



Energías Renovables

# Energía Eólica

## Guía Técnica



Fotografía: Ministerio de Educación y Ciencia



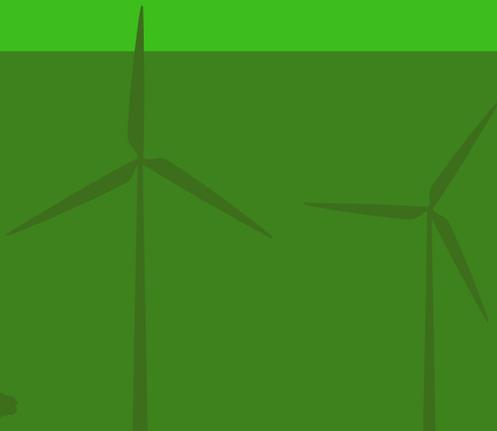
Agencia Andaluza de la Energía  
CONSEJERÍA DE INNOVACIÓN, CIENCIA Y EMPRESA

Guía Técnica: **Energía Eólica**

# INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta guía técnica es **proporcionar una idea del potencial eólico de un emplazamiento idóneo donde ubicar un aerogenerador y estimar su producción**, estando especialmente dirigida a instaladores y usuarios de energía minieólica.

Los resultados presentados son estimaciones teóricas que, bien aprovechados, reducirá mucho el coste de evaluación del recurso eólico. Sin embargo, como estimaciones que son, **no representan una garantía sobre la producción eólica.**



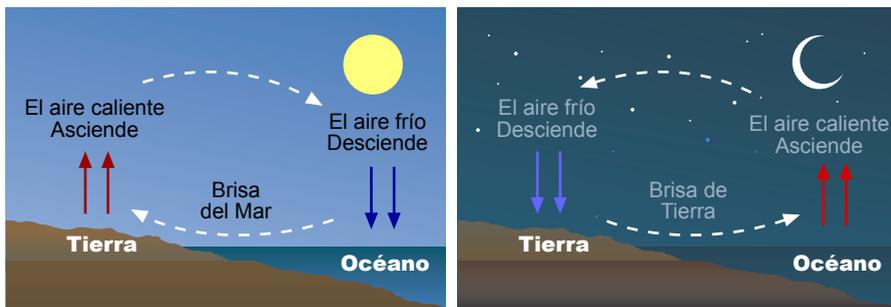
## EL VIENTO

En palabras muy generales el viento es el resultado del **flujo de aire** entre zonas con presiones de aire distintas, que se calientan debido a la incidencia de radiación solar, así, la energía eólica es energía solar convertida en energía eólica.

La forma en que aparece el viento (velocidad, dirección, turbulencia,...) **es complicada de predecir** debido a que depende de distintos factores globales y locales: rotación de la tierra, posición de la luna, diferencia de temperaturas global y local, orografía de terreno, rugosidad de la superficie, obstáculos, etc.

Sólo estudios y observaciones exhaustivos, gracias a la cada vez mayor potencia de los ordenadores y los métodos estadísticos, son capaces de acercarnos a valores reales. Con estos modelos de datos se puede intentar estimar el potencial eólico en un emplazamiento concreto.

En esta guía nos limitaremos a tener en cuenta los fenómenos locales para elegir el emplazamiento óptimo.



## PASOS DE EVALUACIÓN PARA UN EMPLAZAMIENTO DE UN AEROGENERADOR

- 1) Conseguir datos de viento fiables (Rosa de los Vientos)
- 2) Reconocimiento de la orografía, obstáculos y rugosidad del terreno
- 3) Altura de montaje
- 4) Elección del emplazamiento
- 5) Dimensionado y estimación de producción

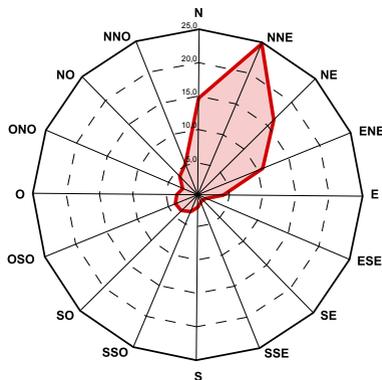
## DATOS DEL VIENTO

Los datos principales del viento son los de la velocidad expresado en metros por segundos [m/s] y los de la dirección en grados [°].

