

ENERGÍA EÓLICA

1

Introducción

La energía eólica tiene su origen en el viento, es decir, en el aire en movimiento. El viento se puede definir como una corriente de aire resultante de las diferencias de presión en la atmósfera (*se mueve desde las zonas de altas presiones a las de bajas presiones*) 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.

Las variables que definen el régimen de vientos en un punto determinado son:

- 1 Situación geográfica
- 2 Características climáticas
- 3 Estructura topográfica
- 4 Irregularidades del terreno
- 5 Altura sobre el nivel del suelo



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, si se admite que sólo se puede aprovechar un 10% de la energía eólica disponible a nivel del suelo, (*unos 1,21014 W*) se ha calculado que el potencial energético de esta fuente de energía es unas varias 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); lo que hace que la potencia obtenida del mismo dependa de forma acusada de su velocidad, así como del área de la superficie captadora.



Desde hace siglos el ser humano ha aprovechado la energía eólica para diferentes usos: molinos, transporte marítimo mediante barcos de vela, serrerías,... pero es en la actualidad cuando su uso es casi exclusivo para la obtención de electricidad.

Las máquinas eólicas encargadas de este fin se llaman **aerogeneradores, aeroturbinas o turbinas eólicas**. En definitiva, los aerogeneradores transforman la energía mecánica del viento en energía eléctrica.

1. Aerogeneradores: Funcionamiento, tipos y constitución.

1.1. Funcionamiento

Son máquinas que transforman la energía eólica en eléctrica o mecánica. Los aerogeneradores deben situarse en zonas geográficas favorables, eligiéndose cuidadosamente los emplazamientos con objeto de obtener la máxima energía del viento. Como la velocidad del viento aumenta con la altura, el rotor del aerogenerador se ha de situar lo más alto posible.

El funcionamiento es el siguiente: el viento incide sobre las palas del aerogenerador y lo hace girar, este movimiento de rotación se transmite al generador a través de un sistema multiplicador de velocidad. El generador producirá corriente eléctrica que se deriva hasta las líneas de transporte. Para asegurar en todo momento el suministro eléctrico, es necesario disponer de acumuladores.

