

Energía del viento

La energía contenida en el viento es aprovechable a través de aerogeneradores, que convierten su energía cinética en energía eléctrica. La potencia generada depende de variables como la velocidad del viento, la densidad del aire y el área del rotor del generador. La precisión en el análisis de estas variables es crucial para el diseño y colocación de las instalaciones eólicas.

Potencia de una masa de aire

La potencia generada a partir del viento está dada por:

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

Donde:

P es la potencia en vatios.

ρ es la densidad del aire (aproximadamente 1,225 kg/m³ a 15 °C y 1 atm de presión).

A es el área que atraviesa el viento (área del rotor).

v es la velocidad del viento.

La potencia eólica en una ubicación se describe estadísticamente mediante modelos que consideran las variaciones en velocidad y densidad del viento a lo largo del tiempo. Esto permite realizar comparaciones entre emplazamientos y definir el potencial eólico de una región específica, utilizando parámetros de distribución como el coeficiente de escala (C') y de forma (k').

$$f(P) = f(P; C', k') = \begin{cases} \frac{k'}{C'} \cdot \left(\frac{P}{C'}\right)^{k'-1} \cdot e^{-\left(\frac{P}{C'}\right)^k}, & \text{si } P \geq 0 \\ 0, & \text{si } P < 0 \end{cases}$$

Donde:

P : potencia

C' : coeficiente de escala, se puede definir como $C' = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C^3$

k' : coeficiente de forma, se puede definir como $k' = \frac{k}{3}$

Densidad del aire

La densidad del aire (ρ) varía con la temperatura, humedad y altitud, a 15 grados y 1 atmósfera su valor es de $1,225 \frac{kg}{m^3}$:

- **Mayor densidad** implica mayor potencia, pero disminuye con la altura y el aumento de la humedad.
- **Temperatura:** al disminuir, aumenta la densidad del aire, lo que contribuye a mayor energía disponible en áreas frías y elevadas.

Área del rotor

El área del rotor se calcula con $A = \pi \cdot R^2$, donde R es el radio del rotor. La potencia generada es proporcional al área barrida por las palas, por lo que:

- **A mayor radio del rotor**, mayor potencia disponible.
- **Duplicar el radio** implica cuadruplicar la potencia, ya que el área aumenta cuadráticamente.

Rosa de los vientos

La rosa de los vientos es una representación gráfica que describe la **frecuencia y dirección del viento** en un emplazamiento, dividida en sectores (8, 12 o 16) de diferentes grados. Existen varios tipos, Figura 1.

- $R \cdot v$: Muestra el porcentaje de tiempo que el viento sopla en cada dirección.
- $R \cdot v^2$: Indica el porcentaje de velocidad media aportado por cada sector.
- $R \cdot v^3$: Representa la contribución de cada dirección a la energía contenida en el viento.

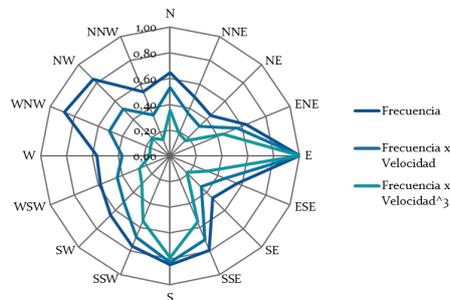


Figura 1. Rosa de los vientos en un emplazamiento.

En zonas con dirección predominante, se concentra la atención en la energía proveniente de esa dirección. La extrapolación de una rosa de los vientos entre dos ubicaciones cercanas es posible solo si el terreno y la rugosidad no presentan grandes variaciones.

Rosa de rugosidades

Este análisis describe la rugosidad del terreno según la dirección del viento, dividiéndola en 12 sectores de 30 grados. La **rugosidad en la dirección predominante** afecta directamente la estabilidad y velocidad del viento en esa dirección, por lo que se debe considerar la influencia de obstáculos y superficie en un radio de hasta 2 km.

Ley de Betz

La **Ley de Betz** establece que solo es posible extraer hasta el 59,3 % de la energía cinética del viento que atraviesa un aerogenerador. Este límite es teórico y considera que, para lograr la máxima extracción, la velocidad del viento debería reducirse a un tercio al pasar por el rotor.

El límite práctico establece que, debido a limitaciones tecnológicas, la eficiencia se encuentra entre el 40 % y el 50 % de la potencia total disponible.

Efecto estela

El efecto estela se refiere a la **disminución de velocidad y aumento de turbulencia** que experimenta el viento al salir de un aerogenerador, afectando los generadores situados aguas abajo.

La separación recomendada entre para evitar este efecto, los aerogeneradores deben espaciarse adecuadamente. En la dirección predominante del viento, la distancia entre ellos suele ser de 8 a 12 veces el diámetro del rotor (8D-12D), mientras que en sentido lateral es menor (2,5D-5D).