

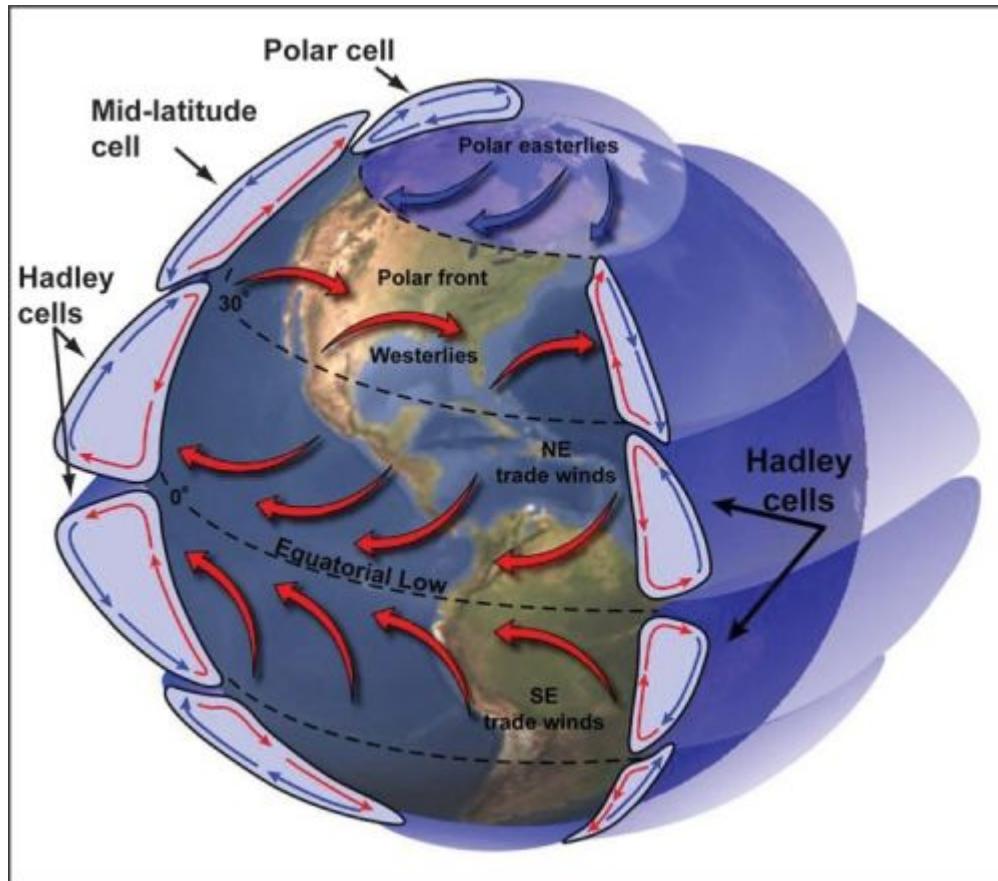
Energía eólica

La energía eólica es una forma de **energía cinética** producida por el movimiento del viento. El viento se genera debido a las **diferencias en la insolación** (cantidad de radiación solar recibida) en distintas áreas del planeta. Estas diferencias provocan variaciones de temperatura y presión, que a su vez generan el flujo de aire que conocemos como viento.



El aire se mueve desde zonas de alta presión (más frío y denso) hacia zonas de baja presión (más caliente y menos denso).

La **rotación** terrestre desvía el movimiento del aire, generando patrones de vientos curvados en lugar de lineales. En el hemisferio norte, los vientos se desvían hacia la derecha, y en el hemisferio sur, hacia la izquierda.

