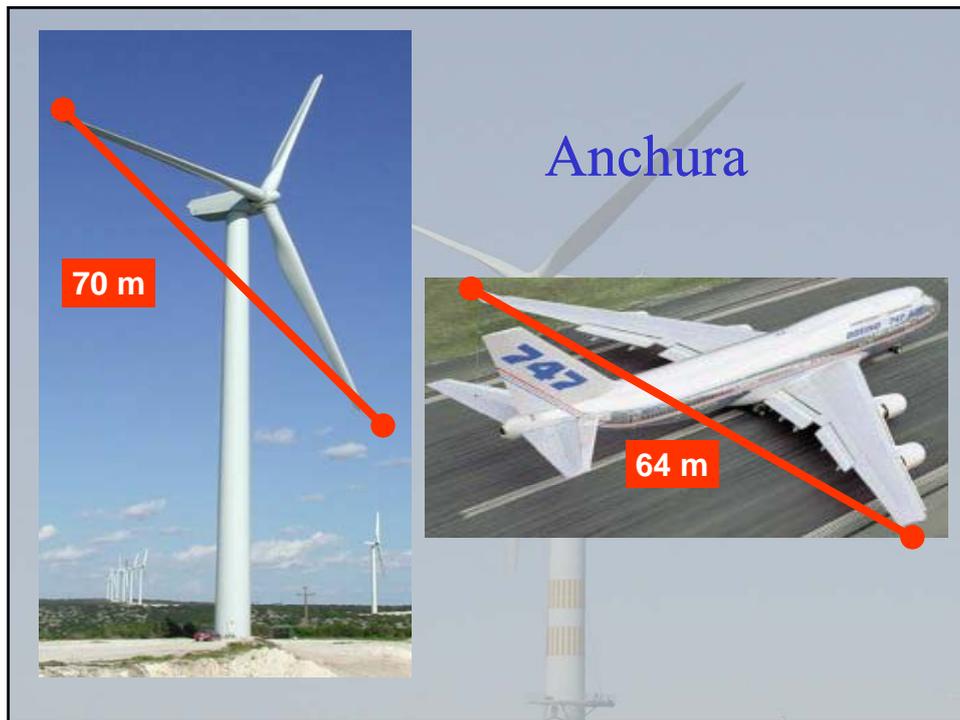


# LA ENERGÍA EÓLICA

Diego Pablo Ruiz Padillo  
Dpto. Física Aplicada  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada

## Tipos actuales de turbinas eólicas

 <p><b>Pequeña turbina</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hogar &amp; Granjas</li> <li>• Aplicaciones Remotas</li> </ul> <p>€5,000-€50,000+ 0,6-6 m diametro ≤10 kW</p>	 <p><b>Mediano tamaño</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia pueblo</li> </ul> <p>€80,000-€500,000 6-46 m diametro 10-250 kW</p>	
	<p><b>Gran Tamaño (250 kW – 5 MW)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parques eólicos</li> <li>• Potencia distribuida</li> </ul> <p>€750,000 - €3,000,000 (por turbina) 46 – 92 m diámetro</p>	



### Razones para elegir turbinas pequeñas

1. La red eléctrica local puede ser demasiado débil
2. Menos fluctuación en la electricidad de salida que en un parque eólico
3. El coste de usar grandes grúas y de construir carreteras para transportar los componentes de la turbina
4. Consideraciones estéticas en relación al paisaje

## Razones para elegir grandes turbinas

1. Economías de escala
2. Las máquinas más grandes están particularmente bien adaptadas para la energía eólica en el mar
3. Una gran turbina utiliza los recursos eólicos existentes de manera más eficiente

