

El origen del viento

El viento se puede definir como una corriente de aire resultante de las diferencias de presión en la atmósfera provocadas, en la

mayoría de los casos, por variaciones de temperatura, debidas a las diferencias de la radiación solar en los distintos puntos de la

Tierra. La circulación de las masas de aire se debe a la acción resultante de las fuerzas de rozamiento, de presión, gravitacional

y de rotación de la Tierra, que inducen dos tipos de circulación del aire en la atmósfera:

Circulación planetaria: debida a la incidencia de los rayos solares sobre la Tierra y a la rotación de ésta, varía según la

zona y la época del año

Circulación a pequeña escala: viene determinada por la orografía del terreno, como las montañas y la presencia del mar

En definitiva, se puede considerar que las variables que definen el régimen de vientos en un punto determinado son:

Situación geográfica

Características climáticas

Estructura topográfica

Irregularidades del terreno

Altura sobre el nivel del suelo

siendo su estudio de gran importancia a la hora de acometer el diseño de un dispositivo que sea capaz de aprovechar la energía que contiene el viento.

La energía del viento

Sólo un 2 % de la energía solar que llega a la Tierra se convierte en energía eólica y por diversos motivos, sólo una pequeña parte de esta energía es aprovechable.

A pesar de ello, se ha calculado que el potencial energético de esta fuente de energía es unas 20 veces el actual consumo mundial de energía, lo que hace de la

energía eólica una de las fuentes de energía renovables de primera magnitud.

La energía del viento es de tipo cinético (debida a su movimiento); ello hace que la potencia obtenible del mismo dependa de forma acusada de su velocidad, así

como del área de la superficie captadora. Así, todas las máquinas que ha construido el hombre para obtener el mayor rendimiento posible de la energía del viento se

basan en frenar el viento por medio de algún dispositivo colocado en su camino, como queda patente al hacer un breve repaso histórico del aprovechamiento de la

energía eólica.

Breve historia del aprovechamiento eólico

La primera máquina eólica conocida por la historia aparece en el año 1700 a.C. en Babilonia, usándose para bombear agua, aunque parece que en la antigua Persia

se utilizaban ya molinos de eje vertical para moler grano.

Hasta el siglo X no es posible encontrar documentos que mencionen los molinos de viento como práctica generalizada, pero a partir del siglo XI, aparecen en la

zona mediterránea molinos con rotores a vela (Figura 3.1), que derivan en los típicos molinos manchegos y mallorquines, probablemente por influencias llegadas de

Europa, cuya característica era el rotor de cuatro aspas de entramado de madera recubierto de tela (Figura 3.2).

Aunque la evolución en la historia de los molinos de viento transcurre de forma continua, a finales de la Edad Media las innovaciones y las

aplicaciones de las máquinas eólicas se producen con rapidez. Entre la segunda mitad del siglo XVIII y la segunda mitad del XIX, los

molinos de viento europeos alcanzan su más alto nivel de perfeccionamiento, dentro de las limitaciones de la tecnología artesanal. Los

sistemas de orientación y regulación se ven completados por mecanismos internos, convirtiendo los molinos de viento en factorías

mecanizadas con un alto grado de automatización.

En la segunda mitad del siglo XIX aparece una nueva generación de máquinas eólicas, con una concepción de diseño diferente: el "multipala

americano" (Figura 3.3) abrió el camino hacia mejoras en el rendimiento de estas máquinas, que no se produjo realmente hasta principios del

siglo XX, cuando se aplicaron al diseño de los rotores las teorías aerodinámicas para usos aeronáuticos.

A lo largo del siglo XX, las aplicaciones basadas en el aprovechamiento del viento fueron declinando, a medida que se hacía más popular el uso del petróleo. Sin

embargo, la crisis energética ha iniciado de nuevo un período en el campo del aprovechamiento eólico, habiéndose elaborado innumerables programas de estudio

que han centrado su interés en dos grandes aspectos:

Elaboración de mapas eólicos y localización de emplazamientos

Cálculo, diseño y construcción de plantas de gran potencia

Paralelamente se ha pretendido crear incentivos que motiven a la iniciativa privada a fabricar y comercializar pequeñas máquinas de funcionamiento autónomo, que

permitan cubrir las necesidades de explotaciones agrícolas o industriales situadas en zonas apartadas.

Máquinas eólicas

Una máquina eólica es cualquier dispositivo accionado por el viento. Si se utiliza directamente la energía mecánica, será un aeromotor, y si se acciona un generador

eléctrico, se tratará de un aerogenerador.