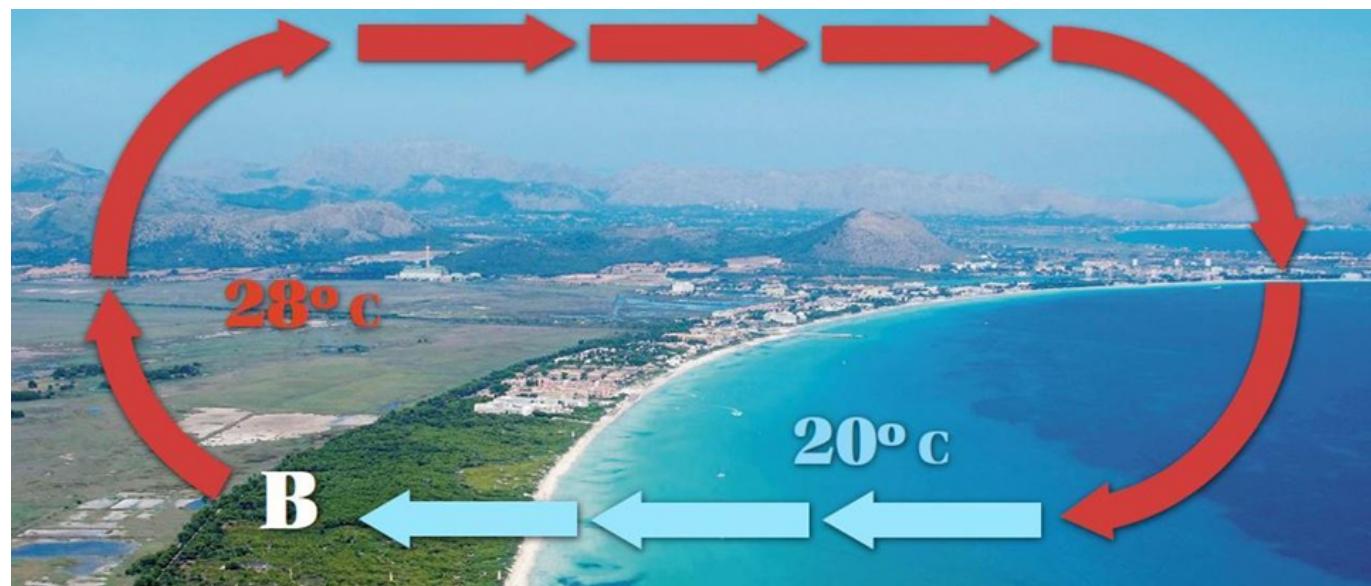


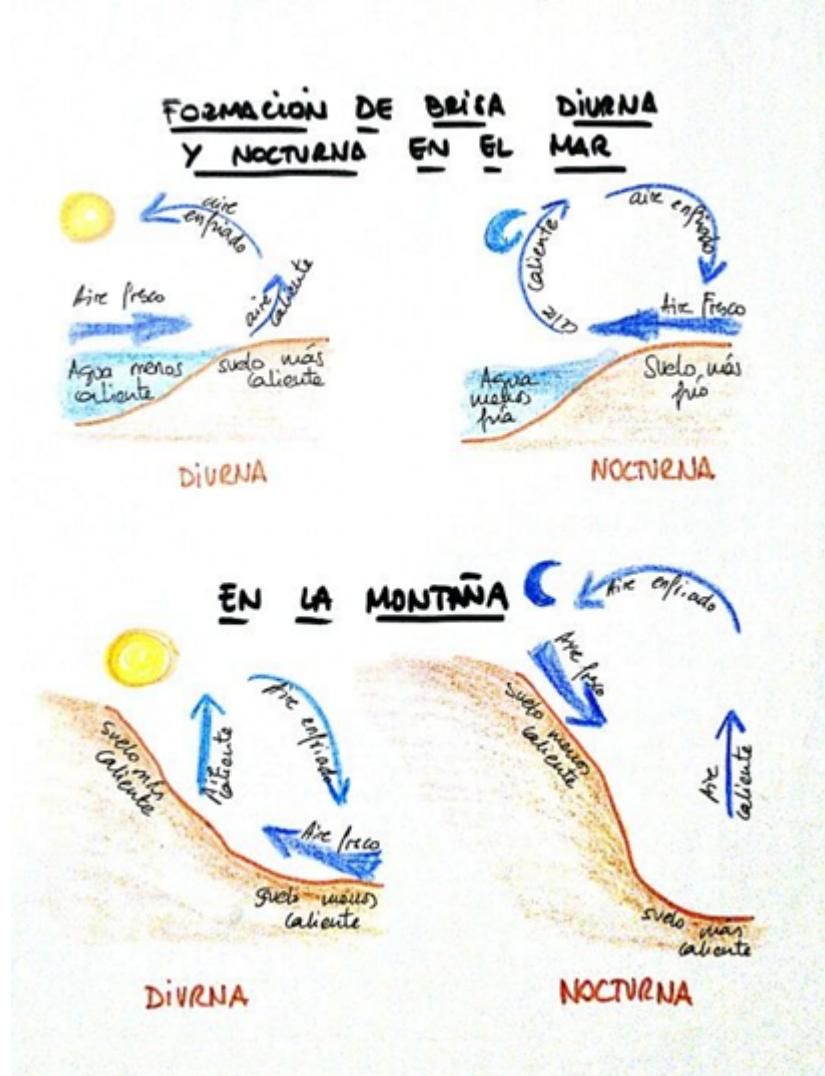
<https://www.windfinder.com/>

https://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/mapa_frentes

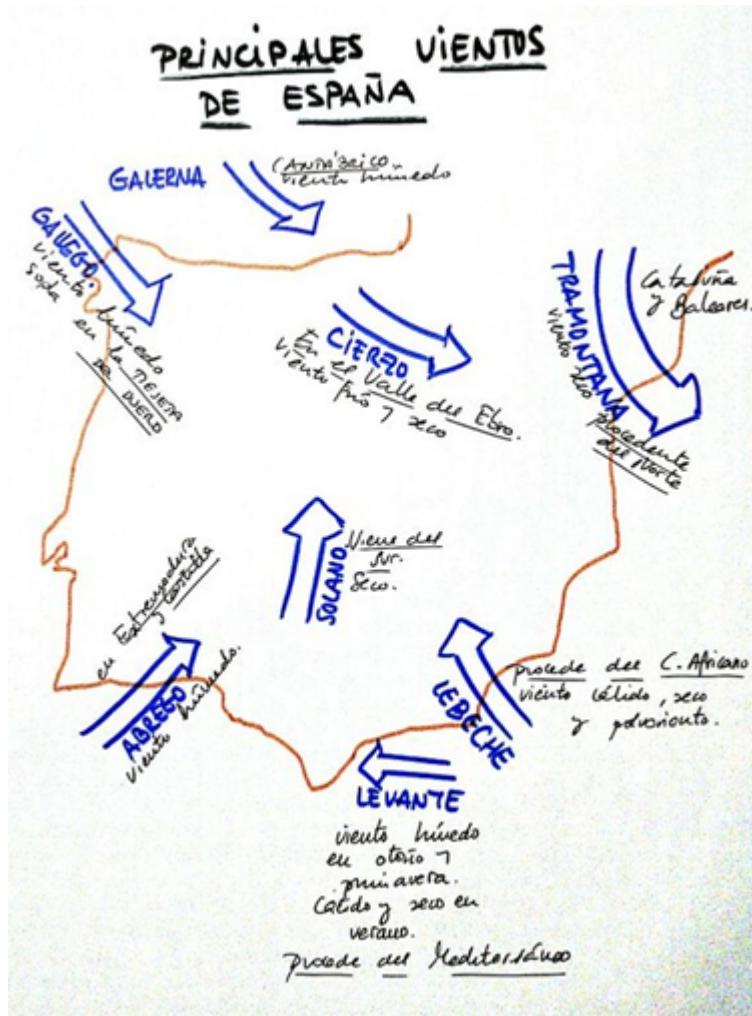
Durante el día, la tierra se calienta más rápido que el agua, creando vientos marinos (**brisas marinas**), y durante la noche ocurre lo contrario, con vientos terrestres (brisas terrestres).

La **brisa** es un tipo de viento ligero local motivado por los movimientos de masas de aire debido al heterogéneo calentamiento del relieve por el Sol.





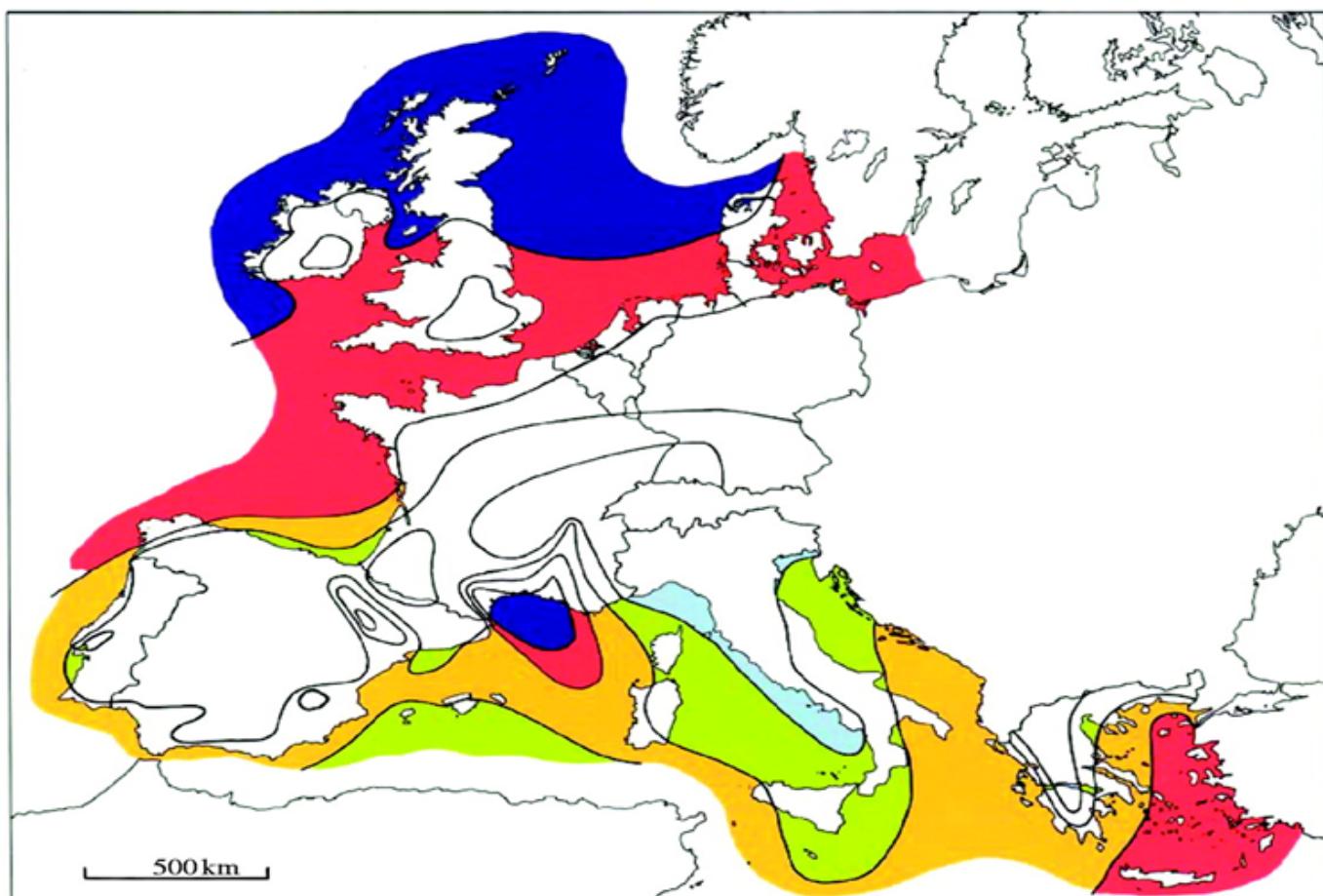
Las diferentes direcciones del viento



Escala de velocidades

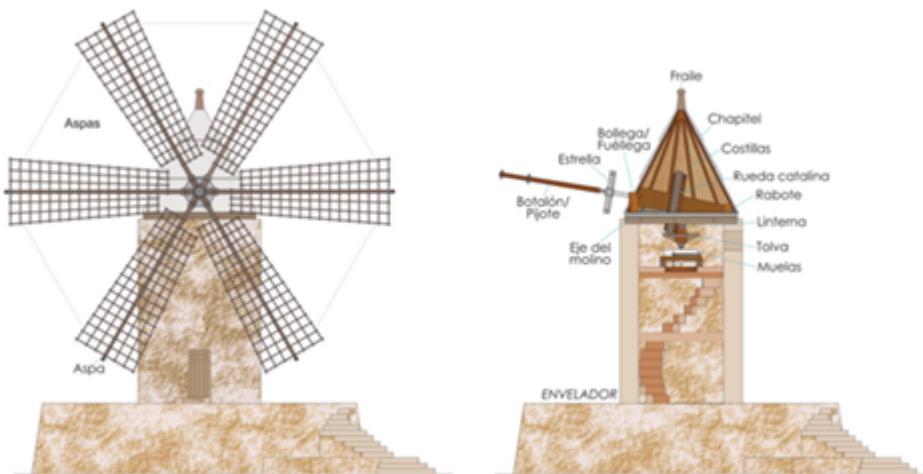
Escala de velocidades de viento			
Velocidades de viento a 10 m de altura		Escala Beaufort (antiquada)	Viento
m/s	nudos		
0,0-0,4	0,0-0,9	0	Calma
0,4-1,8	0,9-3,5	1	
1,8-3,6	3,5-7,0	2	Ligero
3,6-5,8	7-11	3	
5,8-8,5	11-17	4	Moderado
8,5-11	17-22	5	Fresco
11-14	22-28	6	
14-17	28-34	7	Fuerte
17-21	34-41	8	
21-25	41-48	9	Temporal
25-29	48-56	10	
29-34	56-65	11	Fuerte temporal
>34	>65	12	Huracán

La intensidad del viento varía también geográficamente.



