

ENERGÍA ELÉCTRICA. Central Eólica

La energía eólica es la energía obtenida por el viento, es decir, la energía cinética obtenida por las corrientes de aire y transformada en energía eléctrica mediante AEROGENERADORES. Un día en el que la velocidad del viento es de 12 m/s (velocidad “in speed”) mueve un aerogenerador (de masa total 60 toneladas) cuyas tres aspas tienen una longitud de 15 m y una masa de una tonelada, fabricadas con fibra de vidrio. Si está produciendo una potencia eléctrica de 288 kW la cual corresponde al 50% de la energía cinética de las aspas del aerogenerador, se pide. a) ¿Cómo podemos contabilizar la potencia que nos puede proporcionar el viento? b) ¿Cuál es el rendimiento del aerogenerador? c) ¿Cuál es la velocidad lineal de giro del extremo del aspa del aerogenerador, en nuestro caso concreto? d) ¿Cuántos aerogeneradores se necesitarían para producir 1.000 MW, como lo que puede producir una central térmica de gas natural? ¿Cuántos parque eólicos, si éstos constan de unos 100 aerogeneradores? ¿y si la velocidad del viento en nuestro parque eólico, aumentase hasta 24m/s?. e) ¿Qué ocurre si durante 10 horas cesa el viento y los aerogeneradores dejan de funcionar? d) Ventajas e inconvenientes de este tipo de energía.

DATOS. : densidad del aire = 1.18 Kg/m^3 (a 25°C).

La **energía eólica** es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética que se produce por efecto de las corrientes de aire. El viento, recordemos, está producido por una diferencia de presión atmosférica que produce movimiento de masas de aire de la zona de alta presión a las de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión.

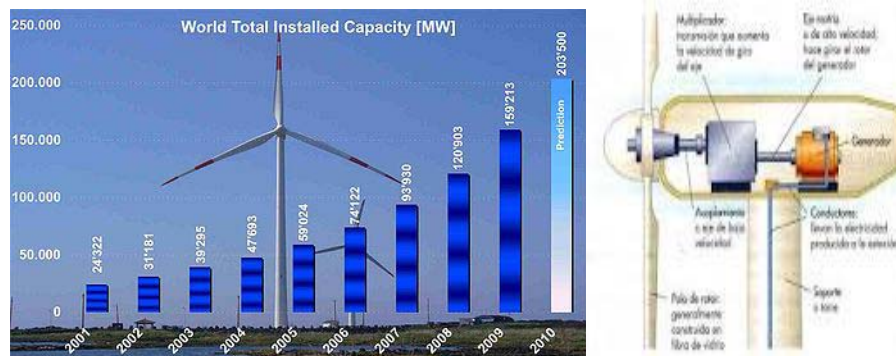
Los vientos son generados a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por parte de la radiación solar, de manera que, entre el 1 y el 2% de la energía proveniente del sol se convierte en viento. Los continentes absorben similar cantidad de energía solar que el agua de los océanos o lagos, pero en la tierra, con una capacidad calorífica específica menor que la del agua, se eleva mucho más la temperatura que en los océanos (ya que la capacidad calorífica de agua es muy elevada), con lo que sobre tierra el aire más liviano se eleva, mientras que el aire más frío y pesado que proviene de los mares y océanos se pone en movimiento para ocupar el lugar dejado por el aire caliente.

Para poder aprovechar la energía eólica es importante conocer las variaciones diurnas y nocturnas y estacionales de los vientos. Para poder utilizar la energía del viento, es necesario que alcance una velocidad mínima que suele ser entre los 3 m/s y 4 m/s (velocidad llamada “**cut-in-speed**”, y que no supere los 25 m/s, velocidad llamada “**cut-out-speed**”).

La energía del viento es utilizada mediante el uso de máquinas eólicas capaces de transformar la energía eólica en **energía cinética de rotación** utilizable, ya sea para diversos trabajos (molinos de viento) o para la producción de **energía eléctrica (AEROGENERADORES)**. En este último caso, el sistema de conversión consta de un generador eléctrico (alternador) unido al sistema rotor, y una conexión a la red eléctrica.

En la pregunta a) del problema, nos preguntan cómo podemos contabilizar la potencia del viento utilizable por un aerogenerador ¡recordemos que la Tierra no es de nadie, sino del VIENTO!.

