieren una menor cantidad de almacenamiento para alimentar la misma carga. Un sistema mixto eólico-fotovoltaico utiliza la energía del viento y el sol como fuentes de energía.

La instalación energética está constituida por un aerogenerador de pequeñas dimensiones y por uno ó varios paneles fotovoltaicos que en función de las características de viento y sol del emplazamiento aportan una determinada carga eléctrica.

La dimensión de cada uno de los equipos (aerogenerador y paneles) dependerá de las características climatológicas así como de las características de la carga.

4.2.3 Sistema eólico-diesel

En este tipo de instalación el sistema eólico instalado aeroturbina o aerogenerador, produce una energía dependiente del régimen de vientos existente en la zona de implantación. El grupo diesel, interconectado a través

de su sistema de control, permite una gran flexibilidad en su régimen de funcionamiento. El grupo diesel trabaja o a plena carga cuando el viento está en calma, (situación en la que la turbina eólica está desconectada) o a régimen variable apoyando la producción del aerogenerador por existir variación de la velocidad del viento. Cuando el viento mantiene un régimen de velocidad suficientemente alto, el grupo diesel o está parado y la producción eléctrica es suministrada solamente por el aerogenerador o mantiene su funcionamiento en condiciones de ralentí, generando la turbina eólica el resto de la potencia, manteniéndose en esas condiciones de regulación mientras dura el viento fuerte.

A pesar de la perfecta adecuación del sistema mixto al régimen de demanda, se pueden incluir sistemas de acumulación para aprovechar producciones del aerogenerador en horas de baja demanda de energía y con ello conseguir una menor dependencia del grupo diesel. En los proyectos existentes en España las características de los mismos ha permitido realizar ésta acumulación en embalses de agua.

4.3 INSTALACIONES EÓLICAS PARA PRODUCCIÓN DE AGUA

4.3.1 Instalaciones eólicas de desalación

Los procesos de desalación comúnmente empleados son el de evaporación (destilación), de flash instantáneo o a baja presión súbita, la ósmosis inversa y la electrodiálisis.

Todos los procesos son altamente consumidores de energía, normalmente eléctrica, de tal forma que los menos consumidores son el de evaporación y el de osmosis inversa. Por razón del menor coste de inversión, es por lo que la mayor demanda actual de plantas de desalación es para procesos de ósmosis inversa.

Los ahorros energéticos varían en función del potencial eólico realmente existente y de la tecnología eólica utilizada. La mayor parte de las instalaciones de desalación, actuales y futuras, pueden ver reducido el coste de producción de agua gracias al ahorro energético que supone el aprovechamiento del viento.

Empleando turbinas especializadas para emplazamientos de bajo y medio potencial eólico mediante grandes rotores en relación a su potencia, y otras de dimensiones/potencia más normalizada, pueden conseguirse producciones de agua desalada con un consumo eléctrico procedente de red de aproximadamente 1,7 kWh/m³, en las zonas más ventosas y mediante producción continua.

Los niveles de calidad de las aguas procedentes de una desalación, de agua de mar con proceso de ósmosis inversa, que cuenta con aportación principal de otra fuente de energía convencional, no sufren ninguna modificación.

Las diferencias técnicas entre las distintas posibilidades de instalación lo son en función del tipo de turbina empleada en la captación de la energía eólica y en la forma de transportar esa energía hasta el o los puntos de consumo. En general se pueden emplear aerogeneradores o turbinas oleohidráulicas.

Un consumo energético de entre el 85 y el 90% es empleado básicamente en conseguir la presión de trabajo, empleándose el 10-15% restante en la alimentación de los sistemas auxiliares (bombeo, dosificación y servicios).

4.4 Parques Eólicos

De entre todas las aplicaciones existentes de la energía eólica, es la de parques eólicos para producción eléctrica la más extendida y en la que actualmente se está dando un mayor grado de crecimiento. Así, de toda la potencia instalada en España, el 95% corresponde a parques eólicos.