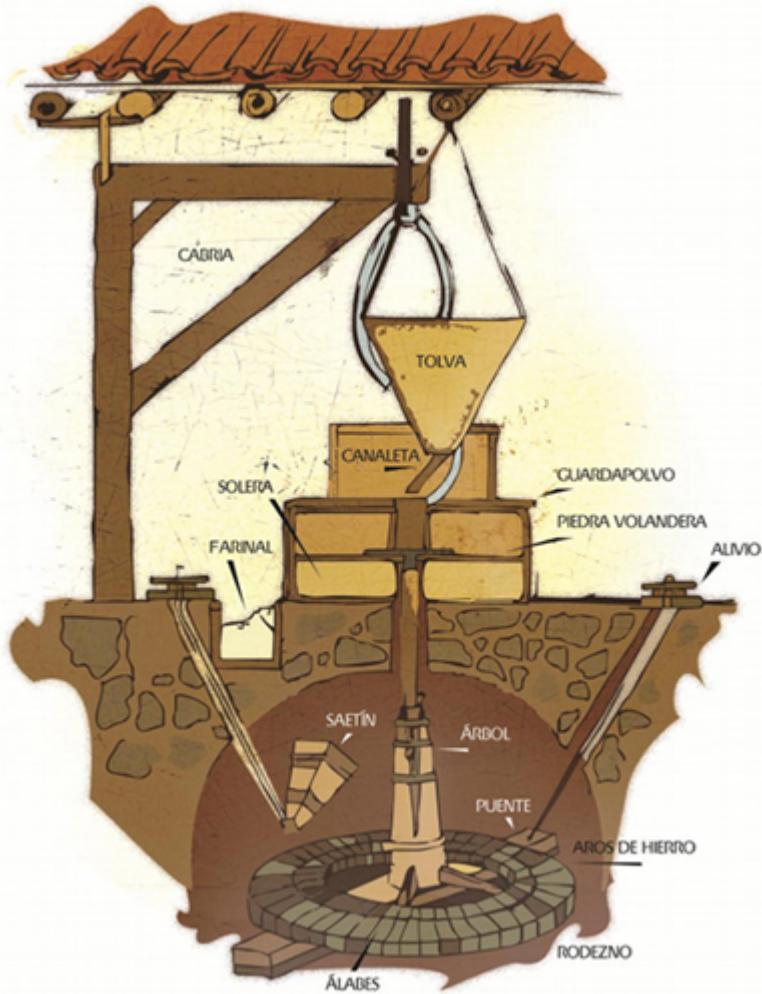
Molinos antiguos

Antes de la invención de la electricidad los molinos de viento se utilizaban para extraer agua de los pozos, o bien para moler el trigo para hacer harina. En Mallorca todavía se conservan muchos de estos molinos, aunque la mayoría de ellos ya no están operativos.



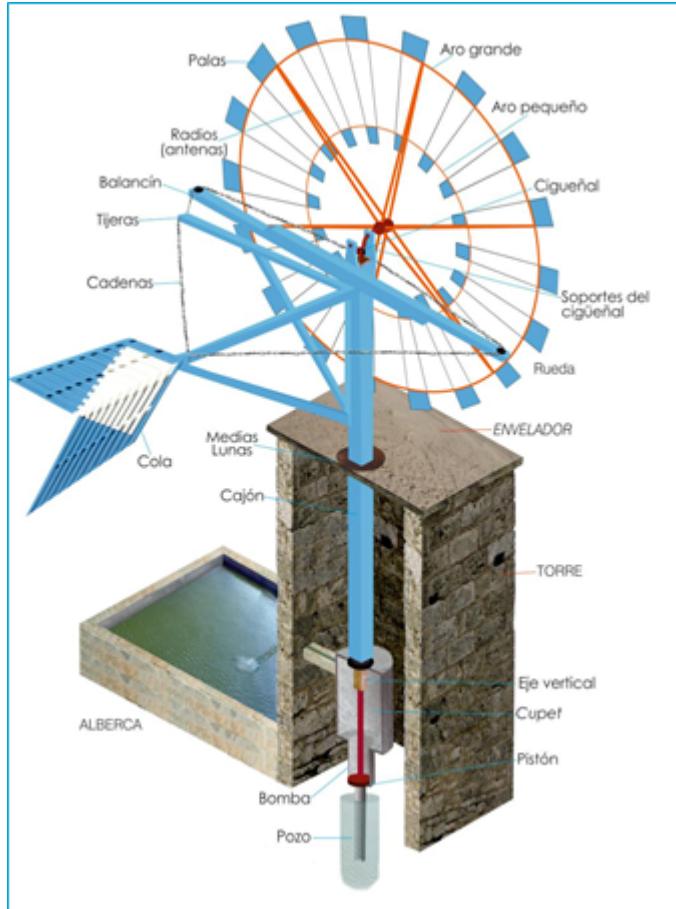
Un molino impulsado por un burro (entrada de energía de 300 W) producía 10-25 kg/h de harina. Las piedras de molino equipadas de una pequeña noria (1,5 kW) molían 80-100 kg/h. La harina se utilizaba para hornear pan, suministrando como mínimo la mitad de toda la energía alimentaria consumida (el pan solía representar más del 70% de la misma). En 10 h un molino producía harina para 2.500-3.000 personas, es decir, una ciudad medieval de tamaño considerable.



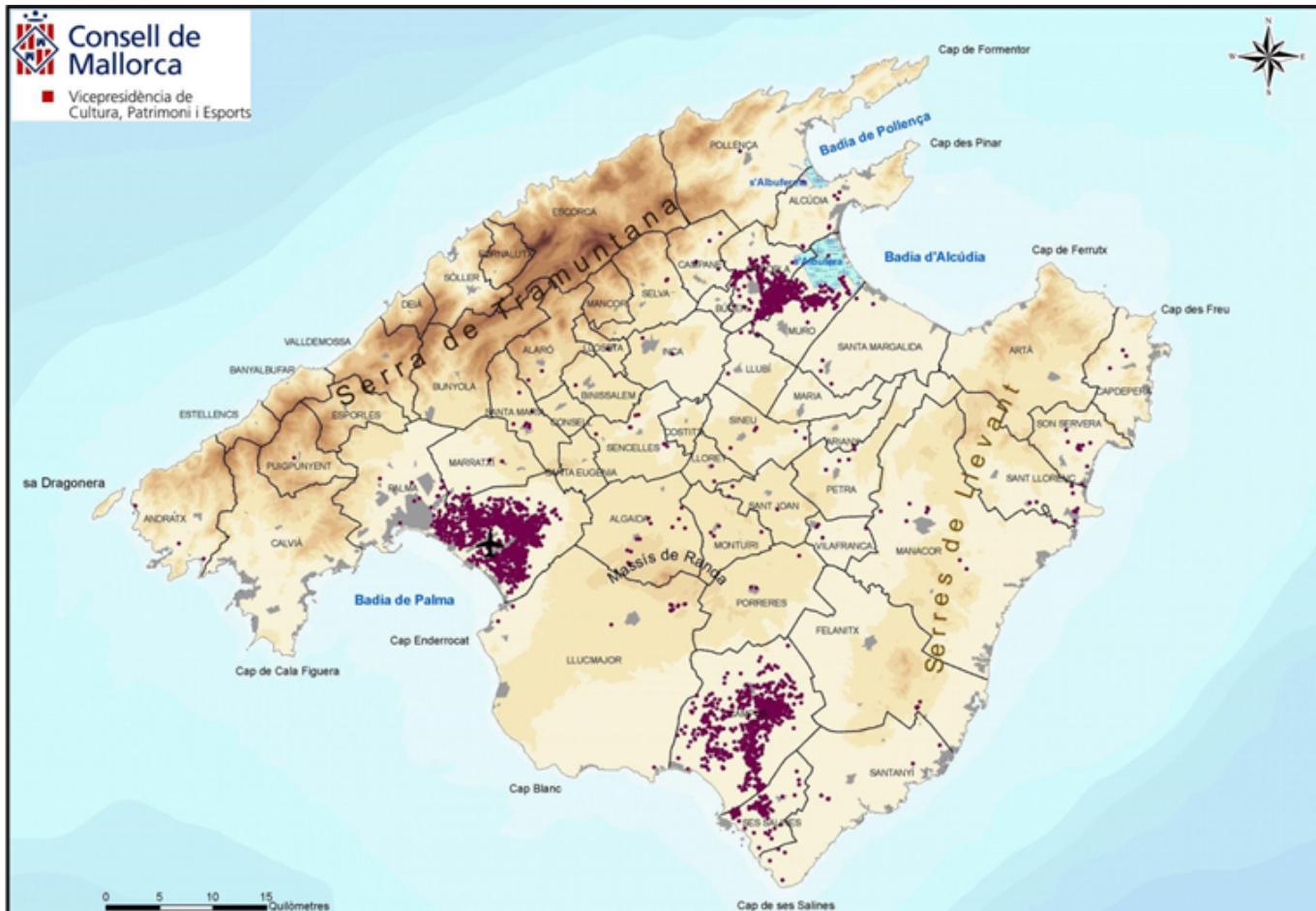


Molinos de extracción de agua

En Mallorca, los **molins de vent** han sido utilizados desde finales del siglo XIX para extraer agua subterránea con fines agrícolas y de riego. A diferencia de los aerogeneradores modernos, estos molinos tradicionales estaban diseñados para aprovechar la energía del viento para accionar un mecanismo que bombeaba agua desde pozos o acuíferos subterráneos.



En la actualidad, existen alrededor de 2.300 **molinos de extracción de agua** por toda Mallorca y los municipios de Campos, sa Pobla, Muro, ses Salines y Palma son aquellos que recogen un mayor número de estos ingenios.



Densidad del aire

La densidad del aire, que se representa con la letra **p** (rho) varía en función de la temperatura y la presión, y puede ser calculada utilizando la siguiente ecuación derivada de la ley de los gases ideales:

$$\rho = \frac{P}{R * T}$$

Donde:

- **ρ** es la densidad del aire (kg/m^3)
- **P** es la presión atmosférica (Pa),
- **R** es la constante de los gases para el aire seco, que tiene un valor de aproximadamente (287.05 , $\text{J/(kg}\cdot\text{K)}$),
- **T** es la temperatura absoluta en Kelvin (K), que se obtiene sumando 273.15 a la temperatura en grados Celsius.