Para ello, vamos a recordar la forma de los aerogeneradores:



Un aerogenerador consta de un soporte vertical de más de 30 m de altura y de un **sistema rotor constituido por 3 aspas de fibra de vidrio** de 15m de longitud y una masa aproximada de una tonelada. El sistema rotor está unido a el cuerpo central horizontal en el que se encuentran el mecanismo giratorio, el alternador (generador de energía eléctrica) y los sensores del viento (que sitúan las aspas en la posición más adecuada según la dirección y la intensidad del viento), y, el soporte vertical unos 30 m de altura y de gran masa..Todo este conjunto supone una masa de 57 toneladas

El plano de las aspas debe estar situado perpendicularmente a la dirección del viento. La forma aerodinámica de las aspas, hace que al pasar el viento perpendicularmente a ellas lo haga a más velocidad por un lado que por otro (como ocurre en la alas de los aviones) y, esta diferencia de velocidad produce una diferencia de presión entre los dos lados del aspa que supone la aparición de una fuerza que presenta momento y la hace girar. Esto ocurre en las tres aspas simultáneamente.

Para averiguar la **potencia** que proporciona el viento y que puede ser aprovechada por nuestro aerogenerador, vamos a considerar un volumen de un cilindro de base el círculo generado al girar por las aspas y de altura $v \cdot t$ perpendicular al plano de las aspas. Ese volumen tendrá una masa que calcularemos con el dato de la densidad del aire y será.

$$M = \rho \cdot Vol = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot h = \rho \pi \cdot L^2 \cdot v \cdot t$$

La energía cinética contenida en este cilindro de aire dotado de la velocidad v será:

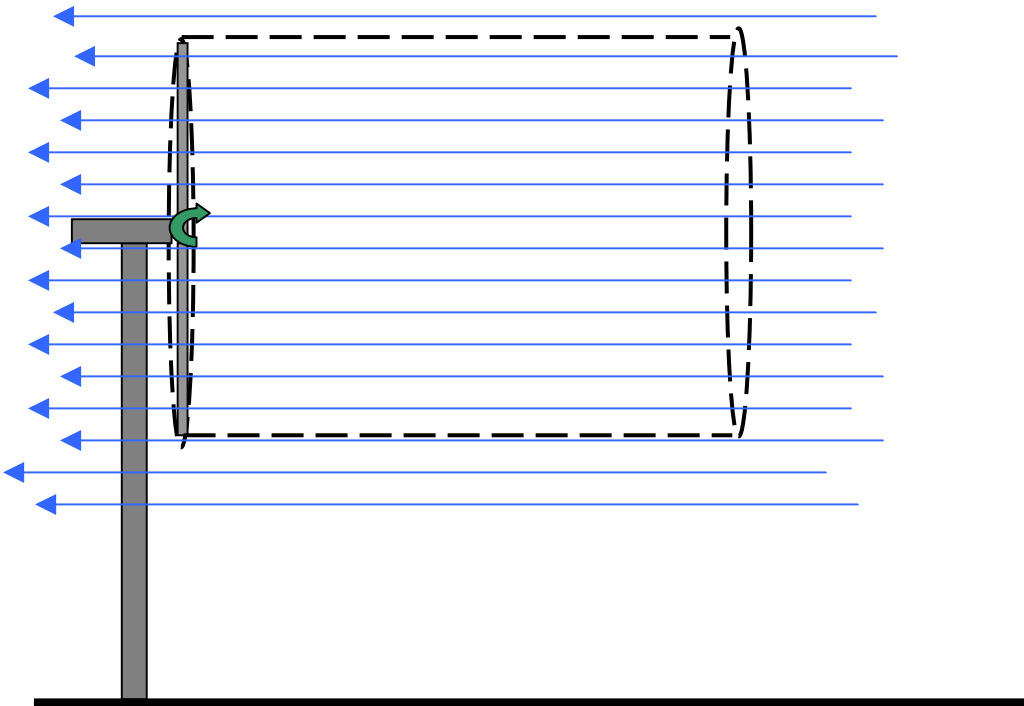
$$E_c = \frac{1}{2} M \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot L^2 \cdot v \cdot t \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot L^2 \cdot v^3 \cdot t$$

Si ésta es la energía proporcionada por el viento en el tiempo t , la potencia que nos puede suministrar el mismo es:

$$P_{viento} = \frac{E_c}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot L^2 \cdot v^3$$

Que en nuestro caso concreto será:

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \cdot 118 \cdot \pi \cdot 15^2 \cdot 12^3 = 720656 W = 721 KW$$



Luego, la respuesta a la pregunta a) del problema, sobre la potencia que nos puede proporcionar el viento será:

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \rho \cdot \pi \cdot L^2 \cdot v^3$$

Siendo L la longitud del aspa y v la velocidad del viento. En nuestro caso concreto, la potencia del viento es de 721 kW.