Los elementos de que consta una máquina eólica son los siguientes:

Soportes

Sistema de captación

Sistema de orientación

Sistema de regulación

Sistema de transmisión

Sistema de generación

El estudio de cada uno de estos elementos permitirá conocer las bases para el diseño y la construcción de estas máquinas.

Las máquinas eólicas se han de colocar sobre un soporte que resista el empuje del viento y que permita elevarla lo suficiente para evitar las turbulencias debidas al

suelo o a los obstáculos cercanos. Se pueden distinguir dos tipos de soportes:

Autoportantes: torres de estructura metálica, de hormigón o tubulares

Atirantados: estructuras unidas al suelo por cables tensados que permiten, en las máquinas pequeñas, abatir la máquina para su mantenimiento o reparación

El sistema de captación o "rotor" es el elemento principal de una máquina eólica. Está compuesto por cierto número de "palas" y su misión es

transformar la energía del viento en energía mecánica utilizable. Existe gran variedad de rotores, mostrándose en la Figura 3.4 algunos ejemplos

de rotores, tanto de eje horizontal (Figura 3.4–a) como de eje vertical (Figura 3.4–b).

Los parámetros principales de un rotor son los siguientes:

Velocidad típica de giro: relación entre la velocidad de la punta de la pala y la velocidad del viento, permite su clasificación en rotores

lentos (velocidad típica próxima a 1) o rápidos (velocidad típica de 5 a 8)

Rendimiento aerodinámico: también llamado "coeficiente de potencia", expresa la fracción de la energía del viento que se transforma en energía mecánica; su

valor oscila entre el 20 y el 40 %, dependiendo de las siguientes características geométricas de las palas:

Longitud

Perfil, o forma del borde de ataque de la pala contra el viento

Calaje, o ángulo de ataque de la pala contra el viento

Anchura

Por otra parte, el material utilizado en las palas tiene gran importancia, ya que debe ser rígido, ligero y barato. En los últimos años se han ensayado tanto la madera,

diversas aleaciones metálicas y polímeros de resinas plásticas, habiendo dado estos últimos muy buenos resultados, con una considerable reducción de los costes de

la pala.

Los sistemas de orientación sólo son necesarios en las máquinas eólicas de eje horizontal y constan de un mecanismo que detecta la dirección del viento y sitúa el

rotor en su misma dirección.

Para máquinas de pequeña y mediana potencia (menor de 50 kW), cuyo rotor está situado cara al viento, el dispositivo más adecuado suele ser una cola (Figura

3.5), superficie plana situada en el extremo de un soporte unido al cuerpo del aeromotor. También se utilizan rotores auxiliares (Figura 3.6), dos pequeñas hélices

tras el rotor y en dirección perpendicular al mismo, sobre las que sólo actúa el viento cuando el rotor no está orientado.

Las máquinas mayores, cuyo rotor suele estar situado detrás de la torre, utilizan para su orientación el efecto de conicidad (Figura 3.7), basado en una leve

inclinación de las palas hacia detrás. Finalmente, en las grandes máquinas, se dispone de motores auxiliares, que funcionan de forma automática orientando el rotor

en la dirección adecuada.

Los sistemas de regulación tienen por objeto controlar la velocidad de rotación, evitando las fluctuaciones producidas por la velocidad del viento. Los sistemas

más sencillos operan sólo con vientos muy fuertes, frenando el rotor; los más elaborados adaptan la máquina a cualquier condición de viento y de potencia.

El sistema de regulación más sencillo es el de "puesta en bandera" (Figura 3.8), que produce un frenado al situar el rotor paralelo al viento; el rotor es devuelto a su

posición normal cuando la velocidad del viento disminuye.

El sistema de paso variable es probablemente la forma de regulación más eficaz y actúa variando el ángulo de ataque de las palas, lo que hace variar el rendimiento

aerodinámico y, en consecuencia, la potencia absorbida. Esto se lleva a cabo con ayuda de diversos mecanismos, que varían según el tamaño y características de la

máquina eólica y un ejemplo de los cuales se muestra en la Figura 3.9.

No sólo se puede regular la velocidad de giro de la máquina actuando sobre el rotor; también se puede actuar sobre el eje motor, realizándose el control de la

potencia mediante el frenado del mismo. El freno puede ser de zapatas, de disco o de tipo electromagnético y puede actuar por distintos mecanismos. Aunque este

sistema tiene que realizar esfuerzos mayores, posee la ventaja de ser más sencillo y de encontrarse ya comercializado, hecho que disminuye considerablemente sus

costes.