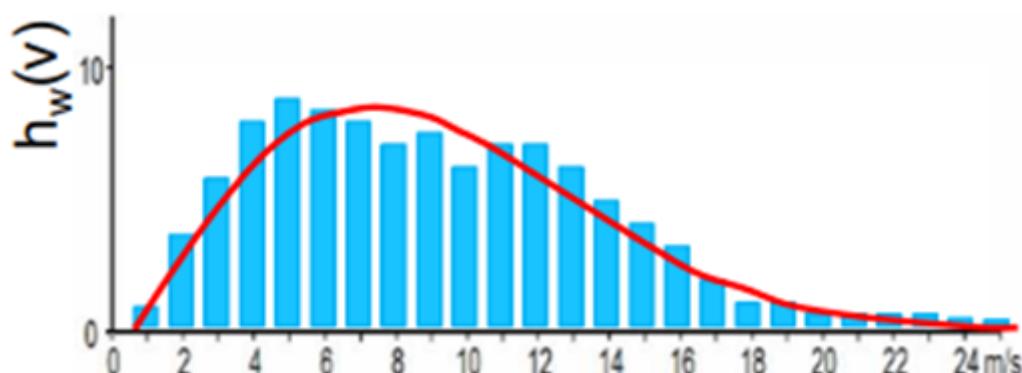
Relación con la temperatura

- A medida que la **temperatura aumenta**, la **densidad del aire disminuye**, porque el aire se expande cuando se calienta.
- Cuando la **temperatura disminuye**, la **densidad del aire aumenta**, ya que el aire se contrae al enfriarse.

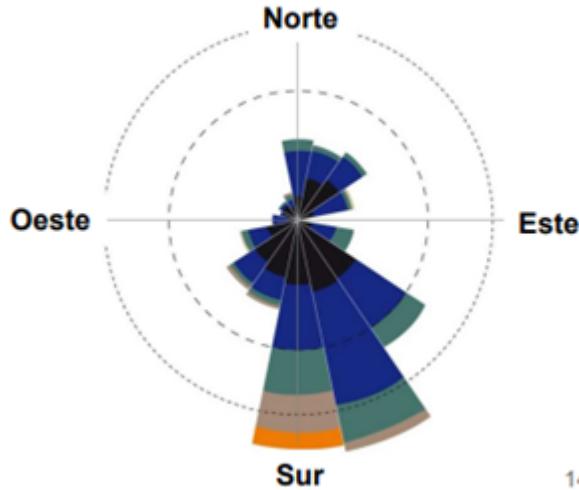
Este fenómeno es importante en el contexto de la energía eólica, ya que la densidad del aire afecta directamente la cantidad de energía que un aerogenerador puede capturar.

Densidad del aire a presión atmosférica estándar			
Temperatura ° Celsius	Temperatura ° Fahrenheit	Densidad, es decir, masa de aire seco kg/m ³	Contenido de agua máx. kg/m ³
-25	-13	1,423	
-20	-4	1,395	
-15	5	1,368	
-10	14	1,342	
-5	23	1,317	
0	32	1,292	0,005
5	41	1,269	0,007
10	50	1,247	0,009
15	59	1,225 *)	0,013
20	68	1,204	0,017
25	77	1,184	0,023
30	86	1,165	0,030
35	95	1,146	0,039
40	104	1,127	0,051

En este gráfico podemos comprobar como la potencia que podemos generar (vatos) depende de la velocidad del viento.



El viento no sopla por igual en todas direcciones, por lo que será un aspecto a considerar en la instalación.



14

Ventajas y desventajas

Ventajas

- Es **inagotable**: La energía eólica proviene del viento, una fuente renovable y que no se agota.
- Los **aerogeneradores tienen un bajo coste** de instalación y mantenimiento comparado con otras tecnologías energéticas.
- Se consigue un **alto rendimiento**, ya que los aerogeneradores modernos son altamente eficientes en la conversión de energía cinética en electricidad.
- Ayuda a **reducir la dependencia energética** de los combustibles fósiles, disminuyendo así las emisiones de CO₂.

Inconvenientes

- Es **intermitente, aleatoria y difícil de almacenar**: La energía eólica depende de la velocidad y disponibilidad del viento, lo que la hace variable.
- Los **aerogeneradores representan un peligro para las aves**, ya que pueden chocar contra las aspas en movimiento.
- Los **parques eólicos ocupan grandes extensiones** de terreno, lo que puede generar un impacto visual en el paisaje y también ruido.
- Pueden generar **interferencias con radares, televisión y radio**, afectando las señales en áreas cercanas a los aerogeneradores.

Energía eólica en España

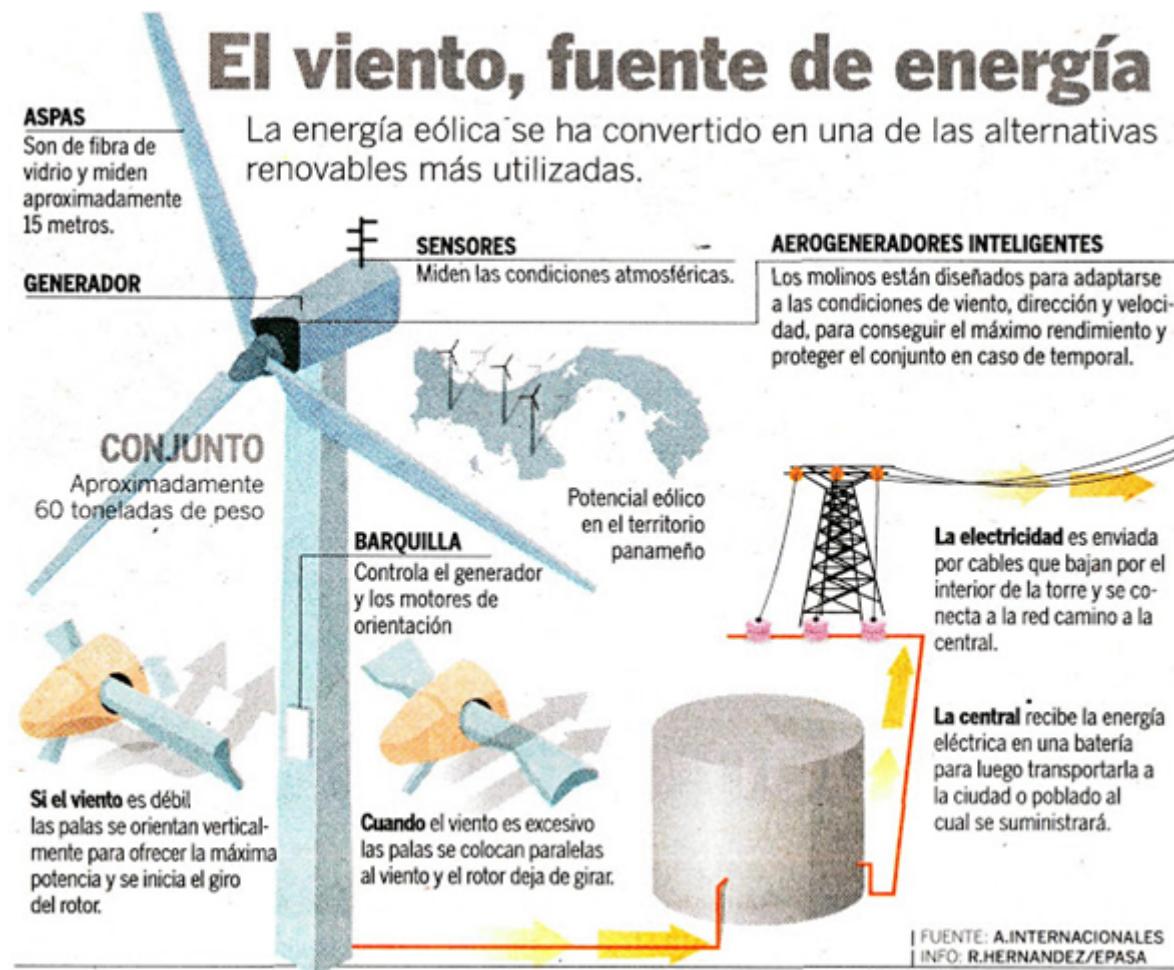
En España, la distribución de energía eólica es la siguiente. En España existen en total **1.345 parques eólicos** que presentan más de 22.000 molinos.

Los parques eólicos en España más importantes contribuyen de manera significativa al mix energético nacional. Según datos recientes, la energía eólica generó alrededor del **21% de la electricidad total** del país.



Aerogeneradores

Exacto, los aerogeneradores son dispositivos clave en la generación de energía eólica. Sus **palas**, al ser impulsadas por el viento, convierten la energía **cinética** del aire en energía **mecánica**. Esta energía se transforma en energía **eléctrica** a través de un generador interno. La electricidad producida se envía a la **red eléctrica**, donde puede ser utilizada para abastecer hogares, industrias y otros consumos.



Relación área - potencia

La potencia que un aerogenerador puede generar depende directamente del **área de barrido** de sus aspas y de la **velocidad del viento**. Por lo tanto, al diseñar aerogeneradores, es importante considerar tanto el **tamaño** de las aspas como las **condiciones de viento** del sitio donde se instalarán.

El aerogenerador más grande a día de hoy es este:



Relación entre área y potencia de aerogeneradores

La relación entre el área y la potencia de un aerogenerador es fundamental para comprender cómo se captura y convierte la energía del viento en energía eléctrica. A continuación se explica esta relación.

Área de barrido

El área de barrido es el área que ocupan las aspas del aerogenerador cuando giran. Se calcula como el **área del círculo** formado por las aspas y se determina mediante la siguiente fórmula:

$$A = \pi r^2$$

Donde:

- **A** es el área de barrido (m²).
- **r** es el radio del rotor (la longitud de una de las aspas, en metros).
- **π** es una constante aproximadamente igual a 3.1416.