El Viento: tipos de viento

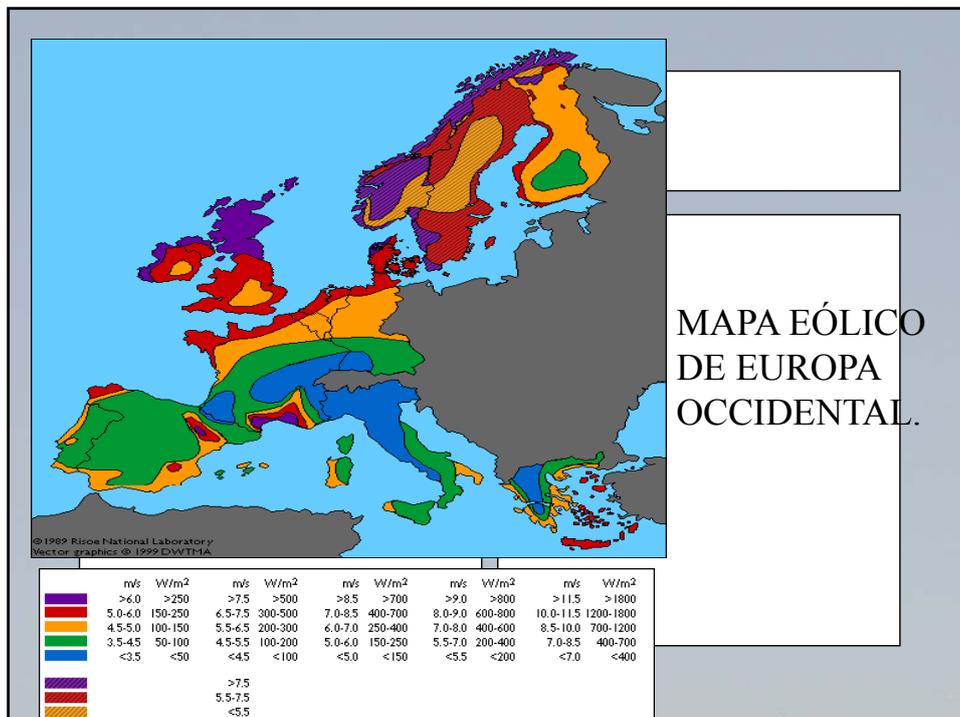
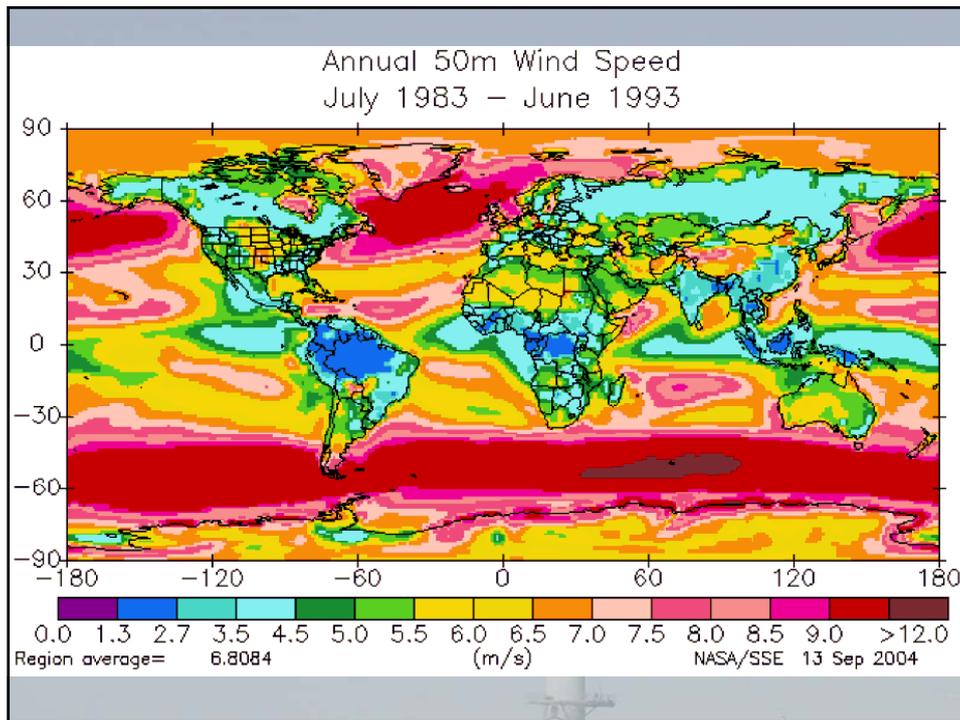
## TIPOS DE VIENTOS: Según la escala

Los vientos tienen distinto origen o naturaleza según la escala

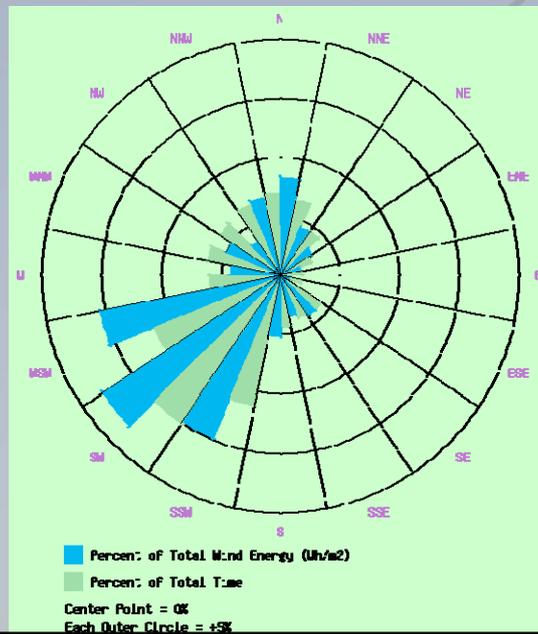
- Variación a escala global, ~ 10.000 km
- Variación en la macroescala, ~ 1.000 km
- Variación en la mesoescala, ~ 100 km
- Variación en la microescala, ~ 10 km
- Variación del viento en las escalas de la turbulencia



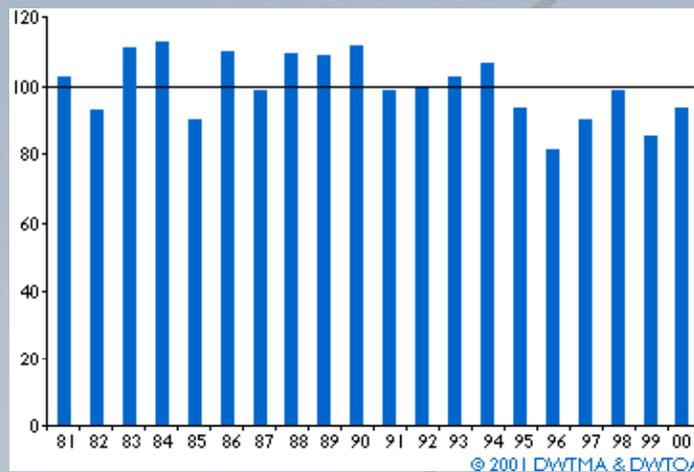
¿Dónde está el viento?



