



Física y Tecnología Energética

18 - Energía Eólica.



Energía eólica

- La atmósfera es una máquina térmica

Calor (Sol)  Energía cinética (viento)

- El viento se genera por las diferencias de presión provocadas por las variaciones del calentamiento por radiación solar en los distintos puntos de la Tierra.
 - Sólo un 2 % de la energía solar que llega a la Tierra se convierte en energía eólica
 - Sólo una pequeña parte de esta energía es aprovechable.
 - Se estima que el potencial energético de esta fuente de energía es unas 10 veces el actual consumo mundial de energía.
- El régimen de vientos en un punto determinado depende de:
 - Situación geográfica
 - Características climáticas
 - Estructura topográfica
 - Irregularidades del terreno
 - Altura sobre el nivel del suelo

El viento

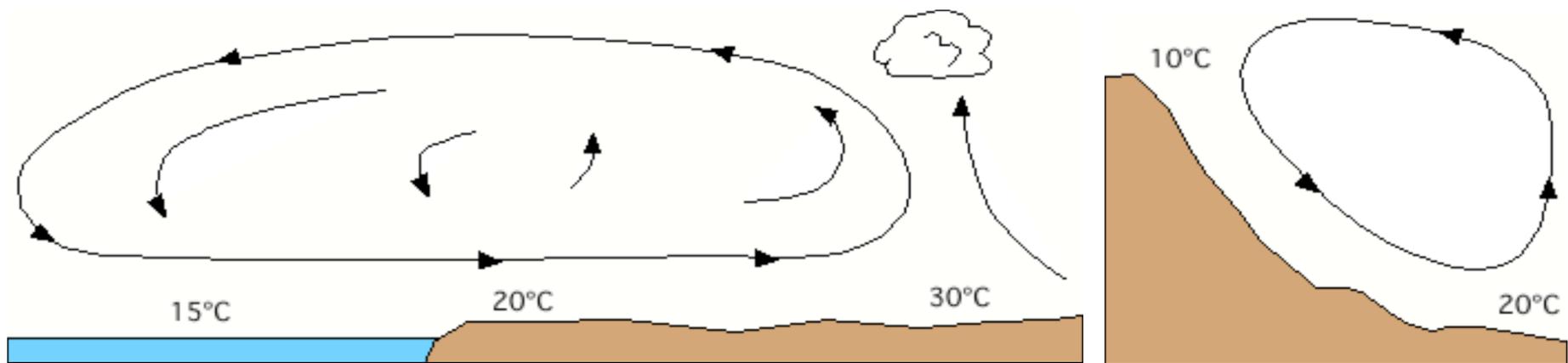
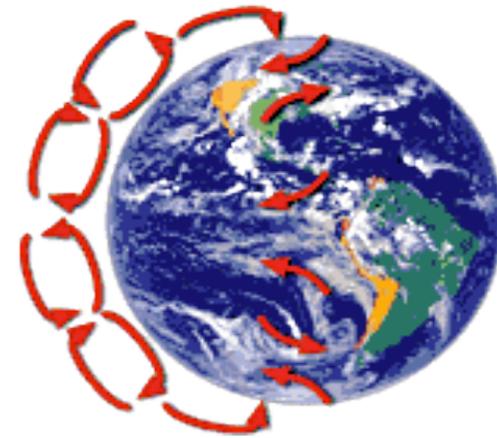
Hay dos tipos de circulación del aire en la atmósfera:

Circulación planetaria:

- debida a la incidencia de los rayos solares y la rotación
- varía según la zona y la época del año

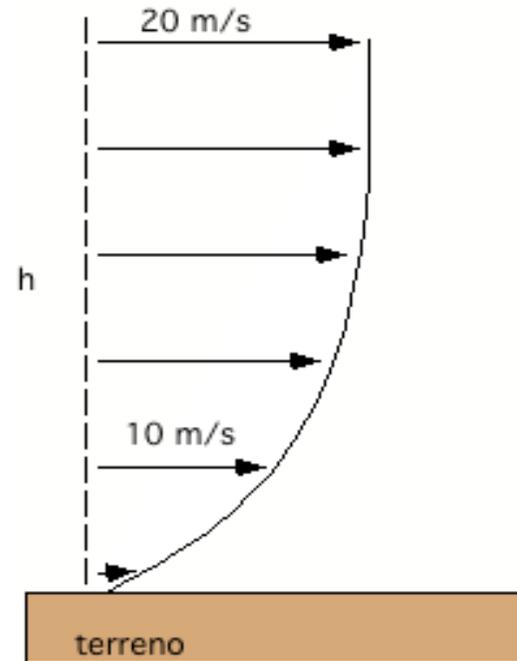
Circulación a pequeña escala:

- viene determinada por la orografía del terreno, como las montañas y la presencia del mar

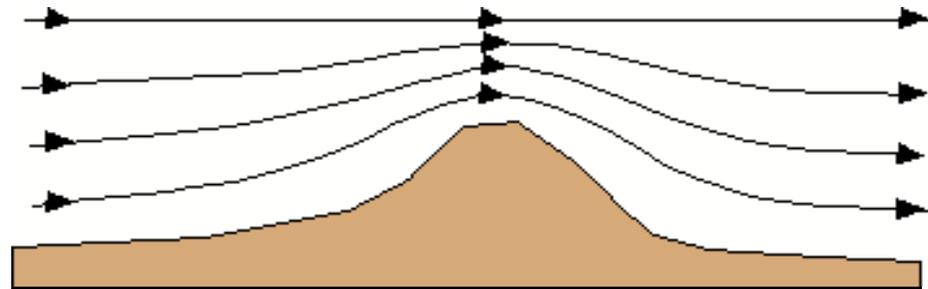
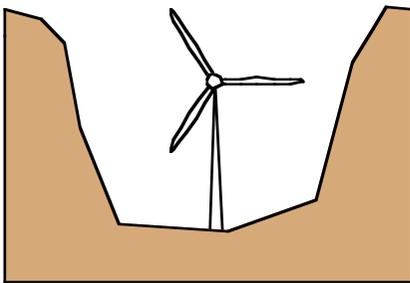


El viento

La velocidad del viento depende de la altura sobre el terreno

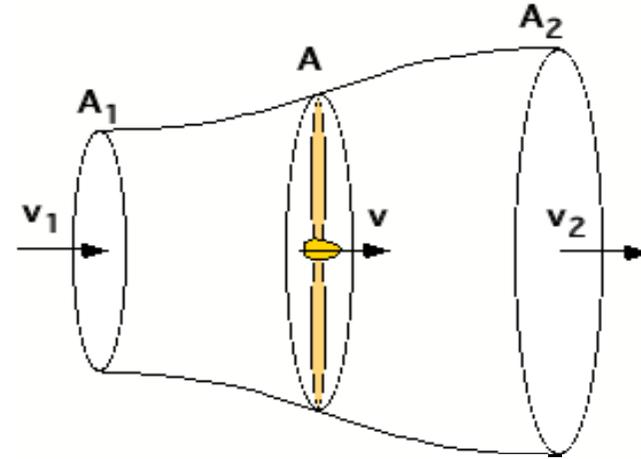


La velocidad del viento aumenta en los encajonamientos y en la loma de las colinas