Potencia del viento

La potencia del viento ((P)) que atraviesa el área de barrido se calcula utilizando la siguiente fórmula:

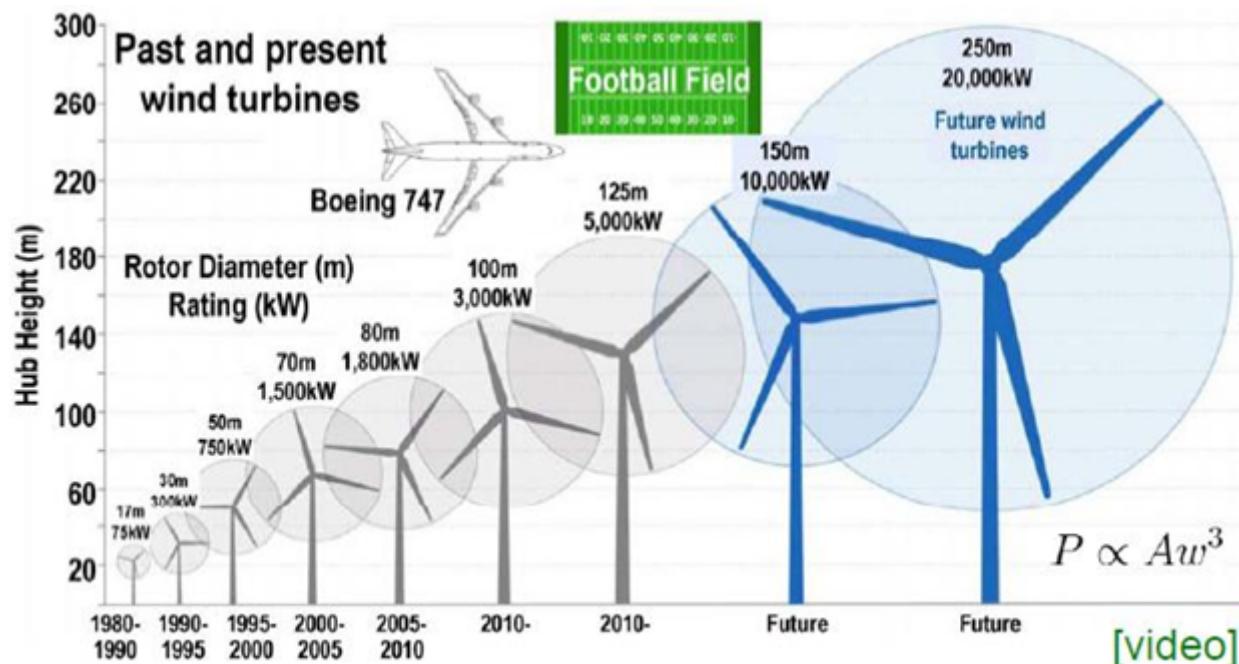
$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Donde:

- **P** es la potencia del viento (W)

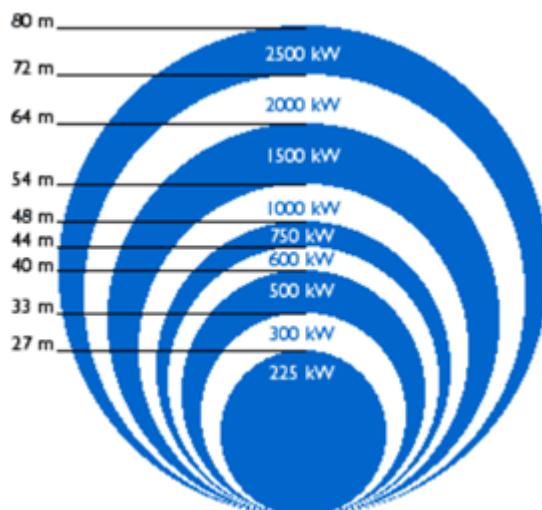
- ρ es la densidad del aire (kg/m^3).
- A es el área de barrido (m^2).
- v es la velocidad del viento (m/s).

Relación entre área y potencia

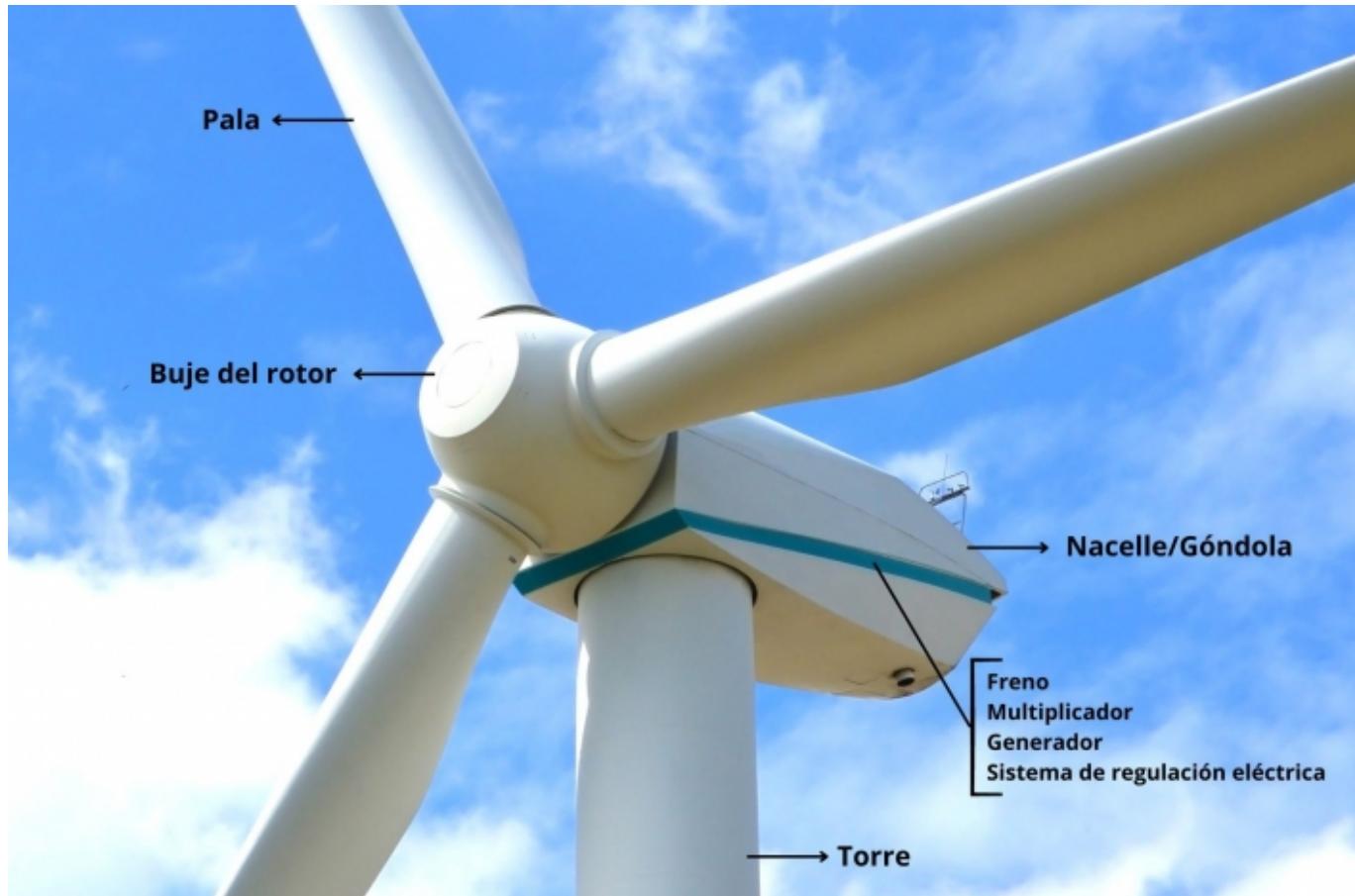


La fórmula para la potencia del viento muestra que la potencia disponible aumenta con el **cubo de la velocidad del viento** ((v^3)) y es directamente proporcional al **área de barrido** ((A)). Esto significa que:

1. **Aumentar el área de barrido** (por ejemplo, usando aspas más largas) aumentará la cantidad de energía que el aerogenerador puede capturar del viento. Esto es crucial para mejorar la eficiencia del aerogenerador, especialmente en áreas con vientos más suaves.
2. **El efecto de la velocidad del viento** es significativo: pequeñas variaciones en la velocidad del viento pueden tener un gran impacto en la potencia generada. Por ejemplo, si la velocidad del viento se duplica, la potencia del viento se incrementa por un factor de ocho.