Para poder aprovechar la energía mecánica obtenida en el rotor es necesario un sistema de transmisión. La energía mecánica se puede

transmitir como tal o mediante poleas, engranajes o utilizando un sistema cig(eñal–biela. Cuando se desea generar energía eléctrica es

necesario primero aumentar la velocidad de giro del rotor, que suele ser inferior a las 200 rpm, antes de accionar el generador. Ello se

logra con un multiplicador, que puede ser de diferentes tipos. Se logran así velocidades de giro de varios miles de revoluciones por minuto,

que permiten accionar generadores eléctricos.

Los sistemas de generación se utilizan en las máquinas eólicas para producir energía eléctrica, forma de energía preferible a la mecánica,

debido a la facilidad en su manipulación y transporte así como a la versatilidad que presentan sus aplicaciones posteriores. El sistema

eléctrico de un aerogenerador está condicionado por la velocidad de operación del rotor y por el uso que se le dé a la energía obtenida.

Los generadores que transforman la energía mecánica en eléctrica pueden ser dinamos o alternadores.

La dinamo es una máquina eléctrica sencilla que produce corriente continua y es capaz de proporcionar potencia a escasas revoluciones, con lo que a veces se

puede prescindir de la etapa previa de multiplicación. Normalmente, la corriente eléctrica producida por una dinamo se almacena como tal en un sistema de

acumulación de baterías.

Los alternadores generan corriente alterna y para una misma potencia son más ligeros, baratos y de mayor rendimiento que las dinamos, pero trabajan a elevado

número de revoluciones, por lo que necesitan un multiplicador.

Diseño de instalaciones eólicas

En el diseño de una instalación eólica es necesario considerar tres factores:

El emplazamiento

El tamaño de la máquina

Los costes

El emplazamiento elegido para instalar la máquina eólica ha de cumplir dos condiciones: el viento ha de soplar con regularidad y su

velocidad ha de tener un elevado valor medio. Se hace necesario, por tanto, disponer de una información meteorológica detallada sobre la

estructura y distribución de los vientos. Las mediciones estadísticas deben realizarse durante un período mínimo de tres años, para poder

obtener unos valores fiables, que una vez procesados permiten elaborar:

Mapas eólicos: proporcionan una información de ámbito global del nivel medio de los vientos en una determinada área geográfica,

situando las zonas más idóneas bajo el punto de vista energético

Distribuciones de velocidad: estudio a escala zonal de un mapa eólico, que proporciona el número de horas al año en que el viento

tiene una dirección y una velocidad determinadas

Perfiles de velocidad: variación de la velocidad del viento con la altura respecto al suelo, obtenido por un estudio puntual

Las medidas necesarias para obtener los parámetros indicados se hacen con diversos aparatos, más o menos sofisticados, pero que están basados principalmente

en el funcionamiento del anemómetro (medidor de la velocidad del viento).

En resumen, la elección del emplazamiento de una máquina eólica es un elemento determinante para su explotación, y depende de forma casi total del potencial

eólico de la zona, aunque el tamaño de la máquina también suele influir en la decisión final.

El tamaño de la máquina condiciona fuertemente los problemas técnicos. En el caso de las grandes plantas eólicas, el objetivo

principal es conseguir unidades tan grandes como sea posible, con el fin de reducir los costes por kW obtenido, pero las

grandes máquinas presentan problemas estructurales que sólo los puede resolver la industria aeronáutica. Para las pequeñas

aeroturbinas, el problema es diferente; el objetivo técnico principal es la reducción de su mantenimiento, ya que su aplicación

suele estar dirigida a usos en zonas aisladas.

Se observa, pues, que el criterio de elección del tamaño de la máquina eólica es su coste, aunque hay que contemplar asimismo

su aplicación. Así, si se desea producir energía eléctrica para distribuir a la red, es lógico diseñar una planta eólica mediana o grande, mientras que si se trata de

utilizar esta energía de forma aislada, será más adecuado la construcción de una máquina pequeña, o acaso mediana.

Finalmente, el tamaño de la planta eólica determina el nivel de producción y, por tanto, influye en los costes de la instalación, dentro de los que cabe distinguir entre

el coste de la planta (coste por kW) y el coste de la energía (coste por kW.h).

En las plantas de gran potencia el coste de la instalación presenta economía de escala: hasta ciertos límites tecnológicos, cuanto mayor sea la instalación, menor será

su coste por kW. Sin embargo, el coste de la energía depende de diferentes factores variables.

En las pequeñas máquinas eólicas, el coste de instalación es difícil de determinar, principalmente debido a que se ve muy afectado por el volumen de fabricación, y

éste depende del mercado. Por su parte, el coste de la energía es muy superior al precio de la energía convencional. Sin embargo, la rentabilidad de las pequeñas

máquinas puede resultar positiva si se tiene en cuenta su ámbito de aplicación, lugares aislados donde el coste de la energía de la red es muy superior al coste en los

grandes centros de consumo, una vez añadidos los gastos de instalación de la línea.