4.4.1. Conversión de Energía Eólica en Eléctrica

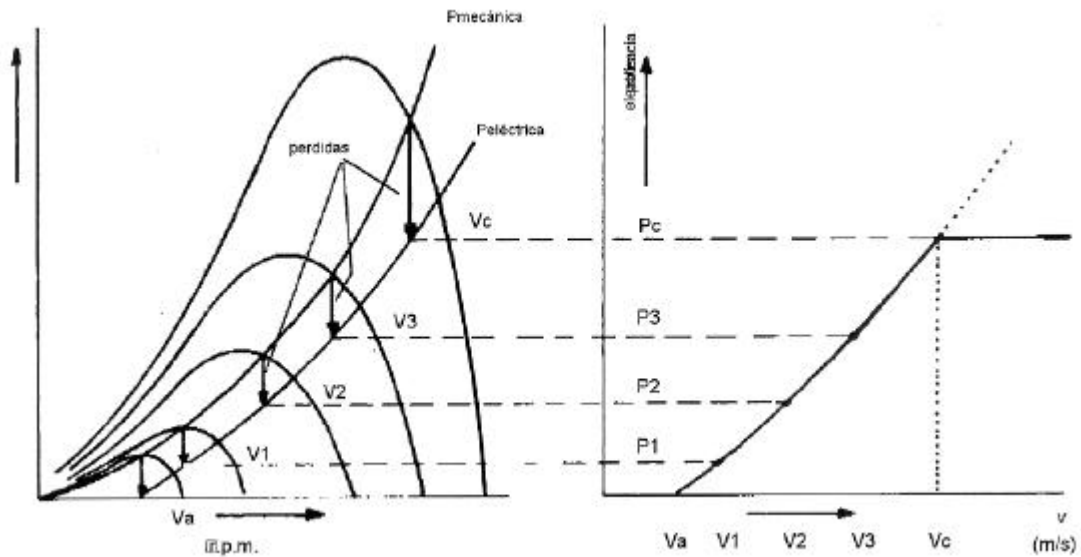
Como ya se ha comentado, la conversión de la energía eólica en eléctrica se consigue conectando a la turbina eólica un generador eléctrico, tanto de corriente continua como de corriente alterna, siendo estos últimos los más frecuentes, y sobre los que se centrará la atención.

La conexión rueda eólica - generador eléctrico puede ser directa o necesitar la interposición de un "convertidor mecánico de velocidad" (caja de engranajes). Este último caso es preciso cuando la velocidad nominal del generador eléctrico no coincide con la velocidad nominal de giro de la eólica.

Para elegir la relación de transmisión de la caja más adecuada ha de tenerse presente cual es la velocidad más frecuente del lugar (que indicará cual será la potencia más frecuente a la que trabaje la turbina, y la velocidad nominal de giro también más frecuente).

Si se mantiene constante la velocidad de giro de la eólica, aún cuando varíe la velocidad del viento (lo cual ocurre en el caso de generadores síncronos conectados a la red eléctrica o por tener la turbina los adecuados mecanismos de regulación de la velocidad), es fácil de calcular la curva que representa la variación de la potencia eléctrica suministrada por el aerogenerador, para las diferentes velocidades del viento.

En la figura se ha representado el proceso, incluyendo las pérdidas de potencia implícitas en la conversión de la energía mecánica en energía eléctrica.



Como puede observarse en el diagrama Potencia Eléctrica - Velocidad del viento, existen 4 tramos perfectamente definidos:

Primer tramo: corresponde a las velocidades del viento menores que V_a (velocidad de arranque), en las que la eólica no puede funcionar.

Segundo tramo: $V_a - V_4$ corresponde a la parte inclinada de la curva de potencia. En algún punto de este tramo, tal como V_4 , por ejemplo, se encuentra la velocidad de diseño.