Estructura de un aerogenerador

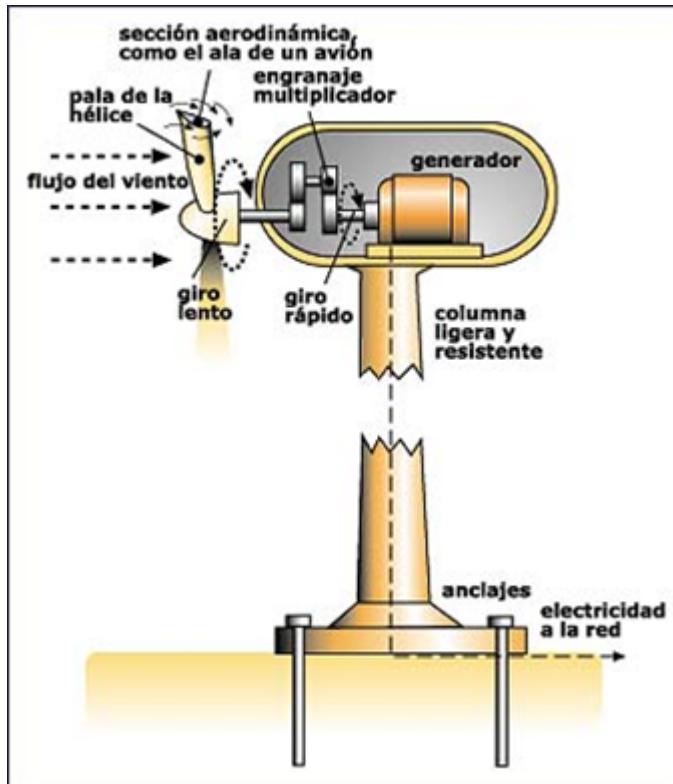


El **rotor** esta formado por:

- **Pala o aspas:** Son los componentes que captan la energía del viento y la convierten en un movimiento rotacional. Normalmente, un aerogenerador tiene entre 2 y 3 aspas.
- **Buje:** Es el punto de conexión entre las palas y el eje. Permite la rotación del rotor cuando el viento impacta las palas.

La **torre** es la estructura que sostiene el rotor y la góndola a una altura considerable para aprovechar vientos más fuertes y consistentes. Suele ser de **acero** y puede tener forma **tubular** o de celosía.

La **góndola** o nacelle es la carcasa situada en la parte superior de la torre que contiene el **generador, la caja de engranajes, el sistema de control y otros componentes** mecánicos y eléctricos. Protege estos equipos de las condiciones climáticas.



Nacelle

La **nacelle** se sitúa en lo alto de la torre, y alberga varios componentes importantes, como el generador, la caja de engranajes (si la tiene), y el sistema de control. También contiene el mecanismo que permite rotar el aerogenerador para alinearlo con la dirección del viento.

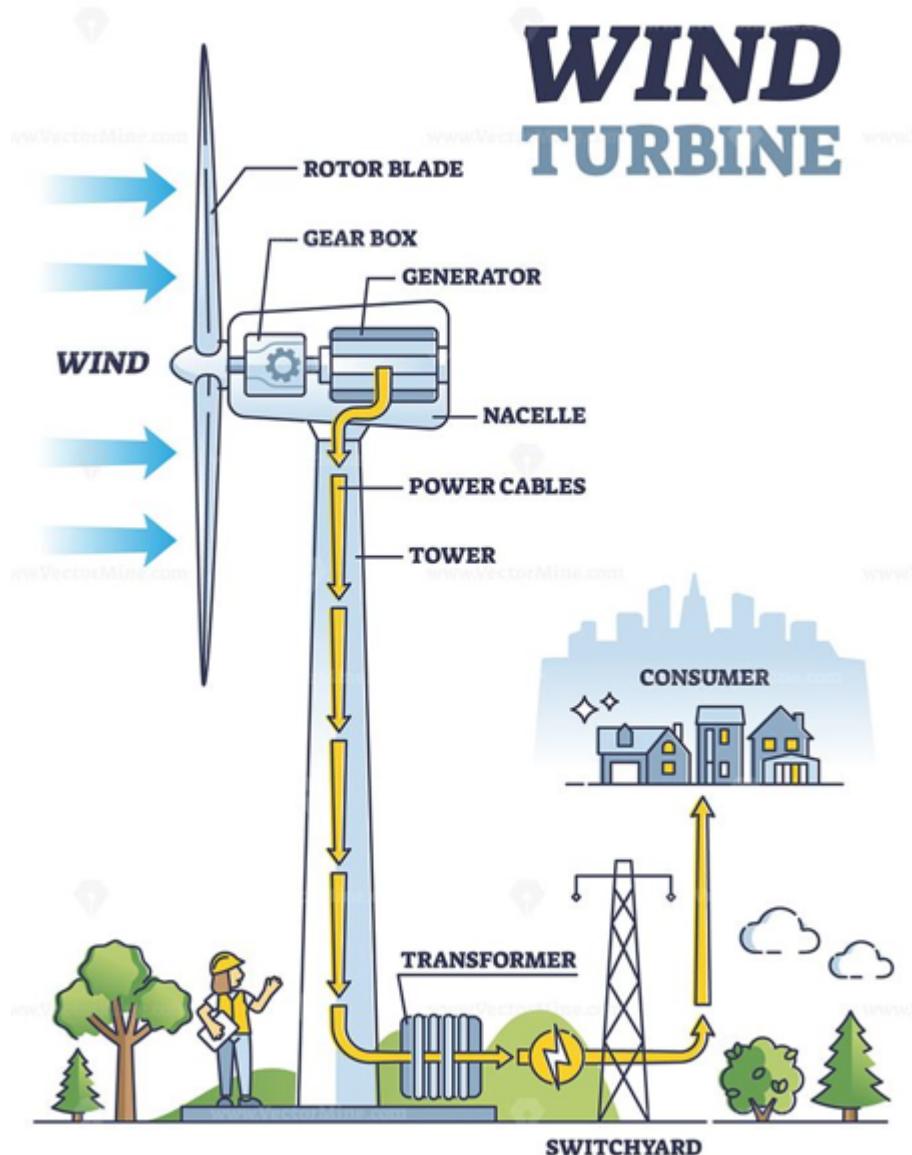


El funcionamiento de un aerogenerador implica una serie de componentes interrelacionados que trabajan en conjunto para convertir la energía cinética del viento en energía eléctrica.

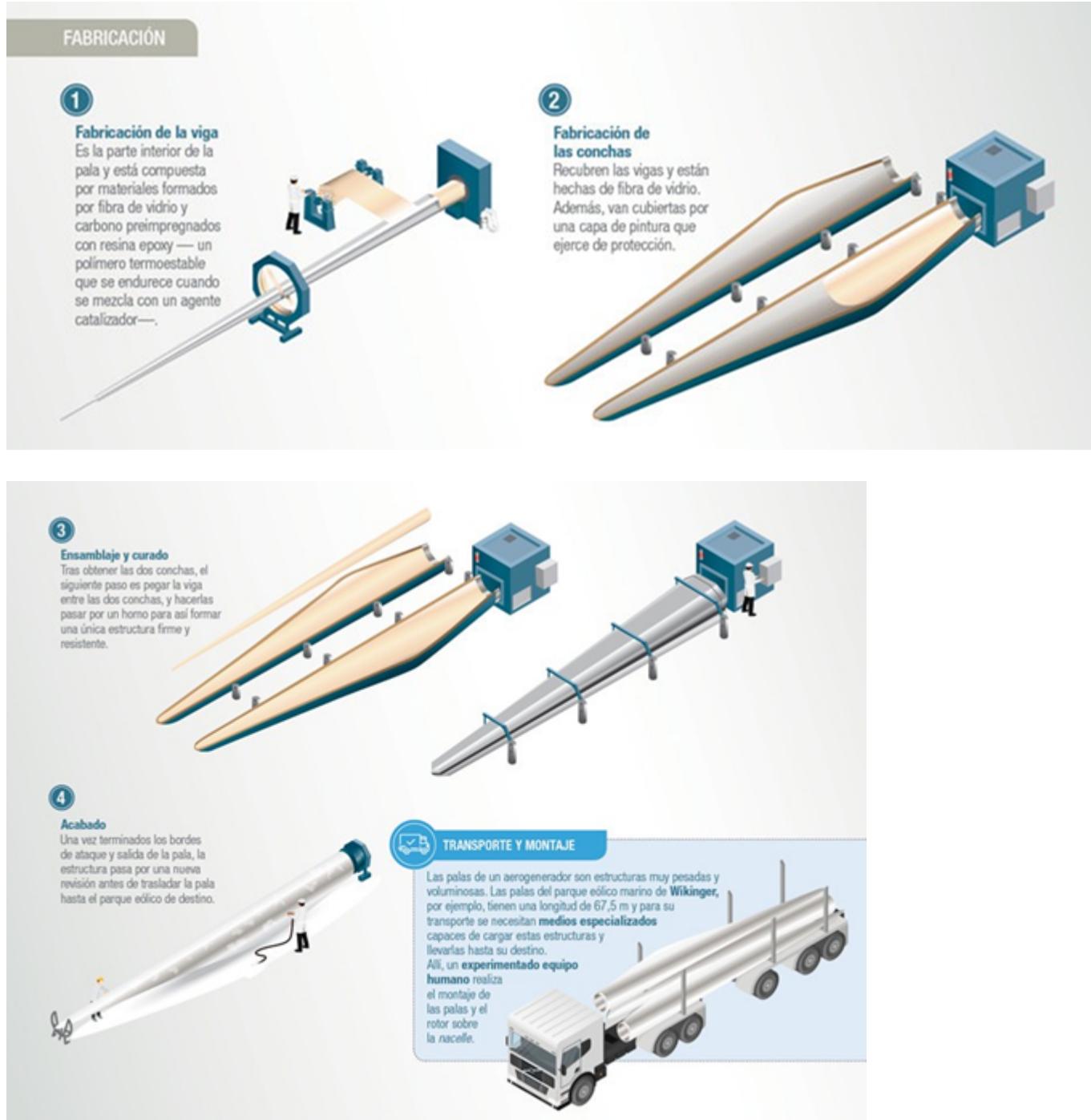
- El **eje de baja velocidad** es el primer elemento que recibe el movimiento de las aspas del rotor, que gira lentamente debido a la baja velocidad del viento.
- Este eje está conectado a una **caja de cambios**, que incrementa la velocidad de rotación del eje antes de que el movimiento se transfiera al **eje de alta velocidad**. Gracias a esta transformación de velocidad, el eje de alta velocidad puede girar a una velocidad mucho mayor, lo que es necesario para accionar el **generador**, que convierte la energía mecánica en energía eléctrica.
- Por último, el **controlador** juega un papel crucial al supervisar y gestionar el funcionamiento del aerogenerador, asegurando que la energía generada se optimice y se ajuste según las variaciones en la velocidad del viento y las condiciones operativas, protegiendo así el sistema de posibles daños.