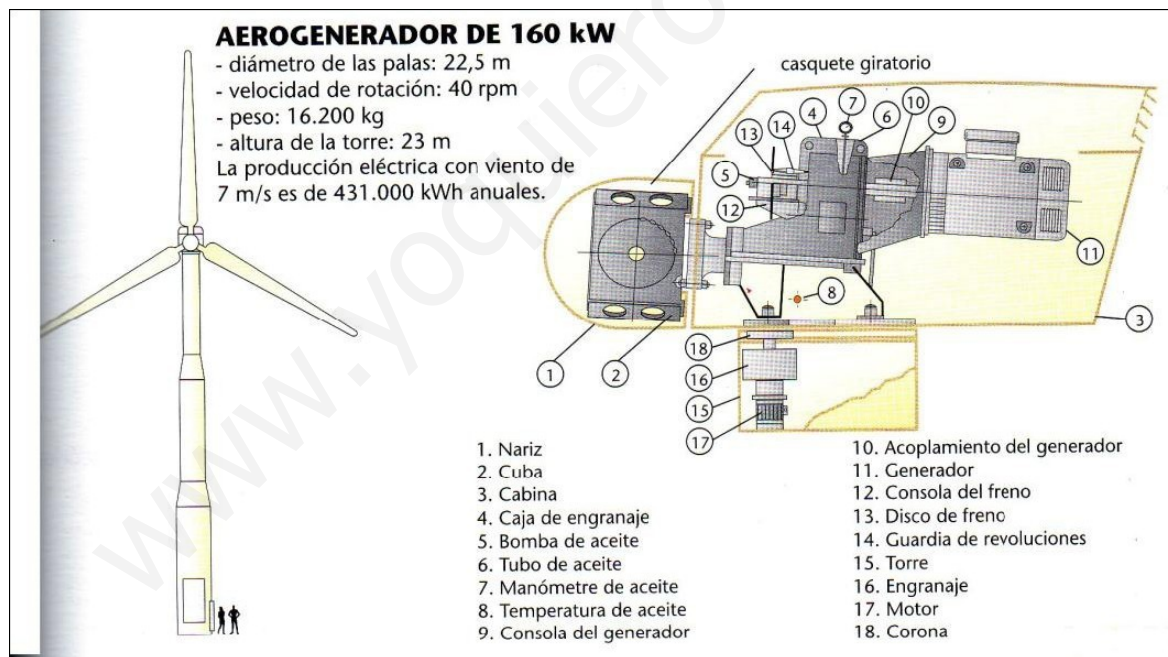
1.2. Tipos

Existen dos tipos diferentes de aerogeneradores, los de **eje horizontal** y los de **eje vertical**
Hay diferentes aerogeneradores:

1. **Aerogeneradores de eje horizontal:** son los más utilizados y desarrollados desde el punto de vista técnico y comercial. Deben mantenerse paralelos al viento, lo que exige una orientación previa, de modo que éste incida sobre las palas y haga girar el eje. Estos aerogeneradores pueden ser:
 - 2 - De potencia baja o media (0.5 a 50 kW): Suelen tener muchas palas (hasta veinticuatro). Se utilizan en el medio rural y como complemento para viviendas.
 - 3 - De alta potencia (más de 50 kW): Suelen tener como máximo cuatro palas de perfil aerodinámico, aunque normalmente tienen tres. Necesitan vientos de entre 5 m/s (*actualmente hay modelos que han reducido a 2,5m/s*) y 25 m/s (*actualmente hay modelos que han aumentado a 28-30m/s*). Tiene uso industrial, disponiéndose en parques o centrales eólicas. Actualmente, uno de los mayores aerogeneradores fabricados es el E-112, de la compañía ENERCON, con 6 MW de potencia nominal, 114m de diámetro y 124m de altura

El viento debe incidir perpendicularmente a la superficie del disco que forman las palas. Para orientar las palas se usan **veletas** y **motores** controlados por ordenador, el cual recibe información de la veleta acerca del viento.

Este tipo de aerogeneradores, pueden ser orientados a **barlovento** (el rotor está orientado de frente a la dirección dominante), o a **sotavento** (el viento dominante incide por la parte trasera del rotor). Los más eficientes, y por lo tanto los más utilizados, son los orientados a barlovento que, aunque necesitan un sistema de orientación hacia el viento, no tienen pérdidas por la estructura de la torre y la góndola. Algunos de pequeño tamaño son de tipo sotavento y orientación por veleta.

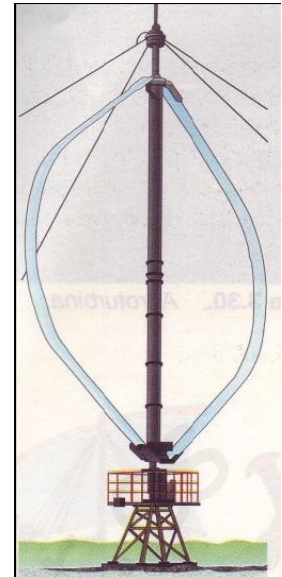
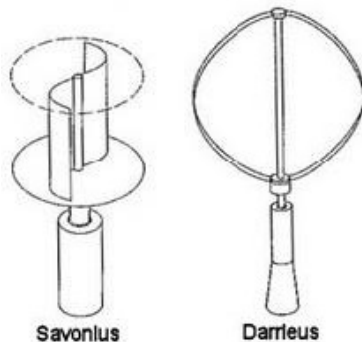


1. **Aerogeneradores de eje vertical:** Su desarrollo tecnológico está menos avanzado que los anteriores y su uso es escaso, aunque tiene perspectivas de crecimiento. No necesitan orientación y ofrecen menos resistencia al viento. Se usan en baja potencia.

El funcionamiento de este tipo de aerogeneradores es similar al de los de eje horizontal. El viento incide sobre las palas del aerogenerador y lo hace girar, este movimiento de rotación se transmite al generador a través de un sistema multiplicador de velocidad. El generador producirá corriente eléctrica que se deriva hasta las líneas de transporte. Para asegurar en todo momento el suministro eléctrico, es necesario disponer de acumuladores.