Eficiencia máxima de Betz

Si queremos aprovechar la energía eólica con una hélice o rotor hay un valor máximo de la eficiencia de conversión de energía cinética del viento en trabajo



Consideremos la conservación del caudal

$$\frac{dm}{dt} = \rho A_1 v_1 = \rho A v = \rho A_2 v_2$$

La potencia generada será igual a la disminución de energía cinética por unidad de tiempo

$$P_{\text{gen}} = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} (v_1^2 - v_2^2) = \frac{1}{2} \rho A v (v_1^2 - v_2^2)$$

La velocidad en el rotor es $v = \frac{v_1 + v_2}{2}$

La potencia del viento es

$$P_{\text{vien}} = \frac{dE_c}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} v_1^2 = \frac{1}{2} \rho A v_1^3$$

Por tanto la eficiencia será

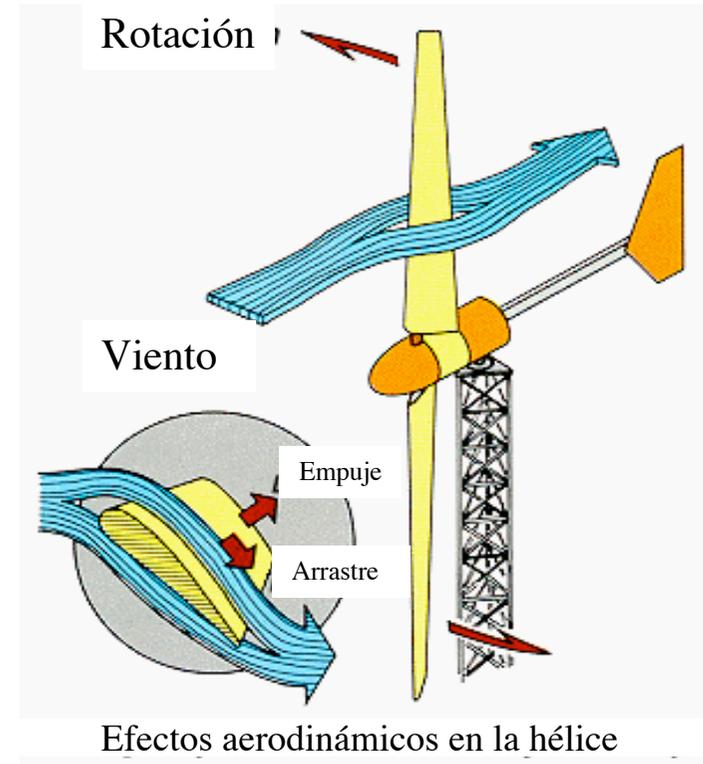
$$\eta = \frac{P_{\text{gen}}}{P_{\text{vien}}} = \frac{(v_1 + v_2)(v_1^2 - v_2^2)}{2v_1^3} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{v_2}{v_1} \right) \left(1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right)$$

Esta eficiencia es máxima cuando $v_1 = 3 v_2$ alcanzando el valor

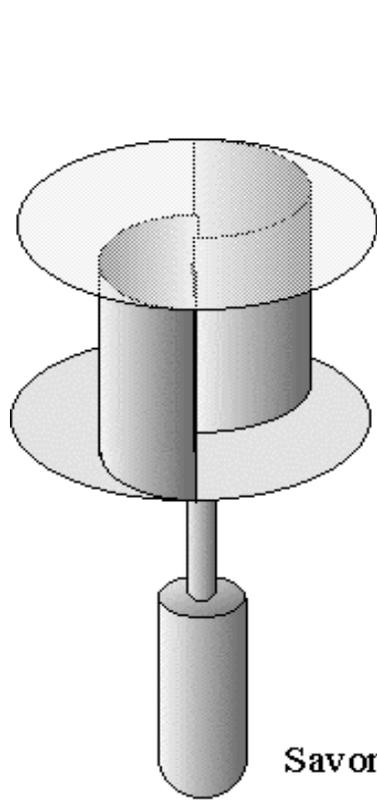
$$\eta = \frac{16}{27} = 59.25\%$$

Rotores reales

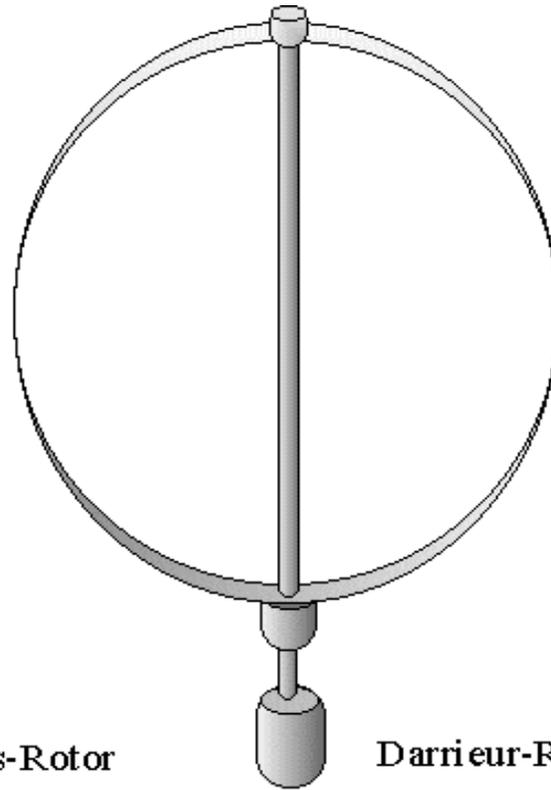
- El empuje del aire en los rotores es un fenómeno complejo
- La eficiencia es siempre menor que la de Bletz porque se generan componentes rotacionales y turbulencia