Para contestar a la pregunta b) del problema sobre el rendimiento total del aerogenerador, como la potencia del viento sólo nos proporciona 55 KW eléctricos, el rendimiento será del:

$$R = \frac{P_{eléctrica}}{P_{viento}} = \frac{288}{721} = 0'399$$

Lo que es lo mismo, del **40%** . Este bajo rendimiento es lógico, ya que, el viento, después de comunicar una cantidad muy pequeña de su energía al aerogenerador, continúa con una velocidad un poco menor. Si aceptamos que la potencia cinética de las aspas del aerogenerador es el 200% de la eléctrica producida (o lo que es lo mismo, con la potencia cinética del aerogenerador sólo se convierte en potencia eléctrica el 50%, por pérdidas en los mecanismos y en el alternador), el rendimiento en la transmisión de energía del viento a las aspas será del:

$$R' = \frac{P_{cinética}}{P_{viento}} = \frac{576}{721} = 0'80$$

Lo que es lo mismo del **80%**. Por tanto la potencia del viento después de pasar por el aerogenerador será de.

$$P_{viento} = 721 - 721 \times 0'8 = 144'2 \text{ KW}$$

Con lo que la velocidad del viento después de mover las aspas será de 7 m/s.

Para contestar a la pregunta c) del problema de cuál es la velocidad lineal de giro del extremo del aspa de nuestro aerogenerador, calcularemos primero, el momento de inercia del sistema rotor, que aproximadamente consideraremos es el constituido por las tres aspas (de longitud 15 m y 1000 kg de masa) girando alrededor de uno de sus extremos ($I = (1/3) m.L^2$). Lo cual es bastante aproximado, pues aunque el sistema rotor consta de más componentes que las tres aspas, estas no tienen la masa uniformemente distribuida, estando más cerca del eje que del extremo. Aproximadamente, consideraremos que, el momento de inercia del sistema rotor será:

$$I = 3\left(\frac{1}{3} m.L^2\right) = 1000.15^2 = 225000 \text{ Kg}.m^2$$

Como La energía cinética de rotación es $E_{crot} = (1/2) I .w^2$ y resulta ser de **$E_{crot} = 576000$** J en cada segundo (ya que la energía cinética del aerogenerador es el doble que la energía eléctrica producida de 288000 J en cada segundo), La velocidad angular del giro será:

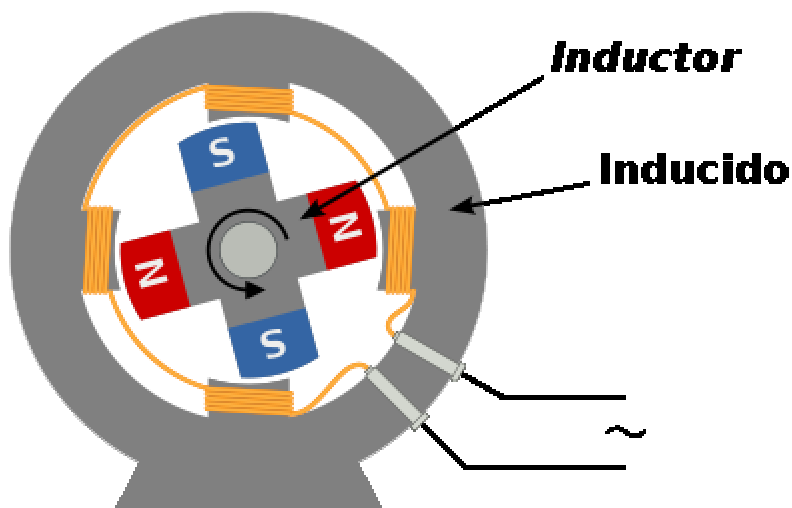
$$w = \sqrt{\frac{E_{crot} \cdot 2}{I}} = \sqrt{\frac{576000 \cdot 2}{225000}} = 2'26 \frac{rad}{s} = 22rpm$$

Lo cual significa que, las aspas, dan una vuelta completa en 2'8 segundos. Por último para averiguar la velocidad lineal del extremo del aspa, recordemos que : $v = \omega \cdot R$, en nuestro caso concreto:

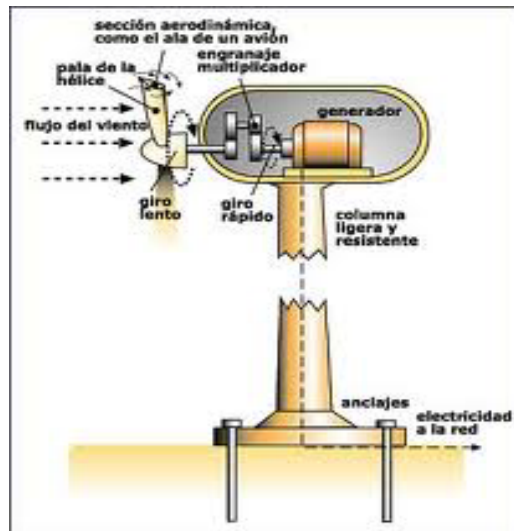
$$v = \omega \cdot L = 2'26.15 = 33'9m / s = 122km / h$$

La velocidad angular de giro de las aspas del aerogenerador, puede aumentar si aumenta la velocidad del viento (pero, no linealmente, y, a 25 m/s se romperían las aspas del mismo, por lo que se debe desconectar), siendo normalmente de 1'26 rad/s, con lo que la velocidad lineal del extremo del aerogenerador será de $1'26 \times 15 = 18'8 \text{ m/s} = 68 \text{ Km/h}$.

Este movimiento de giro de las aspas, debe transmitirse al **alternador**, para generar corriente eléctrica alterna. En nuestro modelo de alternador, en la “guía del alumno”, la corriente inducida se genera en el cuadro de espiras que giran en el seno de un campo magnético constante generado por los polos N y S, de manera que , el INDUCIDO es el rotor, y el INDUCTOR el estator. Pero en muchos alternadores la situación puede ser la inversa, y el inducido ser estator y, el inductor , el rotor, con varios o muchos pares de polos N y S, como en el caso siguiente:



Como, la frecuencia de la corriente alterna que deseamos generar, es de 50 Hz, la velocidad angular de giro del inducido (o del inductor de un par de polos) debería ser de 314 rad/s. Sin embargo, en nuestro caso concreto sólo es de 2'26 rad/s, con lo que, el mecanismo de giro de las aspas del aerogenerador, debe tener adosados, mecanismo que aumenten la velocidad angular, además de tener el alternador múltiples pares de polos, hasta alcanzar un frecuencia en la corriente alterna generada que, sea cual sea la velocidad del viento, alcance los 50 Hz . Lo normal es que, si el alternador tiene dos pares de polos (como el de la figura,) acabe girando a 1500 rpm con lo que, la frecuencia de la corriente alterna generada será de 50 Hz.

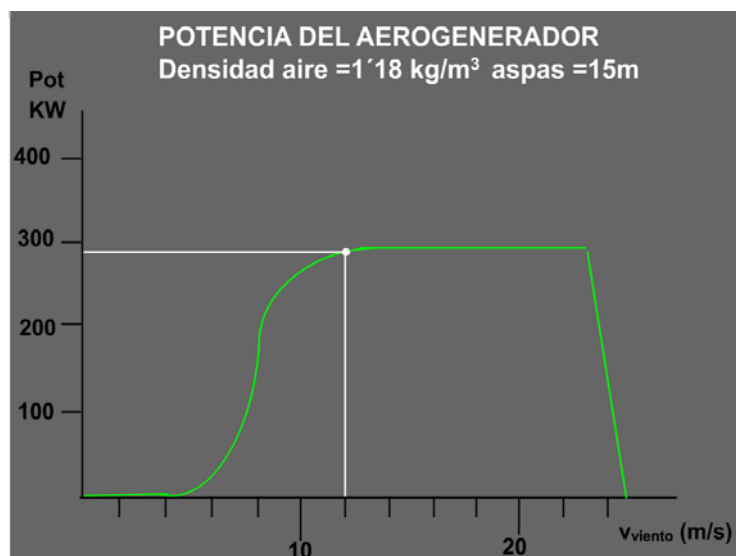


Para contestar a la pregunta d) del problema de cuántos aerogeneradores se necesitarían para producir 1000 MW de potencia eléctrica (potencia que puede producir una central térmica de gas natural o nuclear) se necesitarán:

$$n^{\circ} \text{ aerogeneradores} = \frac{1000000}{288} = 3472$$

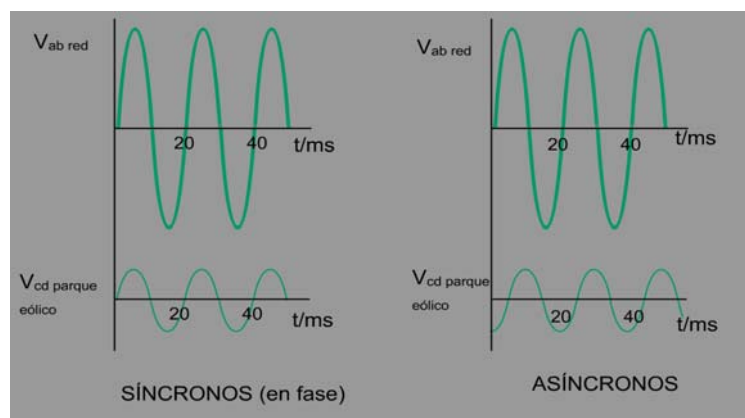
Y si cada **parque eólico** consta de unos 100 aerogeneradores, se necesitarán **35 parques eólicos para suministrar 1000 MW de potencia.**

Si la velocidad del viento aumentase a 24 m/s (on speed), la potencia eléctrica suministrada por cada uno de nuestros aerogeneradores sería de **mayor**, pero no podemos hacer los cálculos ya que depende de las llamadas “curvas de potencia”, las cuales suponen que el rendimiento del aerogenerador con respecto a la potencia del viento varía. En nuestro caso concreto, el hecho de pasar la velocidad del viento de 12 m/s a 24 m/s, no aumenta casi la potencia eléctrica producida, por lo que el n° de parques eólicos necesarios sería de unos 40.





Todos los aerogeneradores del parque, deben “**estar en fase**” en la producción de su energía eléctrica (**corriente alterna**) para que su potencia pueda sumarse. Además, cuando suministran potencia a la **red eléctrica**, un parque eólico también debe hacerlo en el momento adecuado para estar “en fase” con la red. Es decir, los aerogeneradores deben funcionar **síncronamente**, lo mismo que los parques eólicos con la **red eléctrica de CORRIENTE ALTERNA**.



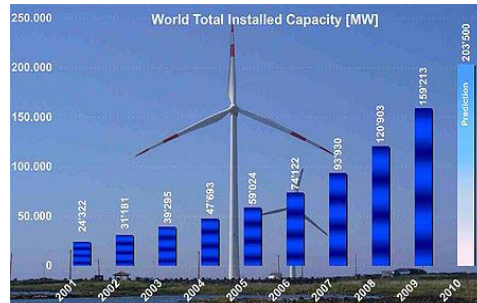
Para contestar a la pregunta e) del problema de qué ocurre si durante 10 horas cesa el viento, y los aerogeneradores dejan de proporcionar energía, inmediatamente, la potencia de 28800 KW proporcionada por nuestro parque eólico (de 100 aerogeneradores) **debe ser suministrada por una central térmica**, ya que dichas centrales (sobre todo las de gas natural de ciclo combinado) pueden aumentar su potencia rápidamente, quemando más gas natural y cubriendo las demandas del consumo.

Por último, en el apartado f) del problema, nos piden las ventajas e inconvenientes, de este tipo de energía.

Como ventajas podemos señalar:

- No producen residuos radiactivos
- No contaminan la atmósfera con CO₂ (que produce efecto invernadero).

- No contamina la atmósfera otros gases (NO_2 , SO_2 , N_2O ...) que pueden producir lluvia ácida.
- No emiten partículas a la atmósfera.
- En resumen: **son inocuos para el medio ambiente.**
- **Es una de las energías del futuro junto con las otras renovables y, sobre todo con la energía nuclear por fusión.**



Como inconvenientes podemos señalar:

- El precio del KW.h producido es mucho más alto que el producido en térmicas o nucleares. Necesita por tanto, ser subvencionada
- **NO ES AUTOSUFICIENTE.** Necesita una central térmica de ciclo combinado, para suplir su aportación a la red cuando CESE el VIENTO:.
- Un parque eólico, con 100 aerogeneradores, funcionando al máximo de su potencia (438 KW por cada uno), suministra a la red 43800 KW , lo que equivale a suministrar energía a 5840 hogares consumiendo cada uno unos 7.5 KW (compárese con una central térmica o nuclear). Este sería el caso más favorable con el máximo viento “in speed”.
- Producen un impacto antiestético en el paisaje.