**La Rosa de los Vientos es esencial para determinar el emplazamiento de la instalación.**

### Rosa de los Vientos de Procedencia

Su utilidad principal radica en que proporciona la dirección o direcciones principales con su frecuencia en un diagrama circular del permitiendo así ubicar el aerogenerador en el sitio idóneo. En el ejemplo, la dirección dominante es NNE, orientación que se debe mantener libre de obstáculos.

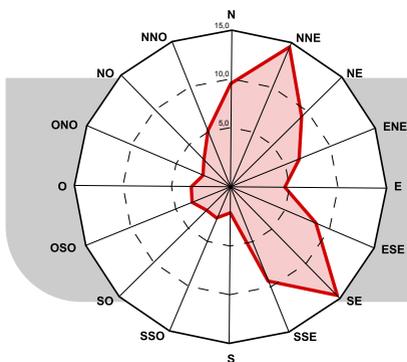


### Rosa de los Vientos de Potencia

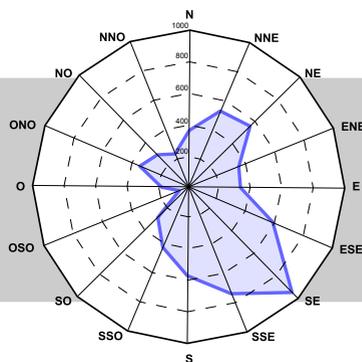
En caso de que no se distinga claramente el viento dominante, se utiliza además un diagrama que muestra las direcciones principales de máxima potencia, siendo la potencia proporcional al cubo de la velocidad del viento.

En este caso, a pesar de que existen dos direcciones de viento dominantes, **NNE y SE, es esta última la que proporciona mayor potencia** con diferencia.

No obstante, se deberá tener en cuenta la dirección NNE en la ubicación final del aerogenerador.



Rosa de los Vientos  
**Procedencia [%]**



Rosa de los Vientos  
**Potencia [W/m²]**

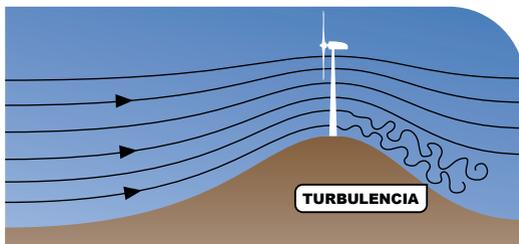
## OROGRAFÍA

Los accidentes del terreno suaves como colinas o vaguadas influyen positivamente en la aceleración local del viento. Por ejemplo, una colina de pendiente suave acelera el viento a lo largo de la pendiente dándose la **máxima velocidad en la cima de la loma.**

En cambio, un accidente abrupto disipa la energía del viento debido las turbulencias generadas. **Un acantilado no conviene para instalar un aerogenerador.**

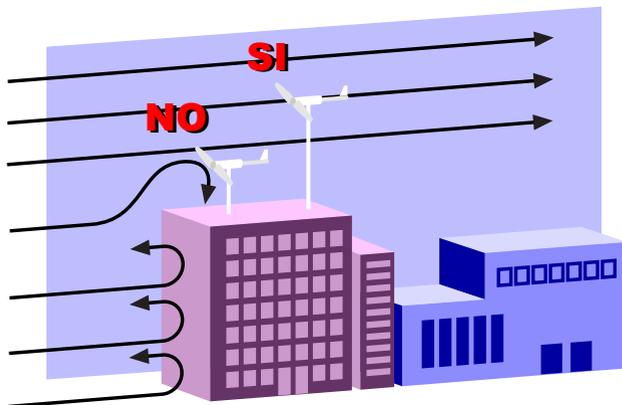
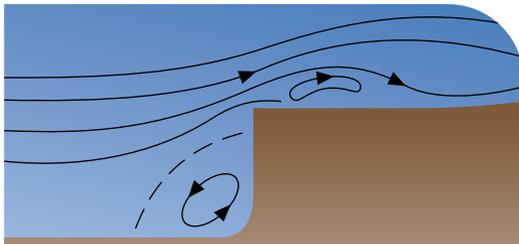
### Apropiado:

Efecto aceleración sobre colinas suaves.