## Rosa de los vientos

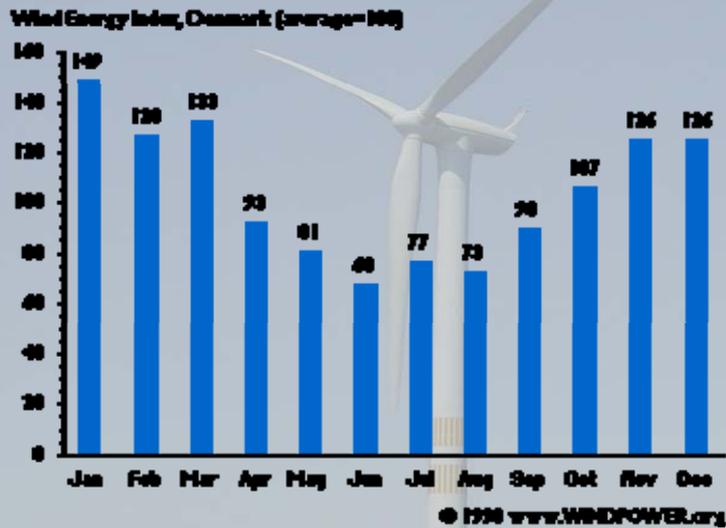


## EL VIENTO VARÍA ANUALMENTE



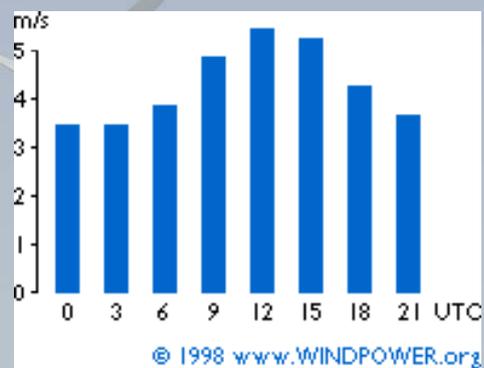
Las velocidades medias del viento pueden variar hasta un 25% de año a año

## VARÍA MENSUALMENTE

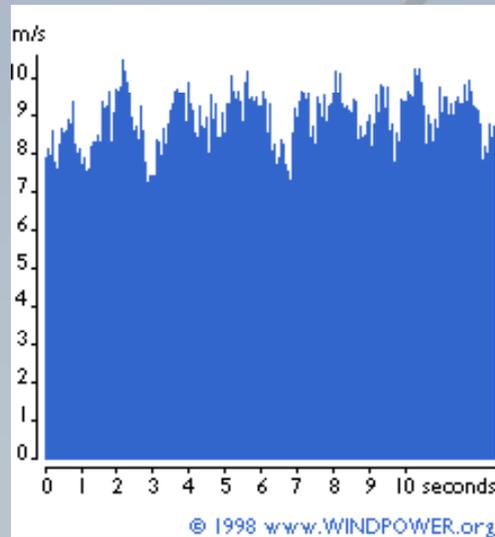


## Y DIARIAMENTE

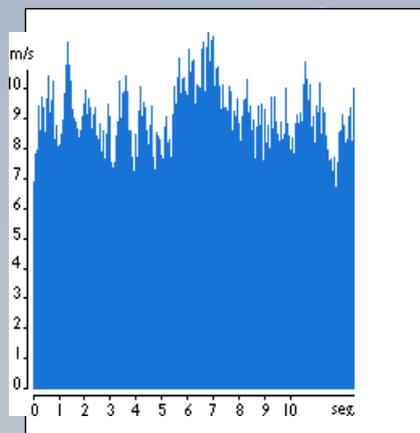
- El viento varía debido al tiempo atmosférico y al calentamiento convectivo
- Típicamente, es mayor al caer la tarde
- El calentamiento convectivo influye menos en invierno, cuando las borrascas dominan los patrones de viento.



## Y POR SUPUESTO, INSTANTÁNEAMENTE



## VARIABILIDAD DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO Y TURBULENCIAS



- TURBULENCIAS, POR OBSTÁCULOS, CONDICIONES CLIMÁTICAS, ETC.
- GENERAN UNA MAYOR VARIABILIDAD EN LA VELOCIDAD DEL VIENTO, QUE SUPONE UN AUMENTO EN LA FATIGA DEL AEROGENERADOR.

## La energía del viento

## Potencia del Viento

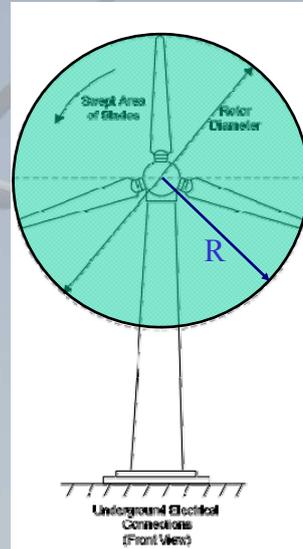


Potencia = Trabajo / t  
= Energía cinética / t  
=  $\frac{1}{2}mV^2 / t$   
=  $\frac{1}{2}(\rho Ad)V^2/t$   
=  $\frac{1}{2}\rho AV^2(d/t)$   $d/t = V$   
=  $\frac{1}{2}\rho AV^3$