Tercer tramo: corresponde a velocidades del viento comprendidas entre V_4 y V_c , siendo V_c la velocidad de corte o aquella en la que el sistema de control deja la turbina eólica "en bandera", por el peligro de rotura que ésta correría. La potencia durante todo este intervalo de velocidades del viento permanece constante (potencia nominal), actuando sobre la turbina eólica los adecuados mecanismos de regulación.

En este tramo la turbina eólica capta menos energía del viento que la que sería capaz; puesto que la curva de potencia, sin la limitación de ésta por el mecanismo de regulación, continuaría ascendiendo durante un cierto intervalo de velocidades.

Cuarto tramo: corresponde a velocidades del viento superiores a la de corte. En este tramo la eólica permanece parada, con la rueda "en bandera", ofreciendo la menor resistencia posible al viento.

4.4.2. Descripción de Instalaciones y Criterios de Diseño

Un parque eólico conectado a la red, se configura mediante la instalación integrada de un conjunto de varios aerogeneradores, interconectados eléctricamente mediante redes eléctricas propias y compartiendo una misma infraestructura de accesos y control. La conexión a la red eléctrica de distribución se realiza mediante la correspondiente transformación de tensión

dependiendo de la capacidad técnica de las redes existentes y de la propia instalación.

Naturalmente, el diseño característico de cada una de las tecnologías aplicadas (aerogeneradores, infraestructura eléctrica y de obra civil, etc.) o son propias de cada suministrador (diseño específico) ó dependen del proyecto.

Deberán tenerse en cuenta tanto los aspectos puramente de viento (velocidades medias, direcciones predominantes, rugosidad, etc.) como los correspondientes al terreno disponible (disposición característica de máquinas y distancia entre ellas) o consideraciones sobre los propios aerogeneradores (tamaño, tipo, altura de la torre, etc.).

Localización de un parque eólico

La localización en una zona determinada, viene condicionada por:

- 1 Localizar las mejores zonas de viento. Esta selección será en función de las velocidades medias de los lugares en estudio de los cuales se tienen datos.
- 2 Uso futuro y actual de la tierra en las zonas seleccionadas en base al punto anterior.
- 3 Eliminación de las zonas inadecuadas por su orografía y meteorología adversa.
- 4 Reglamentación existente en dichos lugares y permisos legales necesarios.
- 5 Proximidad de las vías de comunicación y las líneas de transporte eléctrico.
- 6 Aceptación pública del proyecto.
- 7 Impacto Medio Ambiental

Con el análisis de estos parámetros y en función del peso que se le dé a cada uno de ellos en la decisión final se elegirá una zona determinada.

Influencia del viento

Cada emplazamiento tiene una distribución media anual de direcciones y velocidades. Por eso la alineación de aerogeneradores deberá realizarse de forma que la energía captable al cabo del año sea máxima.

La alineación de máquinas será tal (siempre que el terreno lo permita) que los vientos que proporcionen mayor generación eléctrica anual tengan su dirección, o direcciones predominantes, perpendicular(es) a la alineación de las máquinas.

Cuando el emplazamiento cuente con una gran dispersión de direcciones, con potencialidad semejante, se tendrá que cuidar especialmente la distancia entre aerogeneradores.

Influencia del terreno

La topografía del terreno, en el que se pretende instalar un parque eólico, es determinante a la hora de situar los aerogeneradores o para la realización de la infraestructura eléctrica y civil. Algunos aspectos a tener en cuenta son :

- El efecto de la rugosidad del terrenos y los cambios de la misma.
- El efecto de los obstáculos y del relieve.
- La interferencias entre aerogeneradores combinada con la variación de la dirección del viento predominante.

Un terreno llano con rugosidad superficial uniforme es el tipo de terreno más simple para colocar las máquinas. En el caso de que no halla obstáculos (p.e. edificios, árboles o colinas), la velocidad del viento a una altura dada es aproximadamente la misma sobre toda el área.