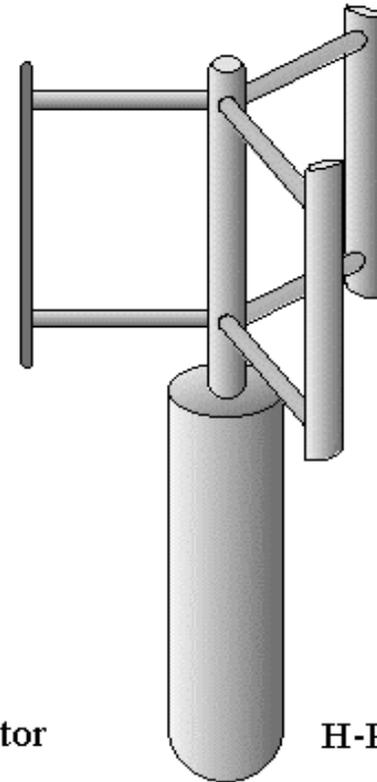
Rotores de eje vertical



Savonius-Rotor

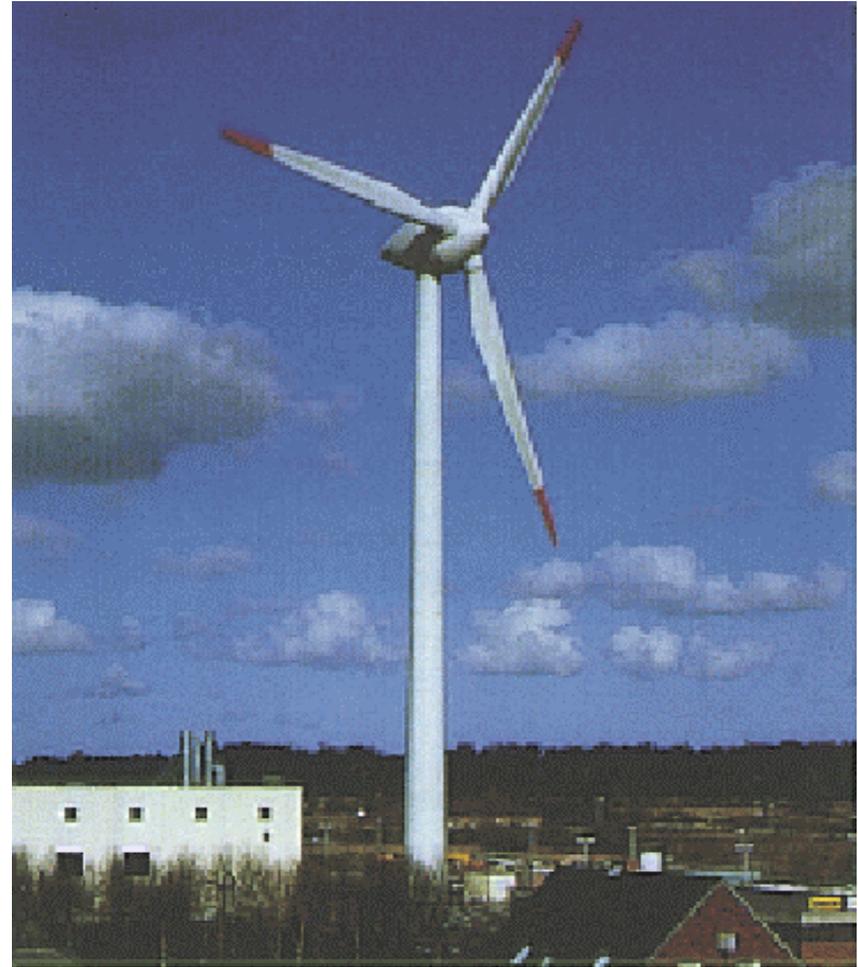


Darrieur-Rotor



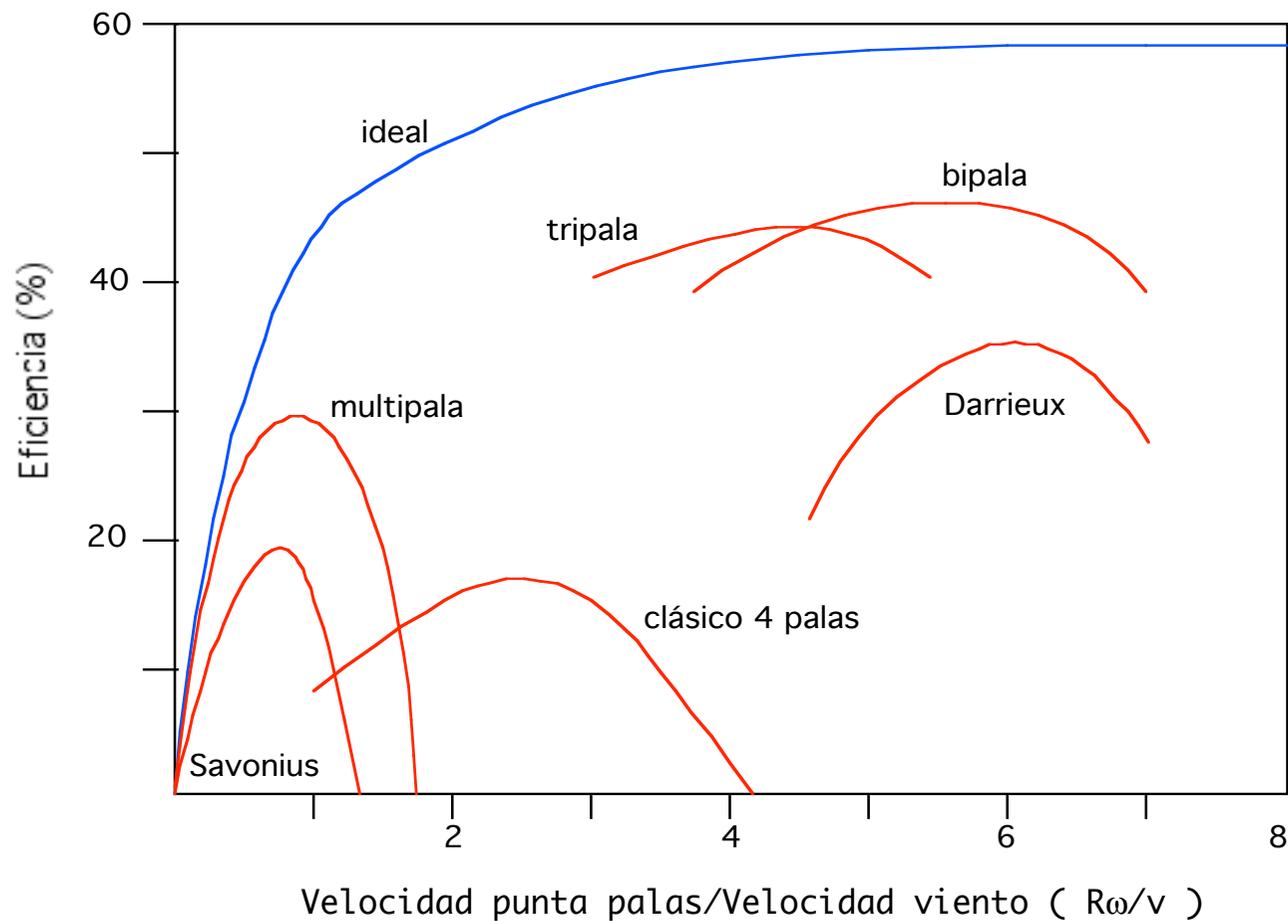
H-Rotor

Rotores de eje horizontal



Eficiencia de los rotores

Depende de la relación entre la velocidad de giro del rotor y la velocidad del viento