Potencia en el viento =  $\frac{1}{2}\rho AV^3$

## Potencia en el Viento = $\frac{1}{2}\rho AV^3$

- Área de barrido –  $A = \pi R^2$  (m<sup>2</sup>)
- $\rho$  = densidad del aire 1-kg/m<sup>3</sup>



## Balance energético en una aeroturbina

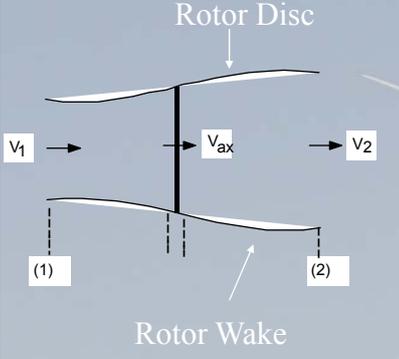


$$POTENCIA = \frac{ENERGÍA}{TIEMPO} = C_p \frac{1}{2} v_1^2 \rho VA = C_p \frac{1}{2} \rho v_1^3 A$$

Donde:  $C_p$  = Coeficiente de potencia, máximo valor 16/27

$C_p$  es el porcentaje de potencia del viento que se convierte en energía mecánica.

## ¿Cuál es la máxima cantidad de energía que puede extraerse del viento?



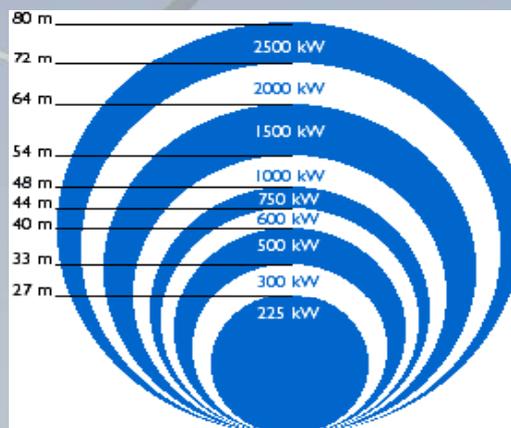
**• *Límite de Betz.***

$$C_{p,max} = \frac{16}{27} = .5926$$

Sólo puede convertirse en energía mecánica menos del 59,2 % de la energía cinética del viento usando un aerogenerador

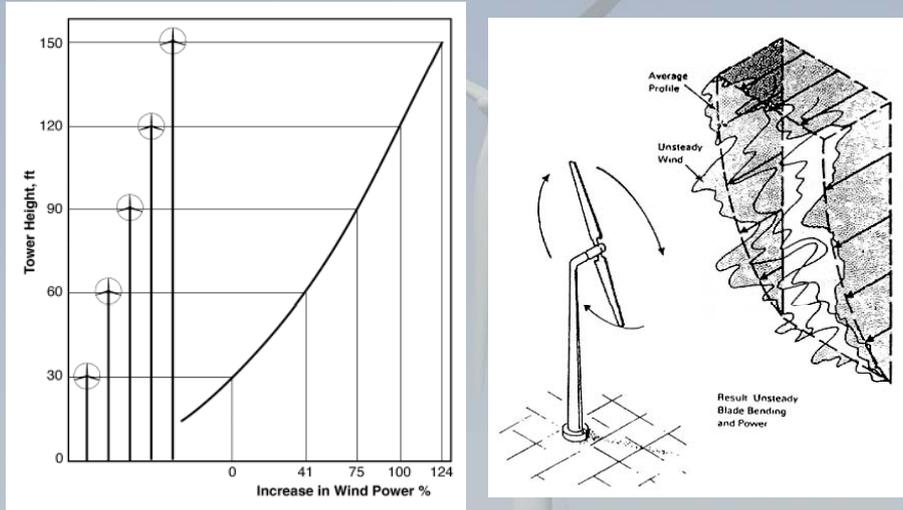
## IMPORTANCIA DEL DIÁMETRO DEL ROTOR

- El área de barrido es proporcional al cuadrado del diámetro del rotor.
- Un aumento del 20% en el diámetro del rotor incrementa el área en un 44%
- Duplicar el diámetro incrementa el área 4 veces

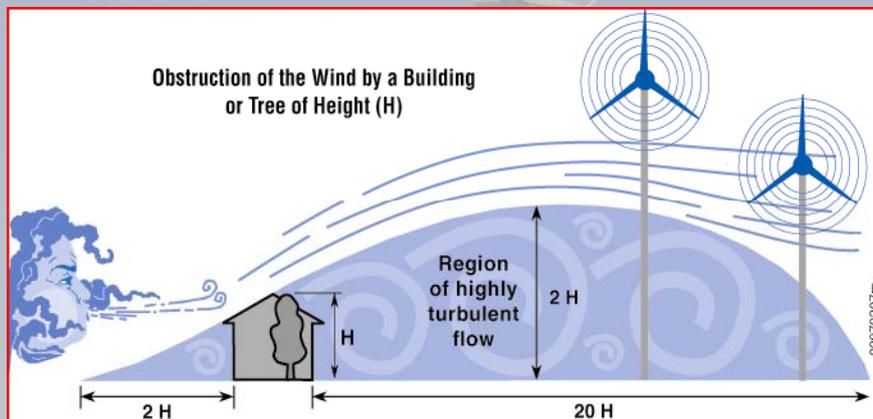


## Velocidad del viento & Altura

Más altura implica vientos más fuertes y constantes



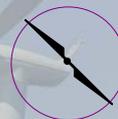
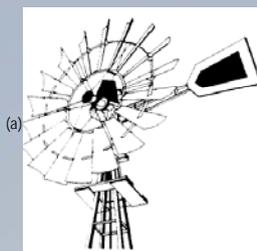
Elección correcta del emplazamiento: colocar la turbina lejos de obstáculos en la dirección principal del viento o usar una torre de altura doble a los obstáculos,