Para incrementar la potencia disponible en terreno uniforme se levantará la máquina a la mayor altura posible desde el nivel del suelo.

Influencias de los aerogeneradores

Los aerogeneradores que existen en el mercado son de muy variadas prestaciones y no todos se comportan de la misma manera ante las mismas condiciones de viento, es por ello que ha de realizarse una preselección a grosso modo que permita desechar a aquellos, que de forma evidente no se adapten a los requerimientos del viento en el parque en diseño.

La influencia de los aerogeneradores en la producción eléctrica del parque vendrá determinada por la velocidad de viento que le llega a cada aerogenerador, el aerogenerador en sí, la altura de su torre y la distancia entre aerogeneradores.

La energía capturada en un aerogenerador va a depender de la curva de potencia del mismo. Por ello se debiera elegir aquel cuya potencia máxima se consiga a una velocidad lo más cercana posible a la media del emplazamiento. En general la utilización de rotores de mayor tamaño significa, para una misma velocidad de viento y potencia, capturar una mayor energía.

La altura de la torre, que vendrá condicionada por el tamaño del rotor, influirá notablemente en la producción energética.

En relación a la distancia entre aerogeneradores, es frecuente encontrar separaciones entre rotores comprendidas entre 1.5 y 3 veces su diámetro. En general la distancia entre turbinas dependerá de la disponibilidad del terreno y las direcciones predominantes de viento. De este modo las menores distancias entre turbinas corresponderán a lugares con vientos muy localizados en una determinada dirección.

Los criterios básicos de selección del tipo de aerogeneradores se pueden resumir en los siguientes:

- Rango de potencias máximas.
- Tipo de paso (fijo o variable).
- Tipo de generadores (síncronos o asíncronos).
- Velocidad nominal
- Fiabilidad de la máquina.

Otros parámetros a tener en cuenta son:

- Posición del eje (vertical u horizontal)
- Diámetro del rotor.
- Altura al eje del rotor (altura de la torre).

Influencia de la red eléctrica

La definición del punto de entrega de la energía y las características de la interconexión, la capacidad de la línea existente para transportar la nueva energía suministrada, la tensión de cortocircuito en el punto de entronque, etc, son datos de vital importancia que deben conocerse antes de considerar la realización del proyecto, ya que en algunos casos pueden incluso condicionar la viabilidad del mismo.

Cuando de lo que se trata es de conectar una gran instalación eólica, tipo parque eólico de gran dimensión (con varios MW de potencia instalada), se precisarán dos niveles de transformación. El primero elevará la tensión de salida de los aerogeneradores hasta la tensión de distribución interna de la instalación (media tensión), agrupando para cada transformador a varios aerogeneradores. El segundo nivel centralizará en una subestación cercana las líneas de distribución internas de media tensión elevándola, en dicha subestación, de media a alta tensión. La energía eléctrica generada por la instalación ya transformada a la tensión de transporte será enviada a una subestación mas alejada que controle y gestione la distribución convencional de energía eléctrica por parte de la Compañía eléctrica.

5 CONSIDERACIONES GENERALES DE LA ENERGÍA EÓLICA

5.1 Consideraciones Socio – Económicas

Los costes de inversión han experimentado una reducción muy notable en los últimos años. Según cálculos realizados, el precio final de la energía eléctrica de origen eólico en buenos emplazamientos es comparable a la producida en plantas termoeléctricas nuevas, en las que se empleen los sistemas de limpieza de gases adecuados. En general se señala la energía eólica como la más barata, si se consideran costes externos de producción eléctrica por medios convencionales.

Las alteraciones que las instalaciones eólicas producen en el medio socioeconómico son muy positivas, tanto a nivel local, como regional e incluso

nacional. Las razones fundamentales se deben a que se generan puestos de trabajo (directos e indirectos) con alto nivel de cualificación profesional además de no producir por su carácter limpio la emisión de contaminantes en la producción energética.

Otra ventaja de la energía eólica es su compatibilidad con otras actividades humanas, debido a su escasa ocupación real de terreno.