Existen dos tipos:

- 1 a) Aerogenerador Savonius.- Formada por dos
- 2 semicilindros iguales. Se llama así por
- 3 su inventor.
- 4 b) Aerogenerador Darrieus.- Está formada por palas
- 5 biconvexas y se llama así por su
- 6 inventor.



- 1 3. *Aerogeneradores marinos (offshore)*: También son aerogeneradores de eje horizontal,
- 2 pero con unas características especiales de tamaño y cimentación.

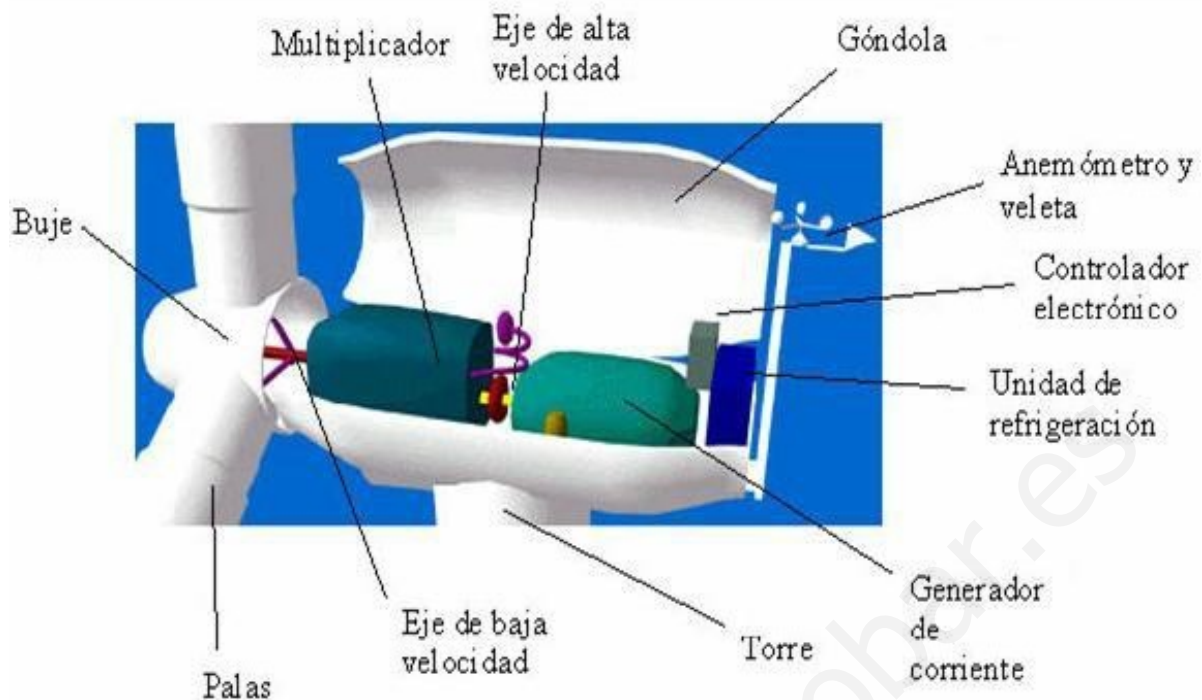
Para una explicación más detallada, accede a la infografía de Eroski:

http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2010/06/30/194066.php

1.3. Constitución

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

- 1 Soportes (torres o tirantes)
- 2 Sistema de captación (rotor)
- 3 Sistema de orientación
- 4 Sistema de regulación (controlan la velocidad de rotación)
- 5 Sistema de transmisión (ejes y multiplicador)
- 6 Sistema de generación (generador)



www.windpower.org

Torre

Es el elemento de sujeción y el que sitúa el rotor y los mecanismos que lo acompañan a la altura idónea. Está construida sobre una base de hormigón armado (**cimentación**) y fijado a ésta con pernos. La torre tiene forma tubular y debe ser suficientemente resistente para aguantar todo el peso y los esfuerzos del viento, la nieve, etc. En su base está generalmente el **armario eléctrico**, a través del cual se actúa sobre los elementos de generación y que alberga todo el sistema de cableado que proviene de la góndola, así como el **transformador** que eleva la tensión. Dispone de escalas para acceder a la parte superior.