# DISEÑO DE AEROGENERADORES



## Energía eólica. Tipos de aeroturbinas

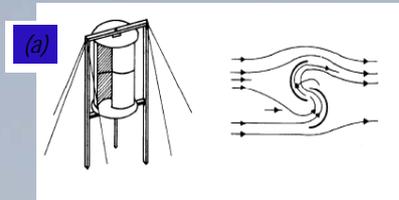


*Tipos de aerogeneradores de eje horizontal.*

*(a) Máquina multipala americana.*

*(b) Máquinas monopala, bipala y tripala.*

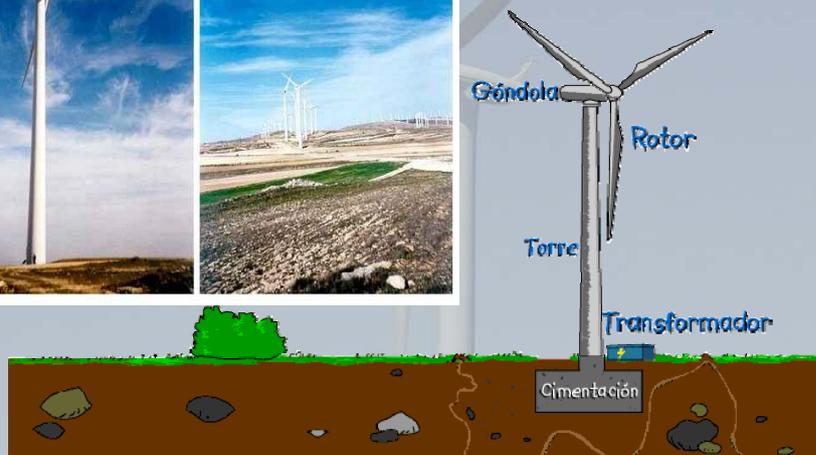
## Energía eólica. Tipos de aeroturbinas



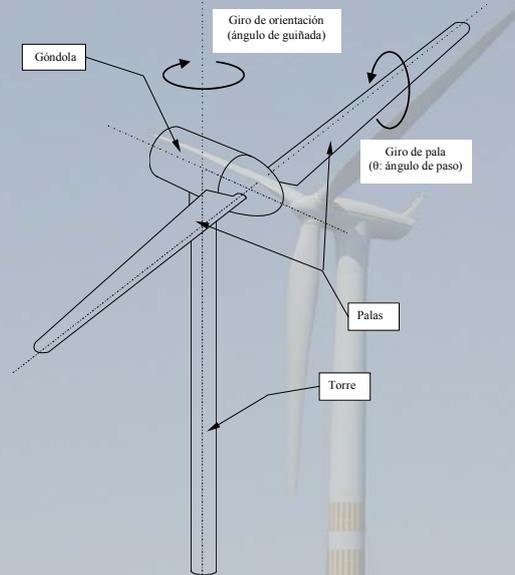
*Tipos de máquinas de eje vertical. (a) Aeroturbinas por arrastre. Tipo Savonius.*

*(b) Aeroturbinas por sustentación. Tipo Darrieus*

## EL AEROGENERADOR

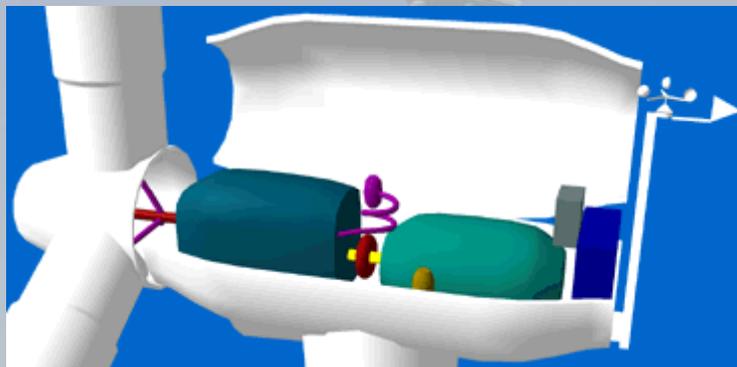


## Energía eólica. Componentes

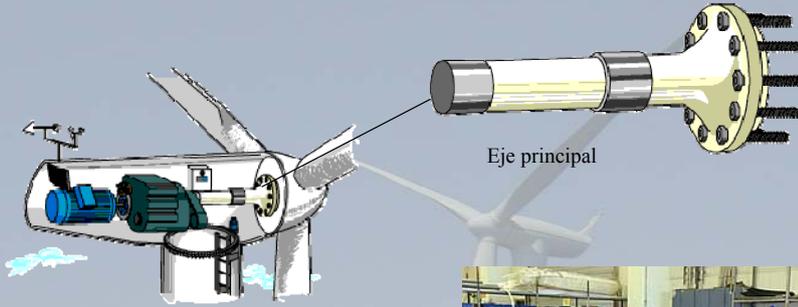


## Componentes de un aerogenerador

La góndola contiene los componentes clave del aerogenerador, incluyendo el multiplicador y el generador eléctrico. El personal de servicio puede entrar en la góndola desde la torre de la turbina. A la izquierda de la góndola tenemos el rotor del aerogenerador, es decir, las palas y el buje.