5.2 Desarrollo Sostenible

Desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras. En el aspecto energético, un desarrollo sostenible implica la consideración de tres puntos:

- Disponibilidad de recursos existentes
- Estado actual de la Tecnología
- Capacidad de absorber las consecuencias y modificaciones de los procesos, por parte de la biosfera.

Estudiando las reservas existentes y estimando las que quedan por descubrir, en lo que respecta a fuentes de energía convencionales, se observa que los hábitos actuales de consumo reducen drásticamente las posibilidades futuras de disponer de fuentes de energía suficientes.

5.3 Planificación Energética

Para realizar un desarrollo sostenible equitativo es preciso garantizar un suministro energético sin que ocurran sucesos no programados que alteren los planes previstos, para lo cual es fundamental la disponibilidad o no de forma continua de energía.

Que la solución sea una política basada exclusivamente en la oferta de energía es absurdo y descabellado, ya que debe estar compuesta por un doble término: una planificación energética de adecuación de la demanda y un mejor aprovechamiento de los recursos, y una política de oferta diversificada con proyección de futuro. Por tanto, las bases de esta política serían:

- Mejora de la eficiencia energética
- Aprovechamiento de fuentes de energías renovables
- Limitación de las emisiones en los procesos de transformación de energía

El objetivo es diseñar un sistema que permita alcanzar el equilibrio entre fuentes de energía para la cobertura de las demandas presentes y futuras, totalmente respetuoso con el medioambiente y con los recursos existentes.

5.4 Condicionantes de las Energías Renovables

Las condiciones previas necesarias y suficientes para que un sector energético pueda formar parte de la oferta pueden desglosarse en:

- Madurez tecnológica, industrial y comercial
- Disponibilidad y recursos
- Competitividad económica
- No existencia de condicionantes externos para su aplicabilidad

5.5 Consideraciones Medioambientales

El efecto positivo que supone la generación eléctrica con energía eólica queda reflejada en primer termino en los nulos niveles de emisiones gaseosas emitidas, en comparación con las producidas en centrales térmicas. Esto afecta tanto a elementos contaminantes como dióxido de azufre, partículas, etc. .. como a la emisión de CO₂, que en este caso es inexistente. Hay que tener en cuenta que, actualmente, el problema ambiental más irresoluble es precisamente la reducción de emisiones de CO₂; mientras que existen procedimientos operativos para reducir los niveles de SO₂ y NO_x, no existe tecnología para reducir los de CO₂.

En Europa, aproximadamente un tercio de las emisiones de CO₂ provienen de fuentes de generación eléctrica. Por cada 1% que se reemplace con energía eólica, se produce una reducción del 0,3% en las emisiones de dióxido de carbono.

Los impactos medioambientales dependen fundamentalmente del emplazamiento elegido para la instalación, de su tamaño y de la distancia a las zonas de concentración de población. Posiblemente, el único impacto negativo es el visual y tiene un carácter muy subjetivo.

5.6 Efectos en el entorno

Las principales alteraciones que se dan como consecuencia de la instalación de turbinas eólicas son:

- impacto sobre las aves
- impacto visual
- ruido
- erosión
- otros (interferencias electromagnéticas, efecto sombra, etc.)

5.6.1 Impacto sobre la Avifauna

Los estudios realizados concluyen en que este impacto es muy pequeño frente al producido por causas naturales. En este sentido debe resaltarse que la mortalidad de las aves, fundamentalmente planeadoras, se produce por

colisión y por electrocución, siendo esta última causa la más importante. Exceptuado las aves planeadoras, el peligro de choque en el caso de la avifauna es relativamente bajo, ya que los pájaros aprenden a evitar los obstáculos existentes en su propio territorio.