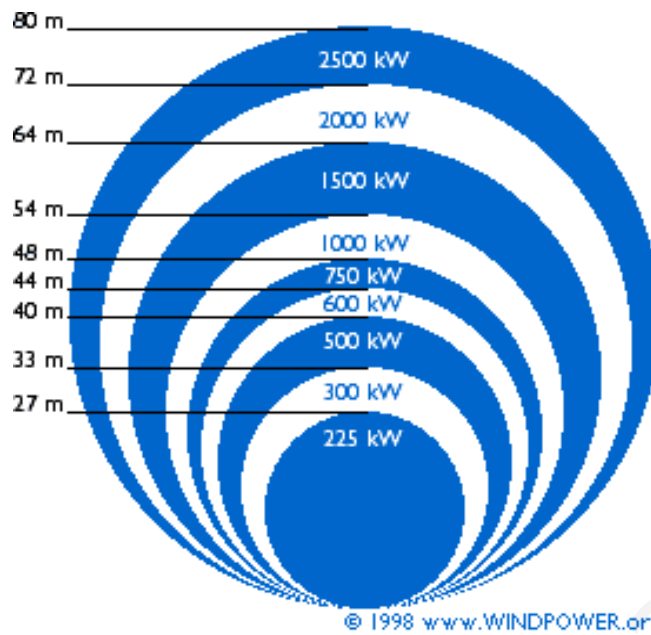
El rotor

Es el elemento que capta la energía del viento y la transforma en energía mecánica. A su vez, el rotor se compone de tres partes fundamentales: **las palas** (que capturan la energía contenida en el viento), **el eje** (que transmite el movimiento giratorio de las palas al aerogenerador) y **el buje** (que fija las palas al eje de baja velocidad).

Las palas son los elementos más importantes, pues son las que reciben la fuerza del viento y se mueven gracias a su diseño aerodinámico. Están fabricadas con plástico (resina de poliéster) reforzado con fibra de vidrio, sobre una estructura resistente, y su tamaño depende de la tecnología empleada y de la velocidad del viento. También podemos encontrar palas que usen fibra de carbono o aramidas (Kevlar) como material de refuerzo, pero normalmente estas palas son antieconómicas para grandes aerogeneradores.

Como vimos anteriormente, la potencia obtenida depende, entre otros factores de la superficie de captación, es decir, del tamaño del rotor.

A continuación se muestra un esquema en el que se puede observar el diámetro del rotor (lo que influye en su área de barrido) en función de la potencia que queramos obtener:



Góndola

Es la estructura en la que se resguardan los elementos básicos de transformación de la energía, es decir: multiplicador, eje del rotor, generador y sistemas auxiliares.

Multiplicador

Es un elemento conectado al rotor que multiplica la velocidad de rotación del eje (unas 50 veces) para alcanzar el elevado número de revoluciones que necesitan las dinamos y los alternadores.

Dentro de los multiplicadores se distinguen dos tipos: los de *poleas dentadas* y los de *engranaje*.

- 1 ☐ *Multiplicadores de poleas dentadas*. Se utilizan para rotores de baja potencia
- 2 ☐ *Multiplicadores de engranaje*. En este tipo de multiplicadores los engranajes están protegidos en cajas blindadas para evitar su desajuste y desengrasado

Aunque la mayoría de los aerogeneradores tienen multiplicador, existen algunos rotores que no lo necesitan.

Sistema hidráulico

Utilizado para restaurar los frenos aerodinámicos del aerogenerador.

Eje de alta velocidad

Gira aproximadamente a 1.500 revoluciones por minuto (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.

Generador

La función del generador es transformar la energía mecánica en energía eléctrica. En función de la potencia del aerogenerador se utilizan **dinamos** (son generadores de *corriente continua* y se usan en aerogeneradores de pequeña potencia, que almacenan la energía eléctrica en baterías) o **alternadores** (son generadores de *corriente alterna*).

Mecanismo de orientación

Activado por el controlador electrónico, que vigila la dirección del viento utilizando la veleta. Normalmente, la turbina sólo se orientará unos pocos grados cada vez, cuando el viento cambia de dirección.