Transformación de la electricidad

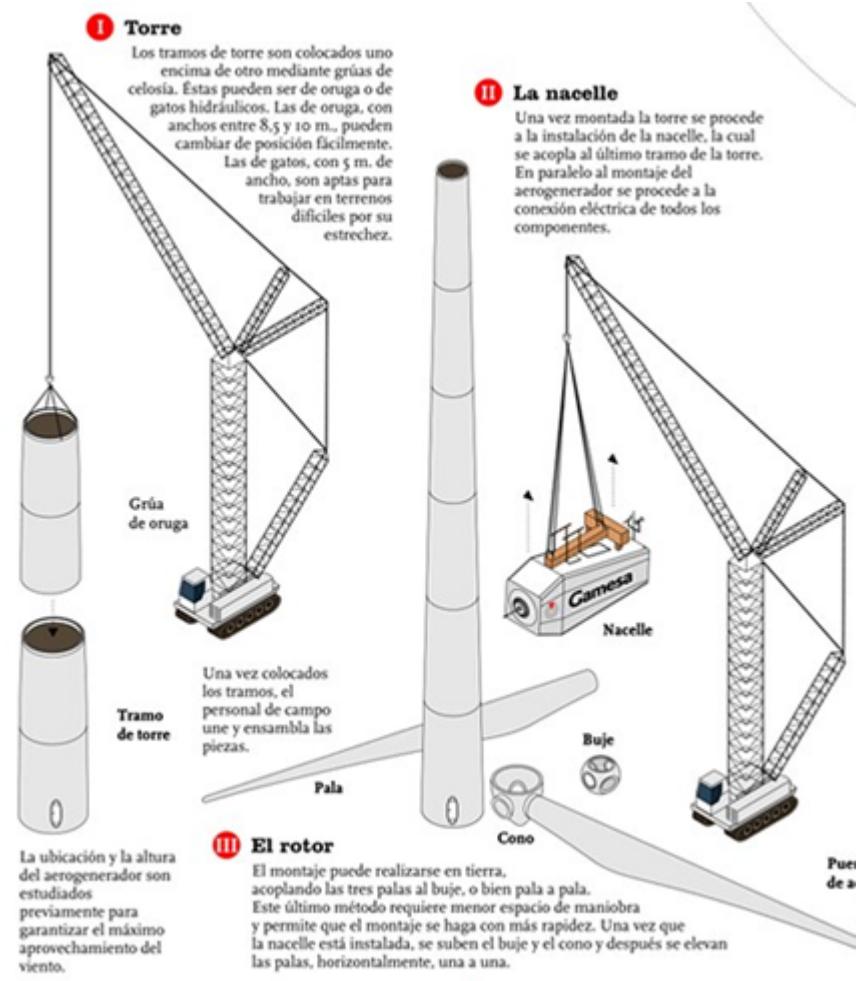
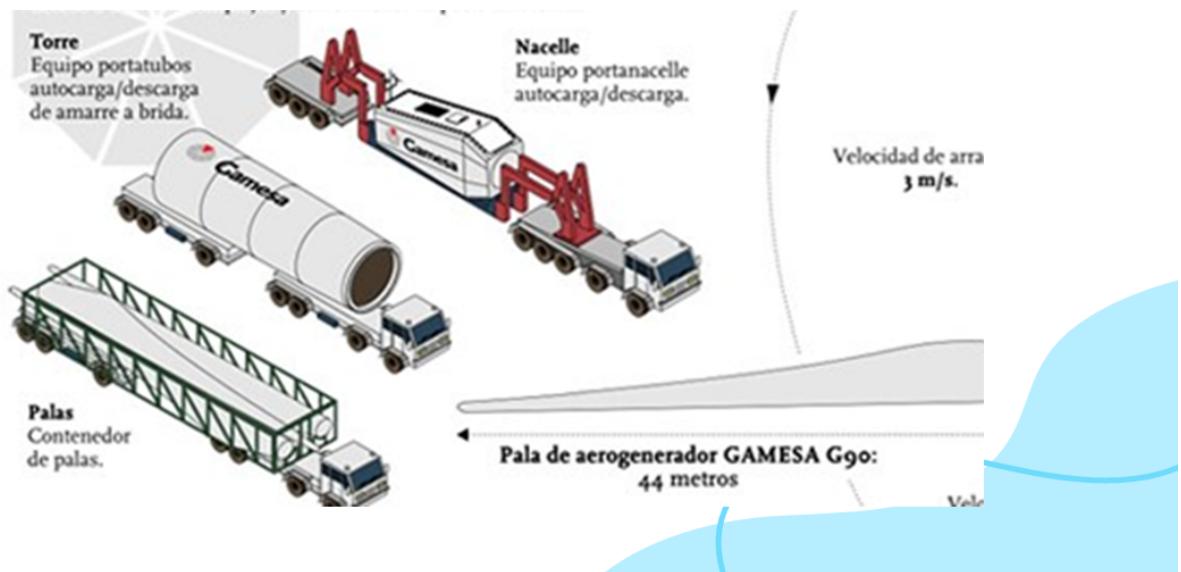
A través de unos cables, la electricidad producida por el **generador**, se transporta hacia la base de la torre, y se lleva hacia un **transformador**, que se encargará de elevar la tensión para enviarla hacia la red eléctrica de distribución.



Construcción, transporte y montaje



Transporte de las piezas

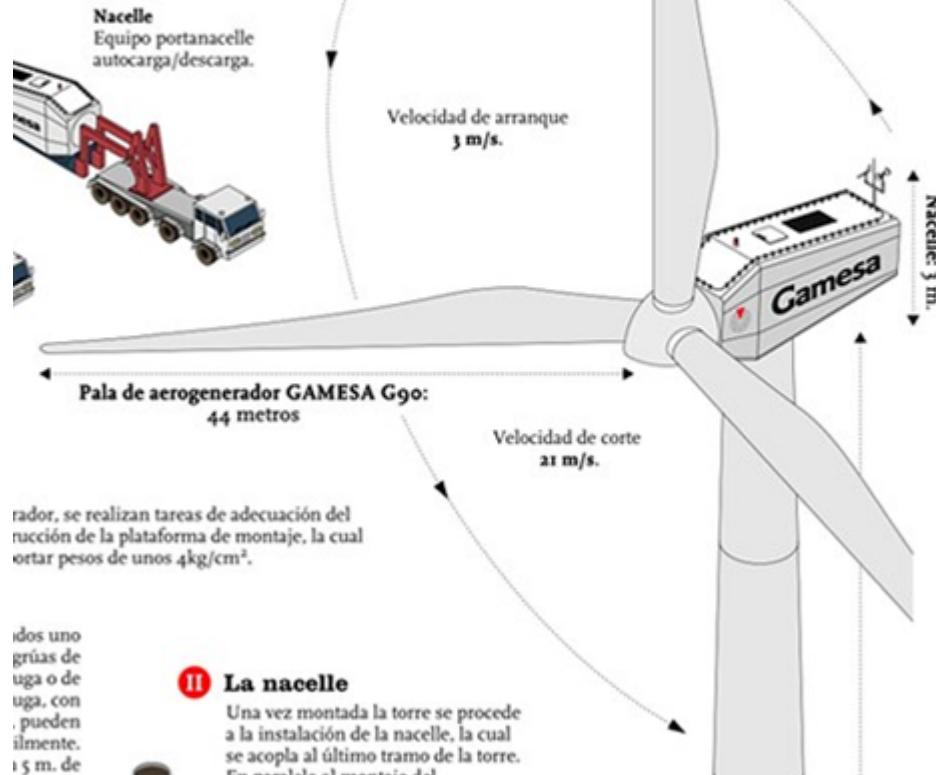


<http://www.youtube.com/watch?v=ACGEJbfWGmA>

Velocidad del viento

Aerogenerador GAMESA G8X-2.0 MW

specializados para trasladar sus
Estos innovadores medios facilitan el
impacto ambiental.



rador, se realizan tareas de adecuación del
ncción de la plataforma de montaje, la cual
ortar pesos de unos 4kg/cm^2 .

dos uno
grúas de
uga o de
uga, con
, pueden
ilmente.
15 m. de

Velocidad de arranque

La **velocidad de arranque** es la velocidad mínima del viento a la cual un aerogenerador comienza a producir electricidad. Antes de alcanzar esta velocidad, el viento no genera la suficiente fuerza para mover las aspas del generador de manera eficiente. Generalmente, esta velocidad oscila entre **3 y 4 metros por segundo (m/s)**. A partir de este punto, el aerogenerador puede comenzar a convertir la energía cinética del viento en energía eléctrica.