### EJE PRINCIPAL:



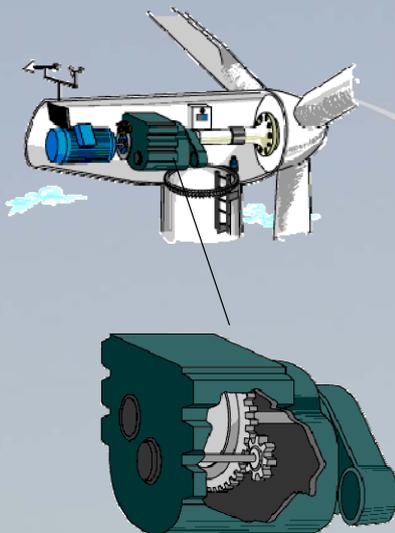
Eje principal

El rotor se atornilla a un disco muy fuerte en el eje principal del aerogenerador

En un aerogenerador moderno de 600 kW el rotor gira bastante lentamente, de unas 19 a 30 revoluciones por minuto



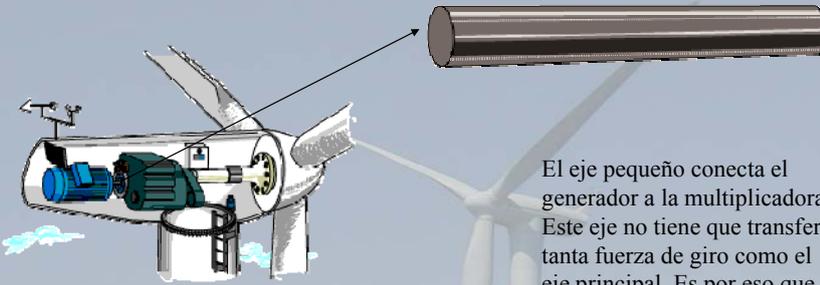
### CAJA MULTIPLICADORA:



El eje principal gira a unas 22 rpm, el generador precisa de 1500 rpm.



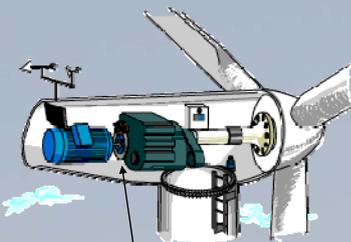
## EJE PEQUEÑO:



El eje pequeño conecta el generador a la multiplicadora. Este eje no tiene que transferir tanta fuerza de giro como el eje principal. Es por eso que es mucho más delgado. Por otro lado, gira muy rápidamente: 1500 revoluciones por minuto.



## FRENO MECÁNICO:



Un aerogenerador tiene dos tipos de freno diferentes.

- Uno es el freno en *punta de pala*.
- El otro es un freno *mecánico*.

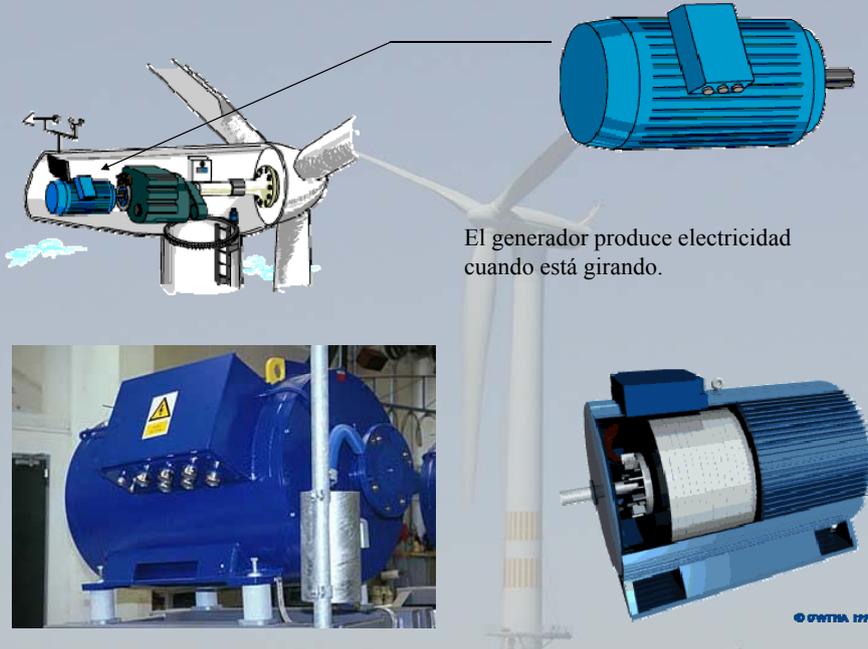
El *freno mecánico* se sitúa en el eje pequeño, el rápido, entre la multiplicadora y el generador.

Sólo se utiliza como freno de emergencia, en caso de que el freno en punta de pala falle.

También se utiliza cuando el aerogenerador está siendo reparado, para eliminar cualquier riesgo de que la turbina se ponga en marcha de repente.



## GENERADOR:



El generador produce electricidad cuando está girando.