La colisión no suele producirse contra los aerogeneradores, ya que las aves se acostumbran rápidamente a ellos y a su movimiento; incluso las aves migratorias desvían su trayectoria cuando el parque eólico se encuentra en dirección de su vuelo. Este impacto se aprecia con mayor intensidad cuando la colisión se produce contra las líneas aéreas, especialmente en condiciones de baja visibilidad, debiendo minimizarse o anularse mediante la instalación de elementos de fácil visibilidad, situados alrededor del cable (tubos de polietileno, cintas de plástico, bolas de plástico, etc.).

El peligro significativo de un parque eólico es muy pequeño en comparación con otras causas de muertes de aves, como tendidos eléctricos, carreteras, caza ilegal, etc. En un reciente estudio danés se demostró que, en lo que respecta a la colisión, una línea de turbinas de 1 Km de largo causa a las aves un daño comparable a una autovía o autopista de la misma longitud y, en determinadas circunstancias, sería un 90% menos dañina que una línea de 1 Km de alto voltaje.

5.6.2 Impacto visual

Es el impacto menos cuantificable y menos investigado en relación con otra clase de disturbios medioambientales. El impacto visual de estas instalaciones depende de criterios fundamentalmente subjetivos: un parque de unos pocos aerogeneradores puede llegar a ser incluso atractivo, pero una gran concentración de máquinas obliga a considerar el impacto visual y la forma de disminuirlo.

Los elementos característicos de una instalación eólica que producen este tipo de impacto son: aerogeneradores, casetas, líneas eléctricas y los accesos a la instalación. Los aerogeneradores suelen minimizar su impacto mediante colores y formas atractivas.

La edificación suele posicionarse en una zona no muy visible a cierta distancia, sirviéndose de la orografía existente y empleando el cromatismo más adecuado para asemejarse a las construcciones de la zona de implantación en cuanto al color y a las formas.

Las líneas aéreas, al tener su trazado una altura menor al de los aerogeneradores disminuyen su impacto cuando son trazadas en paralelo con la alineación de éstos, debiendo enterrarse en algunos tramos cuando se separa de ellos.

Los accesos minimizan su impacto evitando al máximo posible el movimiento de tierras necesario, recuperando inmediatamente el cubriente vegetal afectado y autorizándose el paso solo al personal de explotación de las instalaciones.

5.6.3 *Impacto del ruido*

El origen del ruido en los aerogeneradores se debe a factores de tipo mecánico producidos por el tipo de multiplicador y generador, el ventilador del generador y los tratamientos superficiales, la calidad de los mecanizados, y factores de tipo aerodinámico producidos por la velocidad de giro del rotor, el material del que están fabricadas las palas, el de espacio existente entre el larguero de las palas y su superficie aerodinámica, la velocidad del viento y la turbulencia del mismo.

En nuestro país, teniendo en cuenta que los parques se hallan suficientemente alejados de la población más cercana, no representa molestia real.

5.6.4 *Impacto en la Flora y Erosión*

La influencia es muy escasa, siendo los impactos de erosión producidos principalmente en la fase de construcción del parque. Los más importantes se deben al movimiento de tierras en la preparación de los accesos, mientras que otras causas de impacto suelen ser, aunque con menor intensidad, la realización de cimentaciones para los aerogeneradores y la construcción de edificios de control.

5.6.5 *Impacto en el Terreno*

Los requerimientos de espacio de una instalación eólica son importantes, debido a que las turbinas tienen que colocarse siguiendo determinados parámetros, tanto en alineación como en separación, para minimizar los efectos de interferencia aerodinámica.

Las estructuras de un parque eólico ocupan sólo el 1% del área mencionada, al contrario que, por ejemplo, la energía solar fotovoltaica. De hecho, los aerogeneradores sólo ocupan un 0,2% del terreno, mientras que el 0,8 restante tiene que ver con áreas de servicio y enlaces de carreteras. Por tanto, una vez terminadas las labores de construcción, un 99% de la tierra puede seguirse utilizando para agricultura, ganadería y diversas edificaciones, o permanecer como hábitat natural.