Velocidad de corte

La **velocidad de corte** es la velocidad máxima del viento a la que un aerogenerador puede operar de manera segura. Si el viento supera esta velocidad, que suele estar alrededor de **25 metros por segundo (m/s)**, el aerogenerador se detiene automáticamente. Esto sucede para evitar daños en la estructura y las partes mecánicas del aerogenerador, ya que vientos extremadamente fuertes pueden ejercer demasiada fuerza sobre las aspas y otros componentes. Al desconectarse, la turbina se protege hasta que el viento vuelva a condiciones seguras.

Tipos de instalaciones

Instalaciones aisladas

No conectadas a la red eléctrica. Se utilizan para aplicaciones tales como electrificaciones rurales, aplicaciones agrícolas, señalización, repetidores de comunicaciones, bombeo de agua, etc. Utilizan, en la mayoría de los casos aerogeneradores de pequeña potencia. Tienen que disponer de un sistema de acumulación (**baterías**) para asegurar el suministro eléctrico

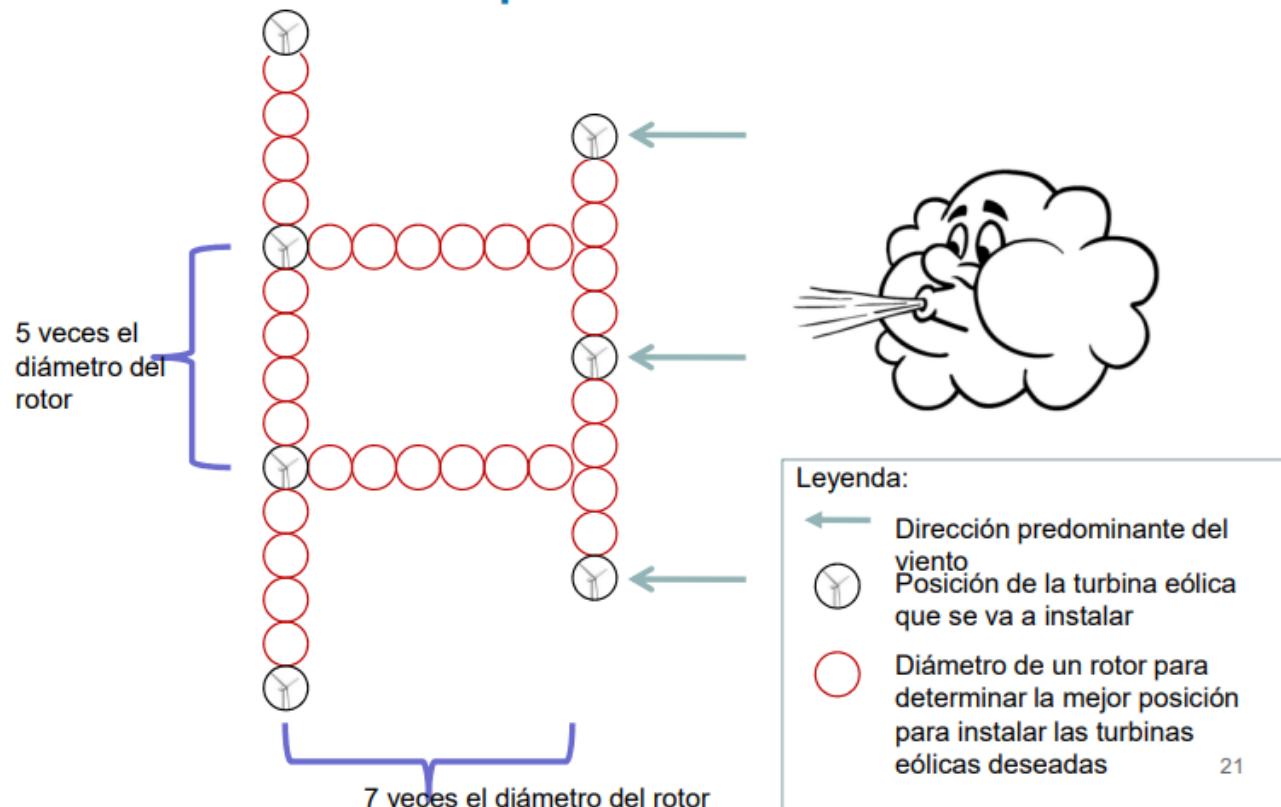


Parques eólicos

Los parques eólicos son un conjunto de aerogeneradores que producen energía eléctrica de forma conjunta trabajando en paralelo. Los aerogeneradores suelen ser iguales y de elevadas potencias.



Los parques eólicos que generan importantes cantidades de energía eléctrica, con potencias superiores a 1 MW, también reciben el nombre de **centrales eólicas**. Es vital colocar los aerogeneradores con una distribución específica que garantice la eficiencia y mejor funcionamiento.

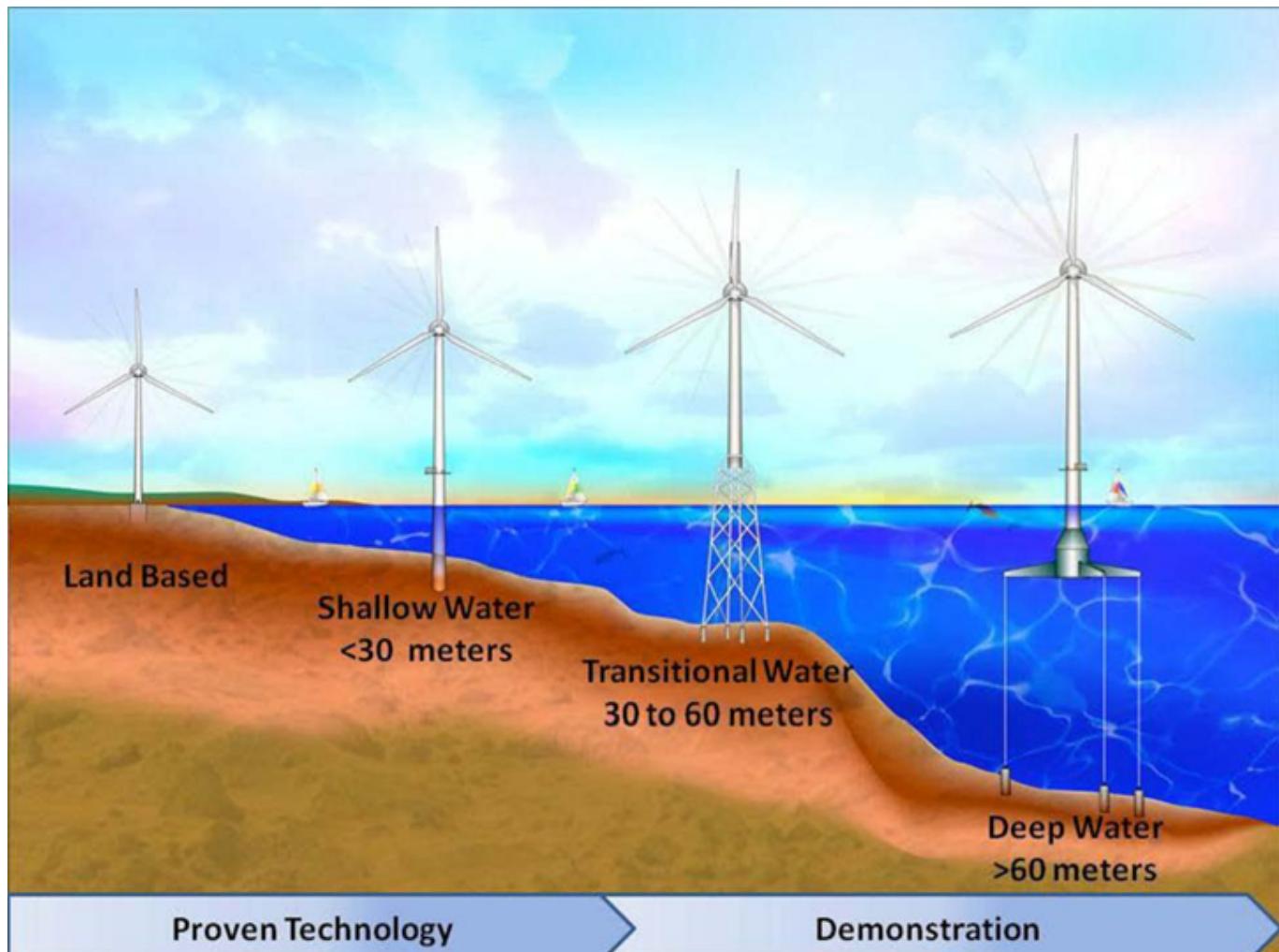


Energía eólica marina

La energía eólica es más fuerte en el océano que en tierra. Hasta hace poco tiempo, al basarse en estructuras fijas, no podían instalarse en lugares de fondos marinos muy profundos o complejos, algo que ha cambiado con la aparición de las estructuras flotantes.



Sobre estas plataformas ya se pueden instalar aerogeneradores, que se anclan al fondo marino mediante anclajes flexibles, cadenas o cables de acero.



La mayoría de los aerogeneradores tienen tres palas porque este número de palas ha demostrado ser el mejor para un equilibrio óptimo entre eficiencia y costo. Con tres palas, se puede alcanzar una velocidad de rotación constante con menos vibraciones y turbulencias.

Videos

1. [¿Cómo funciona un aerogenerador? | Sostenibilidad - ACCIONA](#)
2. [SUBIMOS num GERADOR EÓLICO #Boravê](#)