Controlador electrónico

Tiene 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.

Unidad de refrigeración

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

Anemómetro y la veleta

Se utilizan para medir la velocidad y la dirección del viento. Las señales electrónicas del anemómetro son utilizadas por el controlador electrónico del aerogenerador para conectar el aerogenerador cuando el viento alcanza aproximadamente 5 m/s (18 km/h). El ordenador parará el aerogenerador automáticamente si la velocidad del viento excede de 25 m/s (90 km/h), con el fin de proteger a la turbina y sus alrededores. Las señales de la veleta son utilizadas por el controlador electrónico del aerogenerador para girar al aerogenerador en contra del viento, utilizando el mecanismo de orientación.

2. Diseño de las instalaciones

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

- 1 El emplazamiento
- 2 El tamaño de la máquina
- 3 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.

Es necesario 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:

- 1 *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
- 2 *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
- 3 *Perfiles de velocidad*: variación de la velocidad del viento con la altura respecto al suelo, obtenido por un estudio puntual

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.

Según determinados parámetros, elegiremos grandes o pequeñas turbinas para nuestra instalación:

Razones para elegir grandes turbinas

- 1 Criterios económicos. Las máquinas más grandes son capaces de suministrar electricidad a un coste más bajo que las máquinas más pequeñas. La razón es que los costes de las cimentaciones, la construcción de carreteras, la conexión a la red eléctrica, además de otros componentes en la turbina (el sistema de control electrónico, etc.), así como el mantenimiento, son más o menos independientes del tamaño de la máquina.
- 2 Las máquinas más grandes están particularmente bien adaptadas para la energía eólica en el mar (*offshore*).
- 3 En áreas en las que resulta difícil encontrar emplazamientos para más de una única turbina, una gran turbina con una torre alta utiliza los recursos eólicos existentes de manera más eficiente.

Razones para elegir turbinas más pequeñas

- 1 La red eléctrica local puede ser demasiado débil para manipular la producción de energía de una gran máquina, como es el caso de partes remotas de la red eléctrica, con una baja densidad de población y poco consumo de electricidad en el área.
- 2 Hay menos fluctuación en la electricidad de salida de un parque eólico compuesto de varias máquinas pequeñas.
- 3 El coste de usar grandes grúas, y de construir carreteras lo suficientemente fuertes para transportar los componentes de la turbina, puede hacer que en algunas áreas las máquinas más pequeñas resulten más económicas.
- 4 Con varias máquinas más pequeñas el riesgo se reparte, en caso de fallo temporal de la máquina (p.ej. si cae un rayo).
- 5 Consideraciones estéticas en relación al paisaje pueden a veces imponer el uso de máquinas más pequeñas, aunque las máquinas más grandes suelen tener una velocidad de rotación más pequeña, lo que significa que realmente una máquina grande no llama tanto la atención como muchos rotores pequeños moviéndose rápidamente

El **coste**, 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.

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 kWh).

3. Aplicaciones

Energía mecánica: Bombeo de agua y riego

- 1 Energía térmica: Acondicionamiento y refrigeración de almacenes, refrigeración de productos agrarios, secado de cosechas, calentamiento de agua
- 2 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

4. Ventajas e inconvenientes

Ventajas

Es una energía limpia, no emite residuos

Reduce el consumo de combustibles fósiles, por lo que contribuye a evitar el efecto invernadero y la lluvia ácida, es decir, reduce el cambio climático

Es gratuita e inagotable

Contaminación acústica y visual

Inconvenientes

El parque eólico exige construir infinidad de ellas, lo cual es costoso.

La producción de energía es irregular, depende del viento, su velocidad y duración. La instalación sólo puede realizarse en zonas de vientos fuertes y regulares. El terreno no puede ser muy abrupto.

Puede afectar a la fauna, especialmente aves, por impacto con las palas

5. Energía eólica en España

Las zonas de mayor potencial son Canarias, Cádiz, Galicia y el Valle del Ebro, aunque las dos Castillas y Galicia son las comunidades con más potencia instalada. Se usan aerogeneradores con potencias entre 100 kW y 500 kW, típicamente. En la actualidad (2012) existen instalados unos 21.288 MW en toda España.