Cuanto menos palas mejor es el rendimiento

Las helices bipala y monopala tienen problemas para arrancar solas con el viento

Aplicaciones de la energía eólica

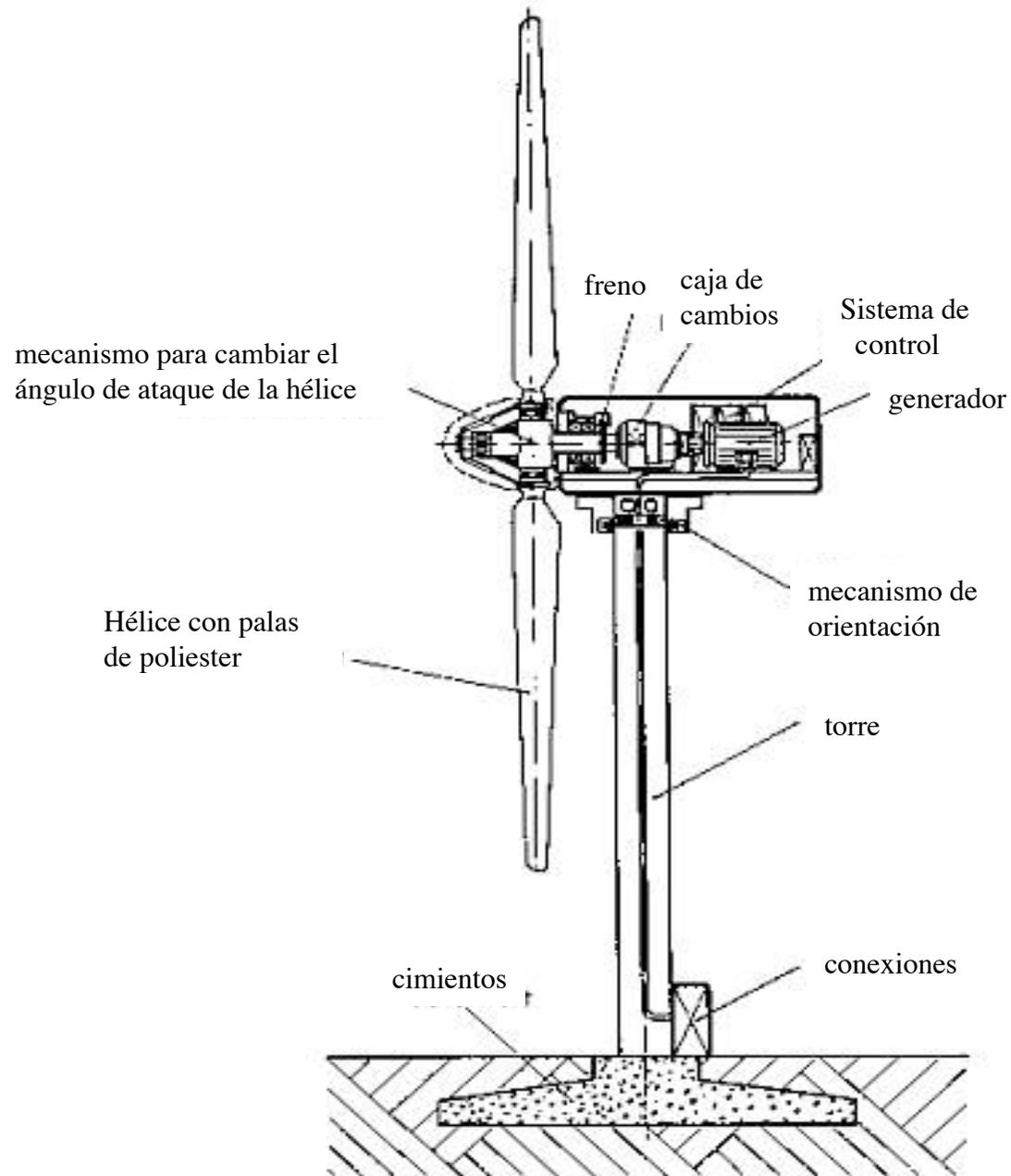
Centralizadas

- Aerogeneradores de gran potencia: en el rango de potencias de los MW
- Parques eólicos: agrupaciones de aerogeneradores de mediana potencia (alrededor de 100 kW)
- Generación de electricidad, con conexión a la red de distribución eléctrica

Autónomas

- Máquinas eólicas de pequeña potencia
- Bombeo de agua y riego
- Acondicionamiento y refrigeración de almacenes
- Refrigeración de productos agrarios
- Calentamiento de agua
- Alumbrado y usos eléctricos diversos, acompañado o bien almacenamiento, o bien con conexión con la red

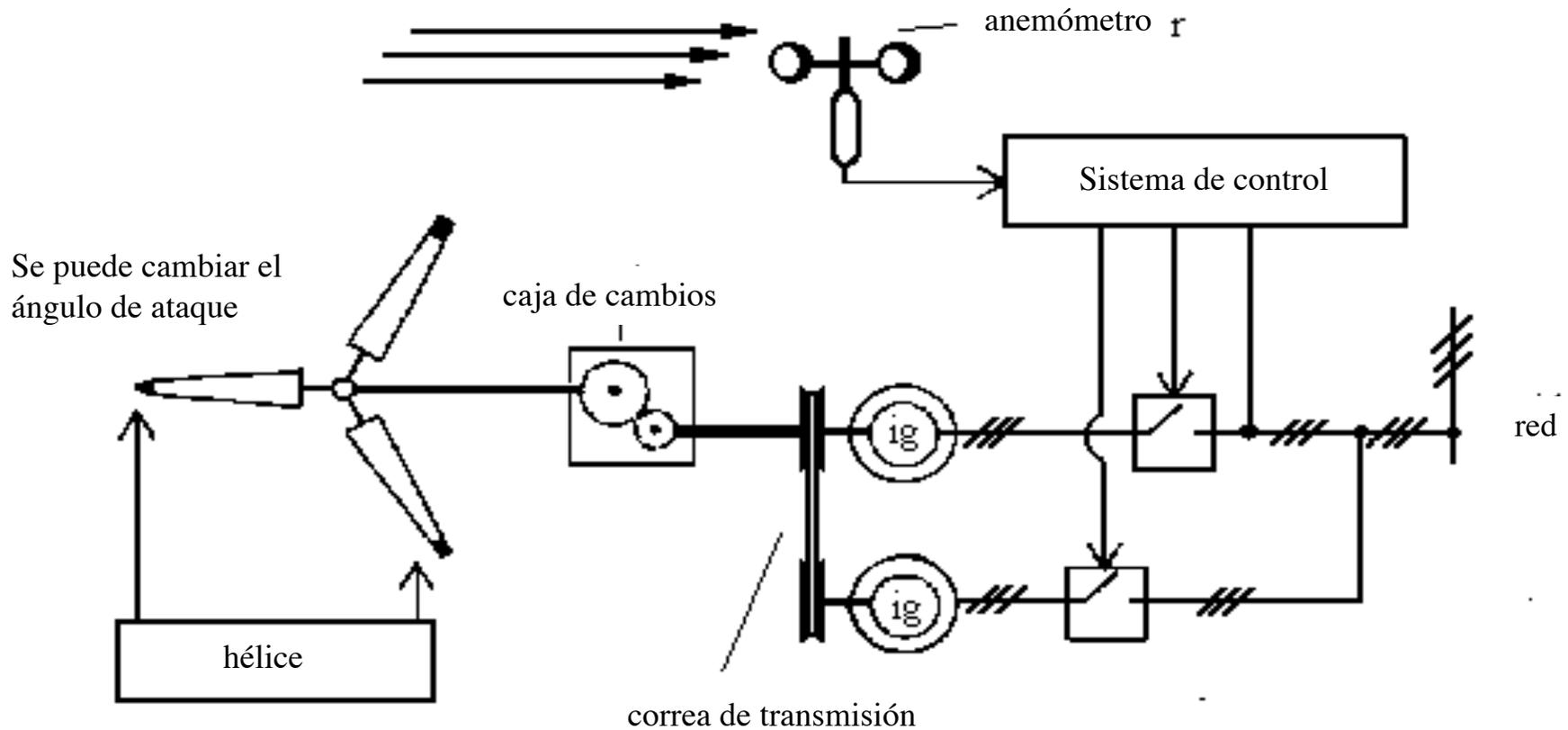
Aerogenerador



Son necesarios:

- orientación con el viento
- cambio del ángulo de ataque de las palas
- sistemas de regulación de velocidad y frenado
- Para generar CA una caja de cambios para pasar de 10-200 rpm a 3000 rpm (50Hz) o menos con un generador multipolar

Aerogeneradores

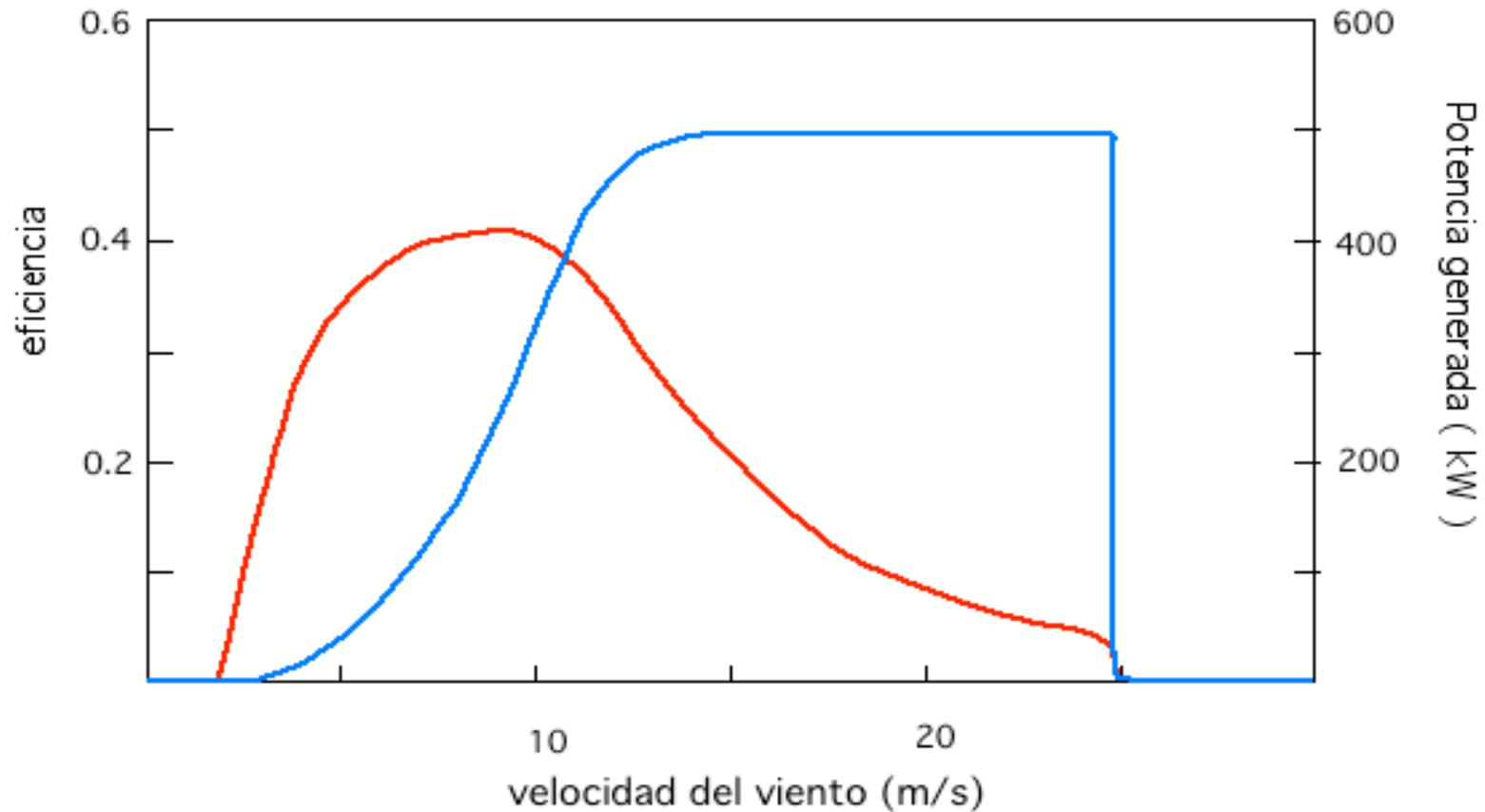


Para producir Corriente Alterna con 50 Hz:

- Velocidad constante - Difícil de conseguir
- Velocidad variable - producir Corriente Continua y luego emplear un convertidor CC/CA

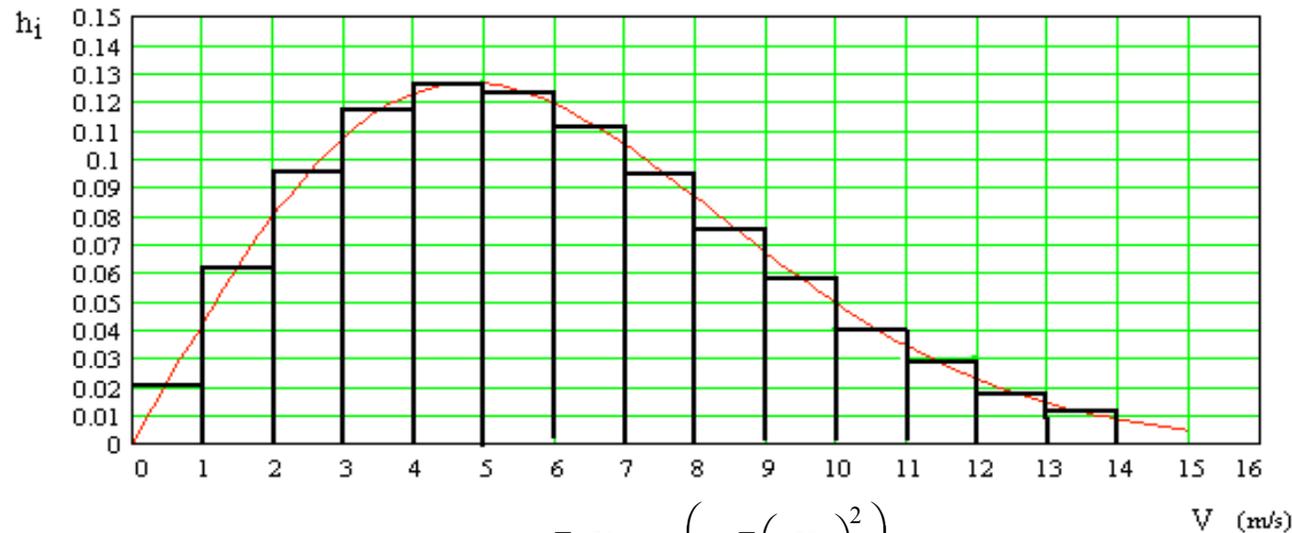
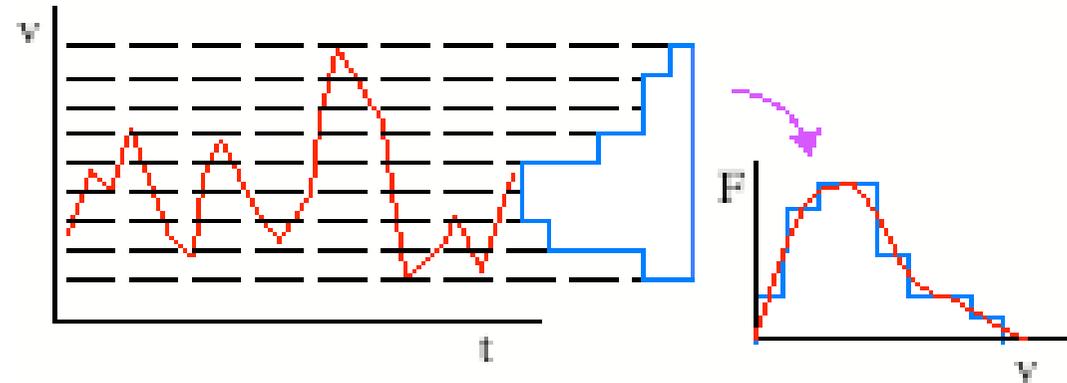
Aerogeneradores