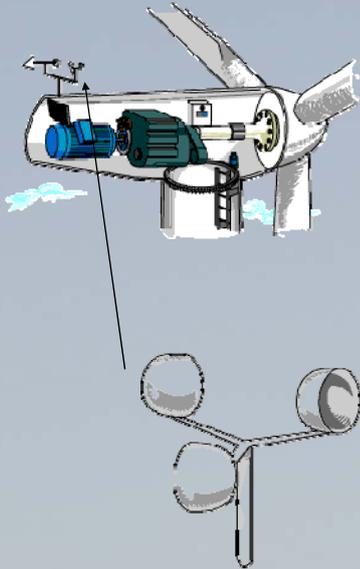
## CONTROLADOR:



Cada vez que debe producirse un cambio en los ajustes de la turbina, es el *controlador* quien se ocupa de hacerlo.

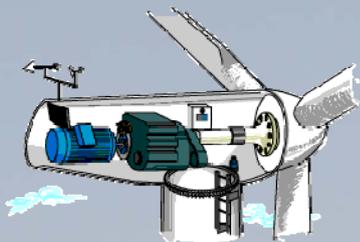
El *controlador* siempre vigila si todo en el aerogenerador funciona o no como debiera.

### ANEMÓMETRO:



El anemómetro mide la velocidad del viento y avisa al controlador del aerogenerador cuando hace el viento suficiente para que resulte rentable utilizar energía para hacer girar al aerogenerador (orientarlo) hacia el viento y empezar a funcionar.

### VELETA:



Una veleta siempre se posiciona a sí misma de acuerdo con la dirección del viento.

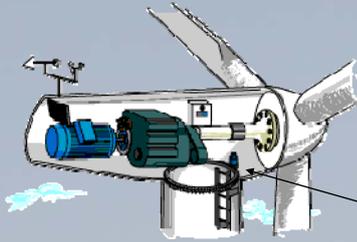
Hay un pequeño sensor al pie de la veleta que avisa al controlador del aerogenerador cuál es la dirección del viento.

El controlador le dice al motor de orientación que oriente (gire) la góndola para que el rotor encare el viento.

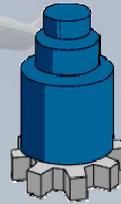
Rango de velocidades del viento que permiten el funcionamiento del aerogenerador

5 – 25 m/s

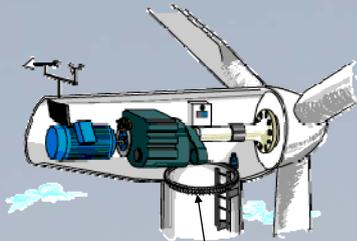
## MOTOR DE ORIENTACIÓN:



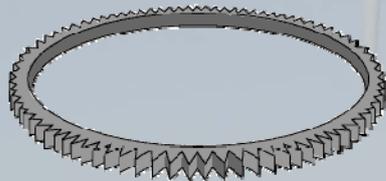
El motor de orientación gira la góndola de forma que el rotor se orienta en la dirección del viento.



## CORONA DE ORIENTACIÓN:



El motor de orientación tiene una rueda pequeña que engrana con una rueda enorme. La rueda grande se llama corona de orientación.



## CORONA DE ORIENTACIÓN:



En un aerogenerador como éste una pala tiene 25-27 metros de largo. Sin embargo, en los aerogeneradores más grandes pueden alcanzar los 39 metros.

## Usos de la energía eólica



## Aplicaciones de Turbinas Eólicas

- Generación de electricidad en sitios remotos
- Producción electricidad
- Bombeo agua

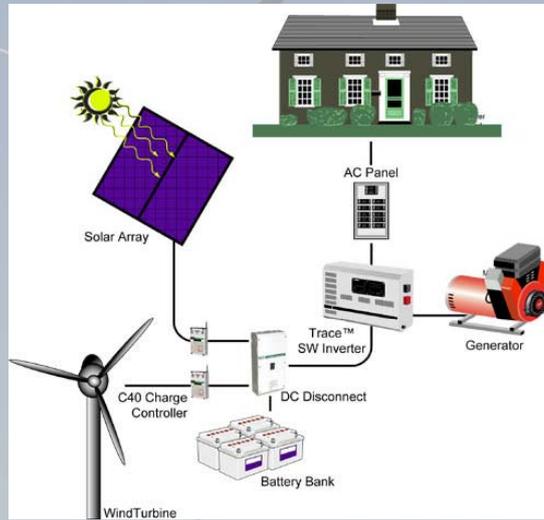


## Electricidad en sitios remotos

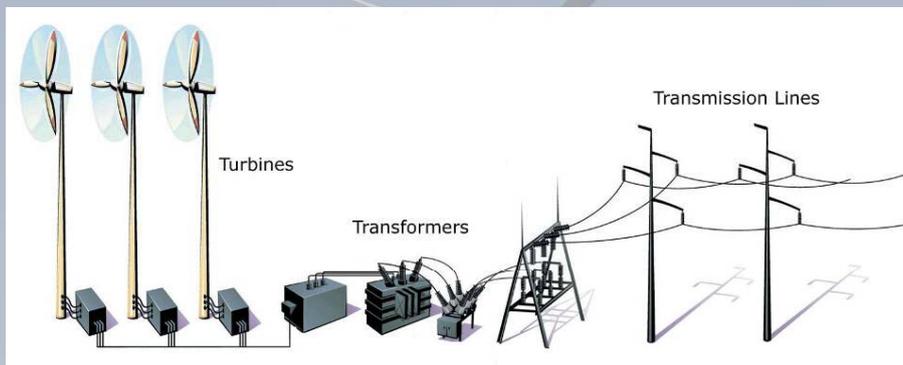
- Granjas
- Hogares
- Instalaciones de investigación
- Telecomunicaciones
- Barcos
- ...