ANEXO I.- POTENCIA DE ENTRADA Y DE SALIDA PARA UN AEROGENERADOR

La potencia, P , de entrada de un aerogenerador, va a depender de una serie de factores, como son:

- *Velocidad del viento, v (m/s)*
- *Superficie de captación, S (m²)*
- *Densidad del aire, d (kg/m³)*

De la siguiente manera:

$$P = 1/2 \cdot d \cdot S \cdot v^3$$

Obteniendo un valor para la potencia en W

Para obtener la potencia de salida, simplemente debemos tener en cuenta el coeficiente de aprovechamiento.

$$\eta = P_{\text{salida}} / P_{\text{entrada}}$$

PROBLEMAS

- 1 1. Calcula la densidad de potencia que corresponde a un viento de 40 km/h. Justifica si dicho viento es eficaz para mover un aerogenerador. Dato: densidad del viento $1,293 \text{ kg/m}^3$ (Sol: $884,17 \text{ w/m}^2$)
- 1 2. Calcula la potencia útil aprovechada por la hélice de un aerogenerador de 20 m de diámetro cuando el viento sopla a 15 m/s si su coeficiente de aprovechamiento es de 0,35. Dato: densidad del viento $1,293 \text{ kg/m}^3$ (Sol: $2,4 \cdot 10^5 \text{ w}$)
- 1 3. Calcula la potencia eficaz que desarrollará un aerogenerador cuyo rotor tiene 8 m de radio cuando el viento sople a 45 km/h, si el coeficiente de aprovechamiento es 0,4. (Sol: $1,02 \cdot 10^5 \text{ w}$) *Nota: La densidad del viento es la misma que la del ejercicio anterior.*
- 1 4. Calcula: a) la potencia de un aerogenerador bipala, con un rendimiento del 40%, si cada pala tiene una superficie de $1,15 \text{ m}^2$ y la velocidad media del viento es de 65 km/h. Dato: densidad del viento $1,225 \text{ kg/m}^3$ (Sol: $3319,3 \text{ w}$)
- b) Cómo se modificaría la potencia si el aerogenerador anterior fuera tripala (rendimiento 50%) (Sol: $6223,7 \text{ w}$)
- 1 5. Determina la potencia de un viento de 60 km/h que actúa sobre las palas de un aerogenerador que tiene una superficie de $1,25 \text{ m}^2$ por pala. El número de palas es de 3. La densidad del aire es $1,225 \text{ kg/m}^3$. (Sol: $10640,06 \text{ w}$)
- 1 6. Calcula la potencia real de la turbina del ejercicio anterior, así como la energía producida si está funcionando durante 8 horas. El rendimiento de una aerogenerador de tres palas es 0'55. (Sol: $P= 5852,03 \text{ w}$ y $E= 46,82 \text{ Kwh}$)
- 1 7. Calcula la potencia eficaz que desarrolla un aerogenerador cuyo rotor mide 20m de radio, si la velocidad media del viento es de 50km/h y el coeficiente de aprovechamiento es de 0,45. Calcula también la energía producida si está funcionando durante 10 horas. Densidad del viento $1,293 \text{ kg/m}^3$ ($P=9,8 \cdot 10^5 \text{ w}$, $E=9800 \text{ Kwh}$)
- 2
- 3 8. Calcula la densidad de potencia que corresponde a un viento de 25 km/h. Justifica si dicho viento es eficaz para mover un aerogenerador. Dato: densidad del viento $1,293 \text{ kg/m}^3$ ($d=212,38 \text{ w/m}^2$ - Sí)
- 1 9. Calcula la potencia de un aerogenerador tripala, con un rendimiento del 45%, si cada pala tiene una superficie de $2,15 \text{ m}^2$ y la velocidad media del viento es de 55 km/h. Dato: densidad del viento $1,225 \text{ kg/m}^3$ ($P=6342,32 \text{ w}$)
- 1 10. ¿Será suficiente el aerogenerador del ejercicio anterior para alimentar a una vivienda que necesita un consumo energético de 350w durante 8 horas?