- Generalmente sólo funcionan para velocidades del viento comprendidas entre un valor mínimo y un valor máximo de seguridad.
- Tienen un máximo de potencia eléctrica que pueden producir



Distribución de la velocidad del viento

- El viento en una zona varía continuamente su dirección y velocidad
- La energía producida depende de su distribución temporal de velocidades



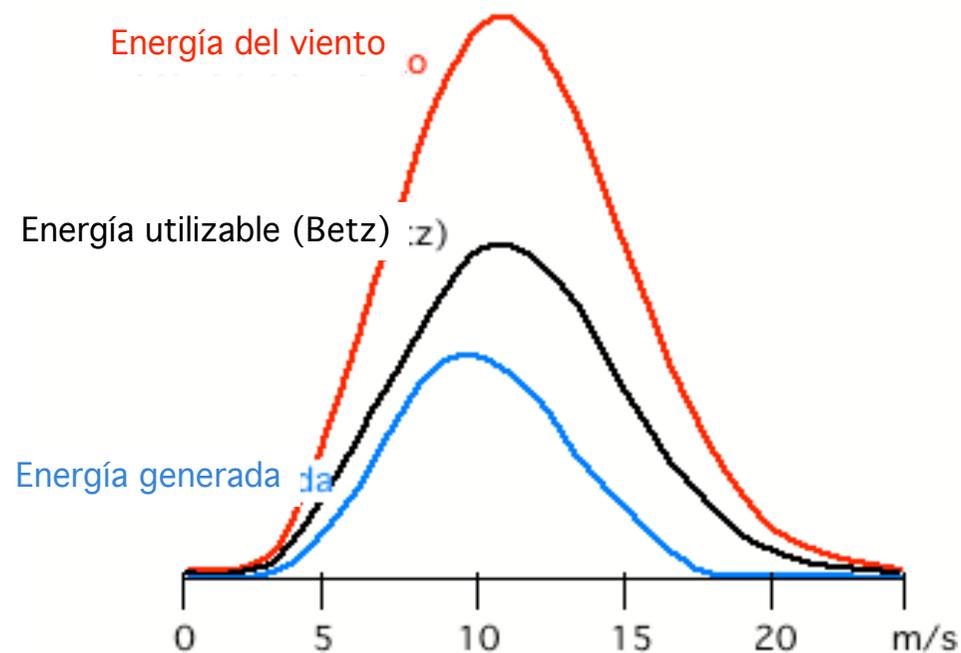
$$h_i = \frac{\pi}{2} \frac{v}{v_m^2} \exp\left(-\frac{\pi}{4} \left(\frac{v}{v_m}\right)^2\right)$$

La energía producida a lo largo de un tiempo t será

$$W = \int P dt = t \sum h_i(v) \eta(v) \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Energía y velocidad

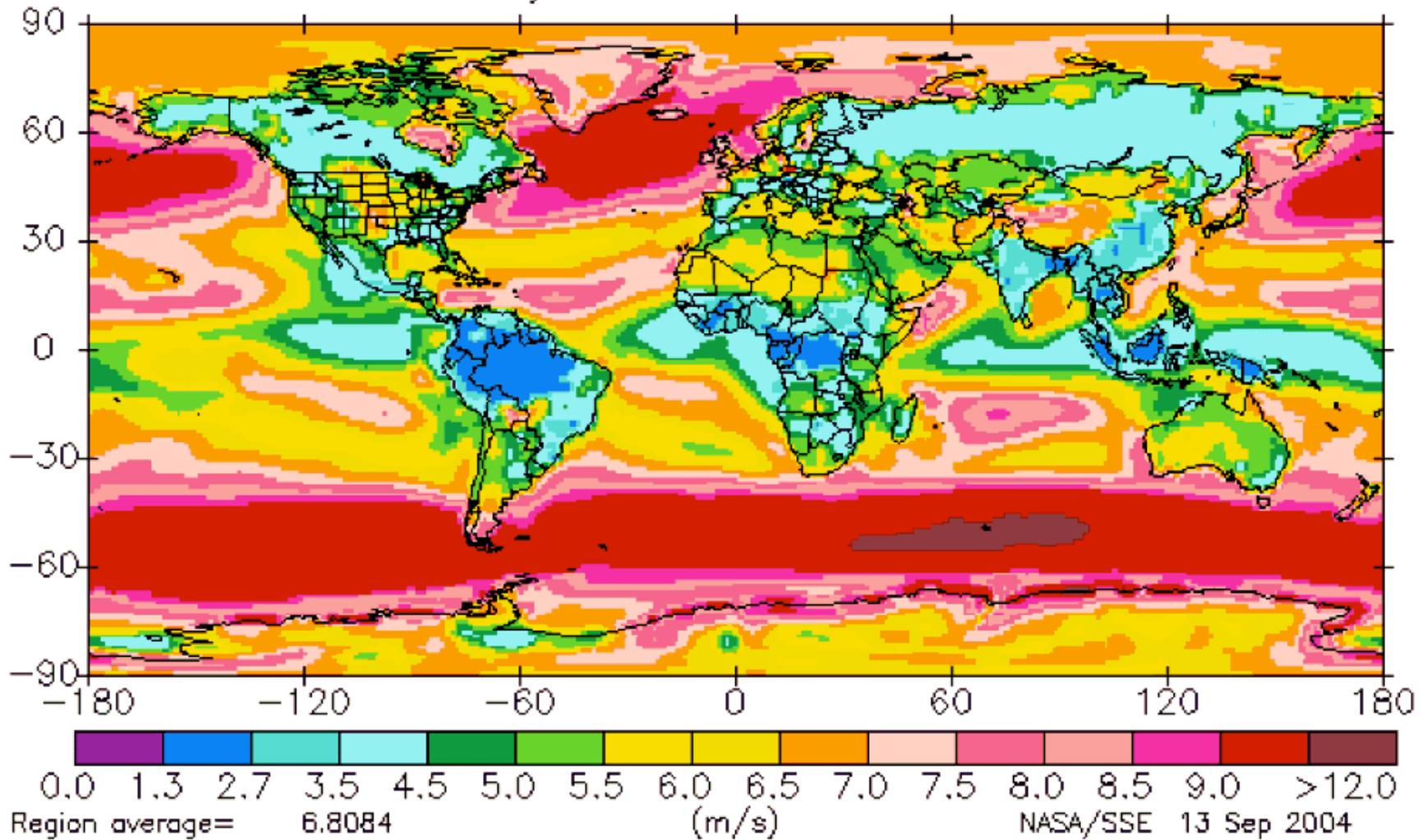
Teniendo en cuenta la distribución de velocidades, la energía total acumulada producida por un aerogenerador para cada valor de la velocidad será:



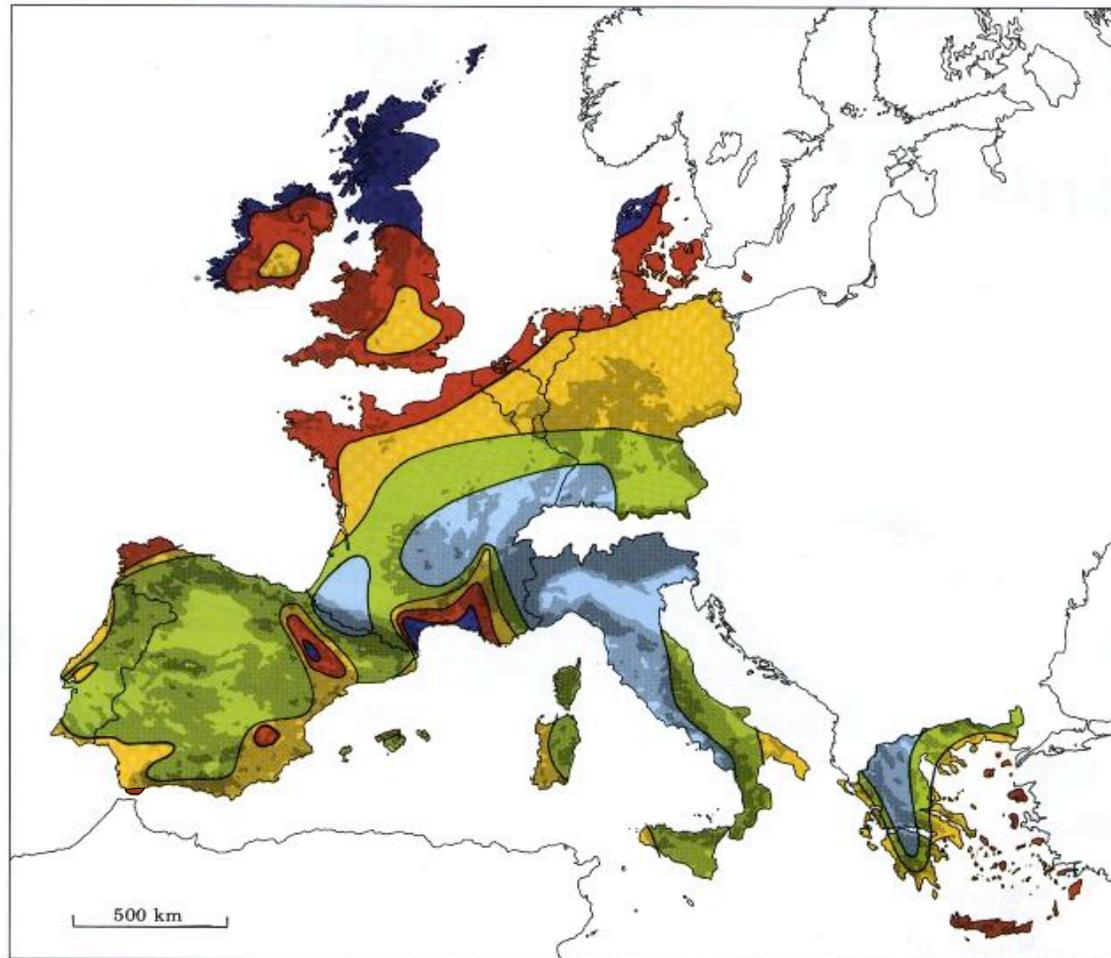
Existe un valor óptimo de la velocidad del viento, para el cual deben diseñarse los parámetros del rotor

Recursos eólicos en el Mundo

Annual 50m Wind Speed
July 1983 – June 1993



Recursos eólicos en Europa



Wind resources¹ at 50 metres above ground level for five different topographic conditions

	Sheltered terrain ²		Open plain ³		At a sea coast ⁴		Open sea ⁵		Hills and ridges ⁶	
	$m s^{-1}$	Wm^{-2}	$m s^{-1}$	Wm^{-2}	$m s^{-1}$	Wm^{-2}	$m s^{-1}$	Wm^{-2}	$m s^{-1}$	Wm^{-2}
Dark Blue	> 6.0	> 250	> 7.5	> 500	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 11.5	> 1800
Red	5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
Yellow	4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	700-1200
Green	3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0- 8.5	400- 700
Light Blue	< 3.5	< 50	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 7.0	< 400

Energía eólica en España y en el Mundo

Plan de fomento de energías renovables

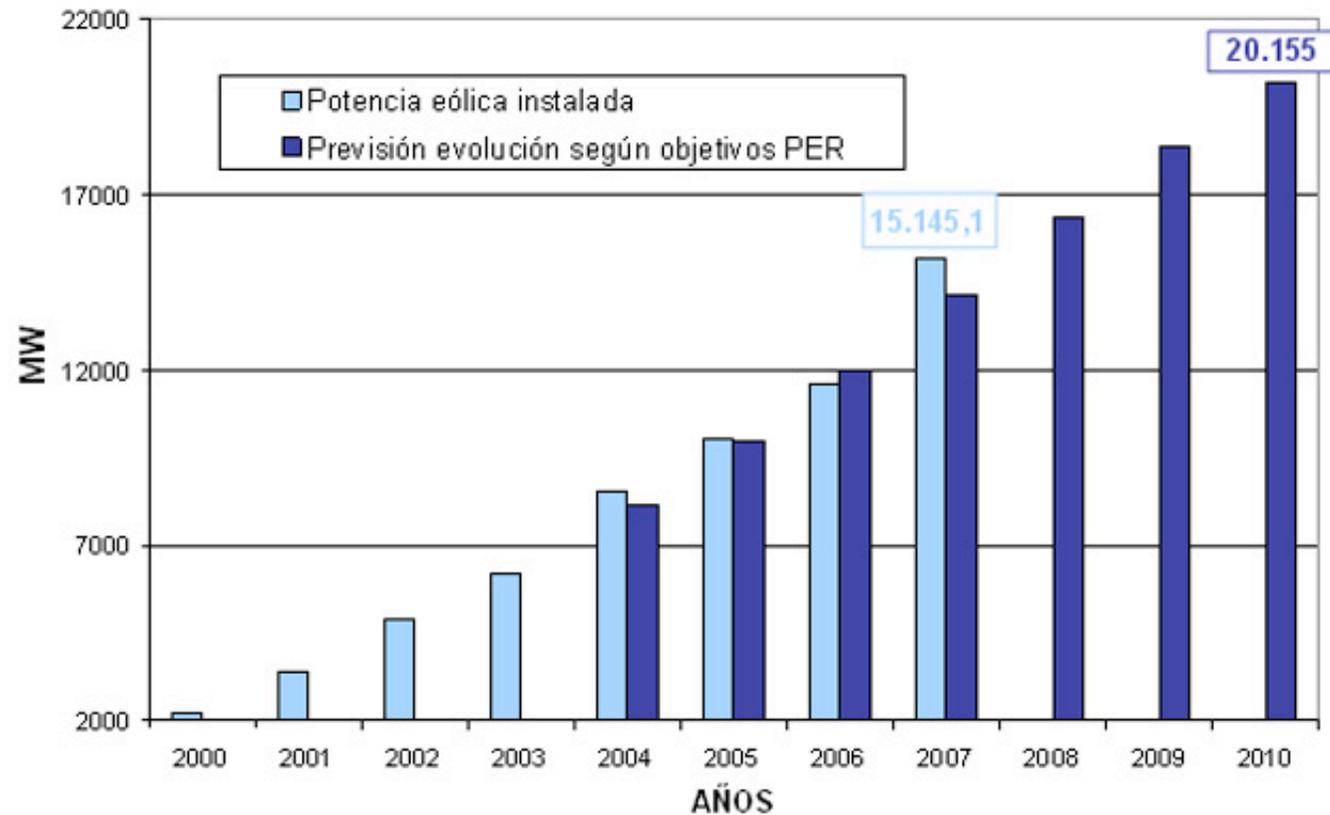
- En 1998 había 827 MW instalados que producían 2 130 GWh al año
- Para el 2010 se previeron 8 974 MW instalados produciendo 21 600 GWh al año
- En 2004 se alcanzó el 91% de lo previsto
- Actualmente se prevé para el 2010: 20 155 MW instalados produciendo 52 000 GWh (el consumo eléctrico total es de 200 000 GWh)
- Las industrias de fabricación de componentes y la instalación de parques eólicos está subvencionada