### No apropiado:

Turbulencias en la parte superior e inferior de acantilados y cimas angulosas.



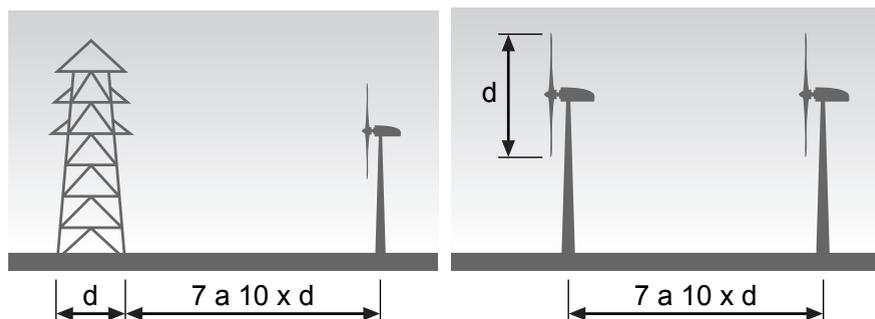
## OBSTÁCULOS

En la **mayoría de casos los obstáculos son edificios y árboles** que desvían el viento y producen turbulencias, por lo que deben ser tenidos en cuenta y evitados al buscar la mejor ubicación.

Hay dos tipos de obstáculos, los que dejan pasar partes del viento (porosos) y los que no (no porosos).

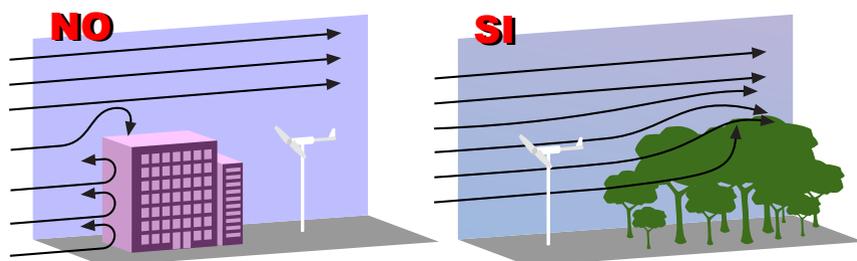
### Obstáculos porosos

Como arbustos, árboles, verjas, vallas, torres de celosía e incluso otros aerogeneradores. En la práctica, y si es imposible evitarlos, se aconseja **instalar el aerogenerador a entre 7 y 10 veces el diámetro** del obstáculo.



### Obstáculos no porosos

Por ejemplo casas, muros y vallas o densas arboladas que no dejan pasar el viento y crean fuertes turbulencias. Es muy aconsejable **instalar el aerogenerador a barlovento** del obstáculo (por delante).

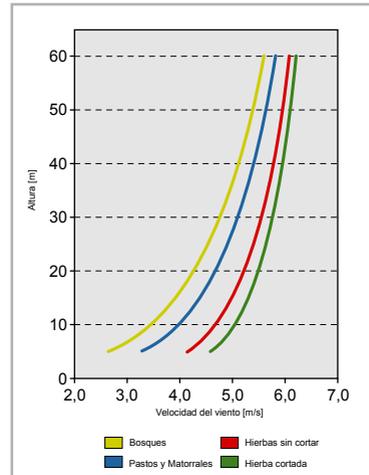


## RUGOSIDAD Y PERFIL DEL VIENTO

La rugosidad del terreno determina como aumenta la velocidad del viento con la altura respecto al suelo. Como se observa, hay una relación logarítmica entre la rugosidad y la velocidad del viento con perfiles de viento distintos para cada suelo.