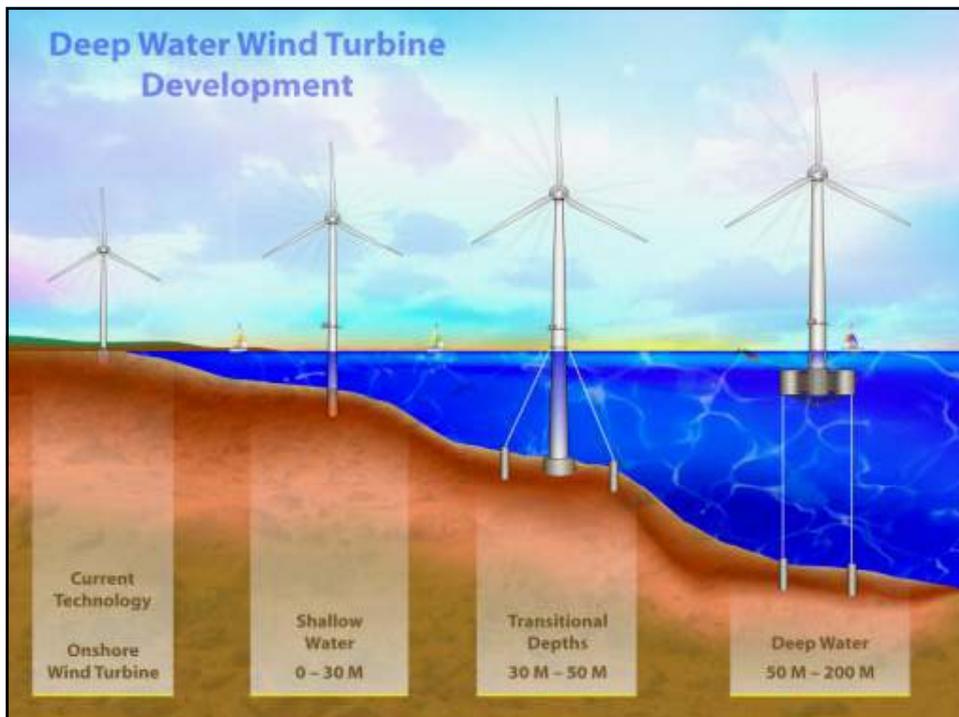
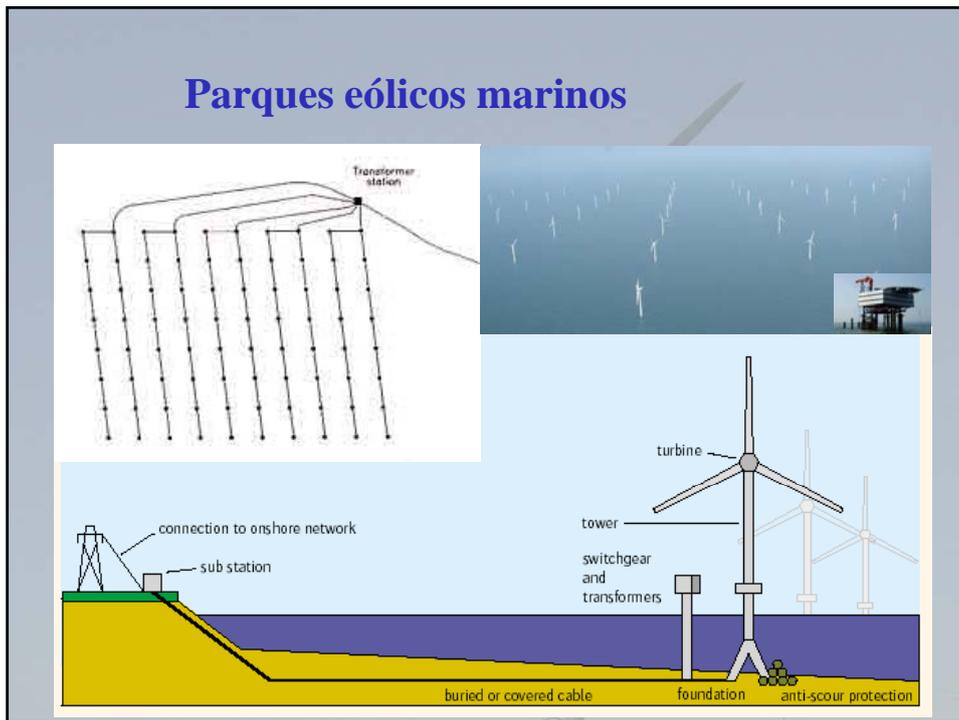
## Sistemas híbridos para la Electrificación Rural



## Generación de electricidad para el mercado



## Parques eólicos marinos



## La alternativa marina



- Los aerogeneradores marinos no tienen un impacto apreciable sobre la fauna en el parque eólico marino de Tungo Knob, Dinamarca. Tras el período de adaptación.
- Los aerogeneradores marinos:
  1. Requieren menor energía para su instalación (dependiendo del dique necesario).
  2. Poseen a menudo rendimientos superiores (menor rugosidad del agua).
  3. tienen esperanzas de vida mayores: 25-30 años.