En el 2006, éramos el segundo país del mundo en potencia eólica instalada (MW)

Alemania	20 622	China	2 607
España	11 615	Italia	2 135
E.E.U.U	11 603	Reino Unido	1 966
India	6 270	Portugal	1 716
Dinamarca	3 140	Holanda	1 145

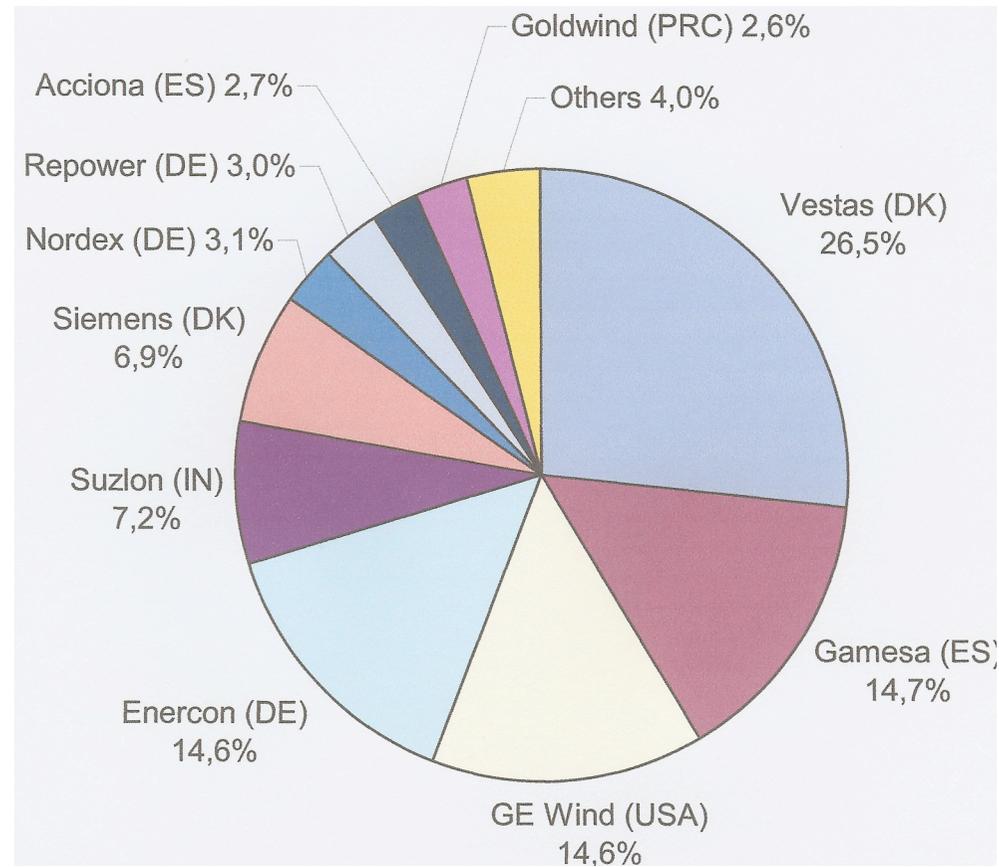
Total mundial: 74 288 MW instalados que producen ~180 000 GWh/año

Energía eólica en España - Plan de energías renovables



La producción se subvenciona con una prima de 0,03€ por kWh.

Energía eólica en el mundo



Aerogeneradores. Cuota de mercado mundial en 2006

Energía eólica marina



• **Mayor rendimiento:**
El viento en el mar es más constante, con menos turbulencias.

- Fácil de instalar en aguas poco profundas
- En aguas profundas es mucho más cara
- No tiene por qué interferir con la navegación ni la pesca

- Se están instalando en Dinamarca, Holanda y Reino Unido

En España

- Actualmente solo hay una instalación “marina” de 10 MW (5 aerogeneradores) en el dique exterior del Puerto de Bilbao
- Los proyectos existentes despiertan mucha oposición

Energía mixta eólico-solar

Creación de un ciclón artificial

El sol calienta el aire bajo la cubierta de plástico, lo que genera una fuerte corriente de aire en la chimenea.

Desde 1986 a 1989 existió un prototipo en Manzanares (Ciudad Real) de Schlaich Bergermann und Partners, con una potencia de 50 kW. Cubriendo 46,000m². Y con una chimenea de 195 metros de altura. Fue destruido por una tormenta.

En el 2006 se ha presentado un nuevo proyecto para instalar una nueva central en la Mancha



Ventajas e inconvenientes de la energía eólica

- Es abundante, inagotable y está más o menos bien repartida.
- Se puede emplear en lugares remotos. Aunque en zonas de heladas frecuentes tiene dificultades para funcionar.
- La tecnología necesaria ya está madura.
- De momento la electricidad eólica es un poco más cara que la convencional, (recibe una subvención de 0,03 €/kWh), pero su precio ha bajado notablemente en la última década y continuará haciéndolo.
- La contaminación generada al fabricar los aerogeneradores no es muy importante.

- Es una fuente de energía intermitente e impredecible. Necesita otros sistemas complementarios.
- Los parques eólicos ocupan grandes extensiones de terreno (los aerogeneradores deben estar separados 5-9 veces el diámetro de la hélice en la dirección del viento y 3-5 veces en la perpendicular). Aunque su uso puede ser compatible con el agrícola y ganadero.
- Los aerogeneradores hacen ruido, molestan a las aves (incluso matan) y según gustos, contaminan estéticamente el medio ambiente