Por ello, en general, **la velocidad del viento aumenta con la altura**. Además, el perfil de velocidad de viento se pronuncia más **con el aumento de la rugosidad** del suelo y **la velocidad disminuye**.

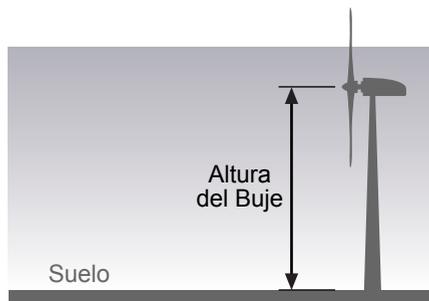
La rugosidad mínima, o de clase 0 se da en medios acuáticos como el mar, mientras que la muy notable de clase 3 implica cercanías de bosques, áreas urbanas, etc.

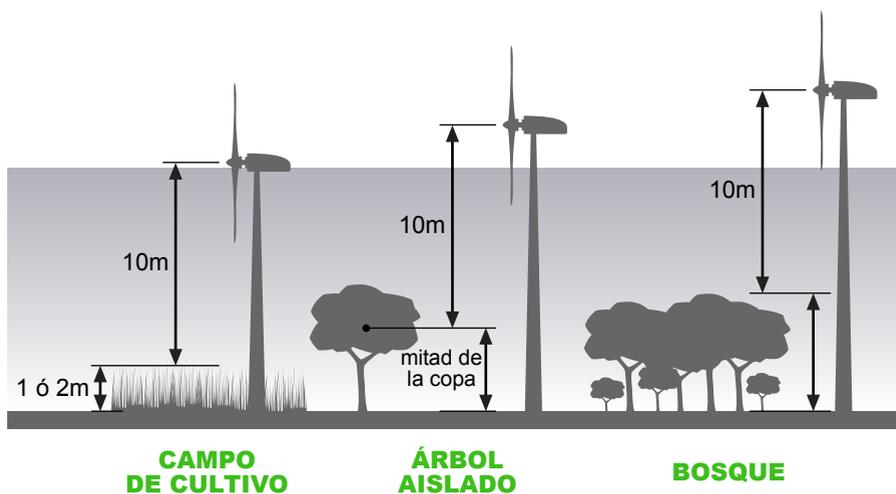


## ALTURA DE MONTAJE

Como altura de montaje se entiende la altura del buje desde el suelo.

Es aconsejable tomar una **altura de buje mínima de 10 metros**, contando desde la altura de desplazamiento. La **altura de desplazamiento** se toma en cuenta siempre y cuando el aerogenerador está montado dentro de un área de vegetación específica y suele coincidir con **la mitad de la altura media de la vegetación circundante excepto si se trata de vegetación muy densa y poco porosa, en cuyo caso se tomará la altura total de la vegetación (p.e. árboles)**.





## EMPLAZAMIENTO

Para optimizar el rendimiento del aerogenerador, y prolongar su vida útil, el emplazamiento debe estar bien expuesto al viento y contar con un bajo grado de turbulencias (poca rugosidad).

Se ha demostrado que es **poco aconsejable los emplazamientos urbanos** (muy rugosos) excepto en edificios altos o zonas periurbanas.

En cuanto a la alineación de varios aerogeneradores, es preferible agruparlos en una hilera **perpendicular a la dirección principal del viento**.

## DIMENSIONADO Y ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Para la estimación de la producción de un aerogenerador, es importante que la altura de medición del viento coincida con la altura de montaje del aerogenerador.