Aplicaciones de la energía eólica

Las aplicaciones de la energía eólica se pueden clasificar, según su ámbito, como aplicaciones centralizadas,

caracterizadas por la producción de energía eléctrica en

cantidades relativamente importantes, vertidas directamente a la red de distribución, o aplicaciones autónomas, dentro de las que cabe distinguir el uso directo de la

energía mecánica o su conversión en energía térmica o eléctrica.

En el marco de las aplicaciones centralizadas, en las que siempre será necesario que la potencia base de la red la proporcione una fuente de energía más estable,

cabe destacar dos grandes tipos de instalaciones eólicas:

Aerogeneradores de gran potencia: se están llevando a cabo experiencias con aerogeneradores en el rango de potencias de los MW con grandes esperanzas,

ya que la potencia que se podría instalar sería muy grande

Parques eólicos: se trata de centrales eólicas formadas por agrupaciones de aerogeneradores de mediana potencia (alrededor de 100 kW) conectados entre

sí, que vierten su energía conjuntamente a la red; la generalización de estas instalaciones contribuiría a una importante producción de electricidad de origen

eólico en el futuro

Por su parte, las aplicaciones autónomas de máquinas eólicas de pequeña potencia pueden ser rentables en muchos casos, según las

condiciones eólicas y las características concretas de las diferentes alternativas que se comparen. Las posibilidades que existen en este

ámbito se pueden dividir en tres grupos, según el tipo de energía utilizada en cada caso:

Energía mecánica: aplicación inmediata en el bombeo de agua por medio de bombas de pistón, de tornillo helicoidal o centrífugas

Energía térmica: obtenible a partir de la energía mecánica bien por calentamiento de agua por rozamiento mecánico, o bien por

compresión del fluido refrigerante de una bomba de calor

Energía eléctrica: aplicación más frecuente, pero que obliga a su almacenamiento o a la interconexión del sistema de generación

autónomo con la red de distribución eléctrica

En resumen, las aplicaciones de la energía eólica de forma autónoma están basadas principalmente en las necesidades de pequeñas comunidades o de tareas agrícolas, pudiendo sintetizarse en los siguientes puntos:

Bombeo de agua y riego

Acondicionamiento y refrigeración de almacenes

Refrigeración de productos agrarios

Secado de cosechas

Calentamiento de agua

Acondicionamiento de naves de cría de ganado

Alumbrado y usos eléctricos diversos

Asimismo resulta de interés el empleo de aerogeneradores para repetidores de radio y televisión, estaciones meteorológicas e instalaciones similares, situadas lejos

de las redes eléctricas. En estos casos hay que prever normalmente un sistema de acumulación por baterías para hacer frente a las posibles calmas.

Posibilidades para las aplicaciones eólicas en España

En España, los trabajos en el campo de la energía eólica han comenzado en años muy recientes. Así, en el año 1979, el Centro de Estudios

de la Energía promovió una serie de estudios encaminados a la construcción de una planta experimental de 100 kW. El proyecto se inició

con un estudio previo de los recursos eólicos realizado en el Instituto de Técnica Aeroespacial (INTA). Como consecuencia de estos

trabajos previos, se decidió construir la planta experimental en Punta de Tarifa (Cádiz), pasándose en 1983 a la segunda fase del proyecto,

consistente en las pruebas de la máquina.

Desde esa fecha hasta contar en 1992 con el mayor parque eólico de Europa se ha recorrido un difícil camino: de los 0,5 MW instalados

en 1986 se pasó a los 45 MW en 1992, año en que se instalaron 38 MW. Ello supuso el paso definitivo para la consideración de la

energía eólica como un tipo plenamente en fase comercial, con unos niveles de fiabilidad en el suministro similares a los de cualquier otra

área energética. Desde entonces, la energía eólica en España está creciendo a un ritmo superior a la media de la unión Europea. De hecho,

a finales de 1996 habían instalados 210 MW eólicos y, de cumplirse las previsiones de los proyectos en ejecución, sólo en 1997 se

habrían instalado otros 320 MW.

Todo ello no sólo se explica por ser el potencial eólico español claramente uno de los más importantes de

Europa, sino que las inversiones realizadas en los últimos

años han logrado crear una infraestructura empresarial de fabricantes (aerogeneradores, palas, torres, generadores, transformadores), suministradores (equipos

eléctricos, de regulación y de control), empresas de construcción mecánica, instaladores e ingenierías, que han permitido esta fuerte expansión actual.