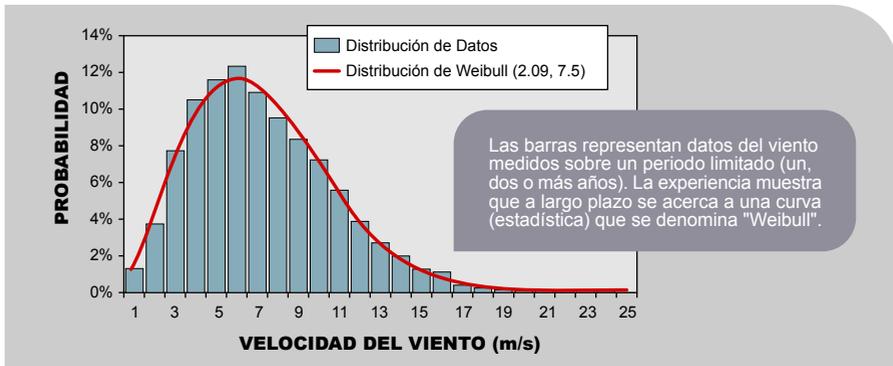
Como herramientas matemáticas auxiliares es preciso obtener previamente:

**1) Curva de potencia del aerogenerador proporcionada por el fabricante,** si es posible certificado según norma UNE-EN 61.400-12.



La curva de potencia de un aerogenerador nos indica a qué velocidad del viento produce el aerogenerador una potencia determinada.

**2) Distribución de viento al menos en un año tipo.**



Las barras representan datos del viento medidos sobre un periodo limitado (un, dos o más años). La experiencia muestra que a largo plazo se acerca a una curva (estadística) que se denomina "Weibull".

Expresa con qué frecuencia sopla el viento en un rango de velocidad determinado.

**3) Plano o croquis del entorno del emplazamiento del aerogenerador con expresión de la rugosidad.**

## Metodología de cálculo de la producción:

Se elabora una tabla que combina la distribución probabilística del viento (curva Weibull) junto con la curva de potencia, ambos parámetros en función de la velocidad del viento. Emparejando los datos sucesivamente para cada rango, y sabiendo que un año tipo tiene 8.760 horas, se obtiene en este caso la siguiente tabla:

RANGO	%	Horas $\times$	Potencia Diagrama [kW] $=$	Producción [kWh]
1 (0m/s...1m/s)	3	263	0	0
2 (1...2)	8	701	0	0
3 (2...3)	13	1.139	0	0
4 (3...4)	15	1.314	1	1.314
5 (4...5)	13	1.139	2,5	2.848
6 (5...6)	12	1.051	3	3.153
7 (6...7)	10	876	5	4.380
8 (7...8)	7	613	7	4.291
9 (8...9)	6	526	10,5	5.523
10 (9...10)	4	350	13,5	4.725
11 (10...11)	3	263	15	3.945
12 (11...12)	2	175	15,5	2.713
13 (12...13)	2	175	16	2.800
14 (13...14)	1	88	16	1.408
15 (14...15)	1	88	16	1.408
<b>SUMA de PRODUCCIÓN (kWh)</b>				<b>38.508</b>

De esta producción estimada habrá que deducir un 5% para el cumplimiento con la curva de potencia.

Si las **todas las direcciones** están **libres de obstáculos** o si se ha logrado tomar medidas en el emplazamiento exacto del aerogenerador, se deduce además un 15% como margen de seguridad y para tener en cuenta la fluctuación anual del viento. En nuestro ejemplo quedaría:

$$38.508 \text{ kWh} \times (1 - 0,05) \times (1 - 0,15) = \mathbf{31.095 \text{ kWh}}$$

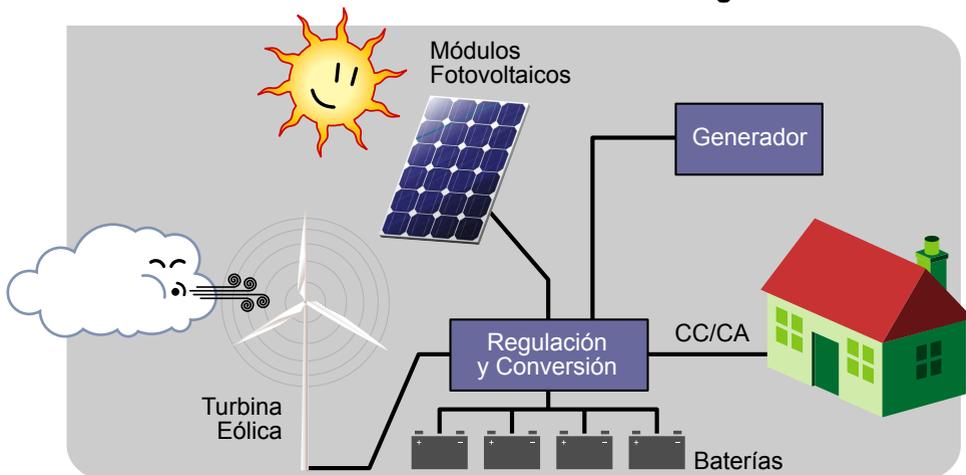
En el caso de obtener la **medición del viento en un punto de referencia** que no es el emplazamiento del aerogenerador, se debe tomar en cuenta la rugosidad del terreno y los obstáculos (en los mayores casos), para lo que aplicaremos un margen de seguridad adicional del 25%. Por tanto:

$$38.508 \text{ kWh} \times (1 - 0,05) \times (1 - 0,15) \times (1 - 0,25) = \mathbf{23.321 \text{ kWh}}$$

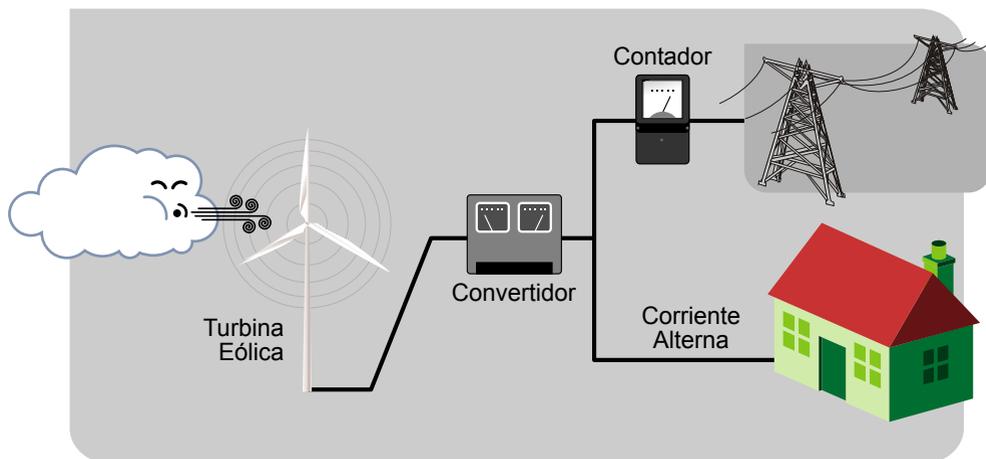
## TIPOS DE INSTALACIONES EÓLICAS

Las instalaciones eólicas se pueden clasificar en aisladas de la red eléctrica o conectadas a ella. Entre ellas existen instalaciones mixtas eólica-fotovoltaica, algunas con un equipo auxiliar.

### Instalación aislada mixta eólica-fotovoltaica con generador auxiliar



## Instalación eólica conectada a la red



## COSTES ORIENTATIVOS DE UNA INSTALACIÓN AISLADA

En general, el peso de las partidas en una instalación aislada es el que sigue:

Aerogenerador	<b>27%</b>
Baterías	<b>31%</b>
Regulador	<b>4%</b>
Inversor	<b>28%</b>
Instalación	<b>10%</b>

## MÁS INFORMACIÓN

**Rodríguez J.L. et al.**

**Sistemas eólicos de producción de energía eléctrica**  
Editorial Rueda.

**Ammonit**

**Medición de Viento**  
[www.ecosem.es/pdf/ammonit.pdf](http://www.ecosem.es/pdf/ammonit.pdf)

**Agencia Andaluza de la Energía**

[www.agenciaandaluzadelaenergia.es](http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es)



Agencia Andaluza de la Energía  
**CONSEJERÍA DE INNOVACIÓN, CIENCIA Y EMPRESA**

C/ Isaac Newton, nº 6. 41092. Sevilla  
Tlf: 954 78 63 35 - Fax: 954 78 63 35  
[www.agenciaandaluzadelaenergia.es](http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es)