

Aerogeneradores

Un aerogenerador es una máquina que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica. Su funcionamiento se basa en una serie de transformaciones de energía (aerodinámica, mecánica y eléctrica), realizadas por distintos componentes del aerogenerador, lo cual permite generar electricidad de manera limpia y renovable.

Componentes principales

Un aerogenerador consta de varios sistemas clave:

- **Sistema de Captación:** Es la parte que transforma la energía del viento en energía mecánica y, posteriormente, en energía eléctrica. Incluye:
 - **Rotor:** Formado por palas que capturan la energía del viento.
 - **Multiplicador:** Incrementa la velocidad de rotación, adecuándola para el generador.
 - **Generador Eléctrico:** Convierte la energía mecánica en eléctrica.
- **Sistema de Orientación:** Es el encargado de alinear el rotor con la dirección del viento para maximizar la captación de energía. En los aerogeneradores de eje horizontal, puede ser:
 - **Pasivo:** Utilizado en máquinas de pequeña potencia con el rotor a sotavento.
 - **Activo:** Necesita medición de la dirección del viento y motores para alineación, y es común en aerogeneradores de gran tamaño, ofreciendo mejor rendimiento.
- **Sistema de Regulación:** Optimiza la captura de potencia, ajustando la posición de las palas o la velocidad del generador para mantener una eficiencia óptima ante variaciones en la velocidad del viento.

Potencia y coeficiente de potencia

La **potencia extraíble** de un aerogenerador depende de factores como la densidad del aire, el área barrida por las palas y la velocidad del viento. El **coeficiente de potencia** (C_p), representado en la Figura 1, indica la fracción de energía del viento que el aerogenerador puede convertir en electricidad. Este coeficiente varía en función de

factores como la **velocidad específica** y el **ángulo de ataque** de las palas, y tiene un límite teórico máximo conocido como el **límite de Betz** (aproximadamente 59%).

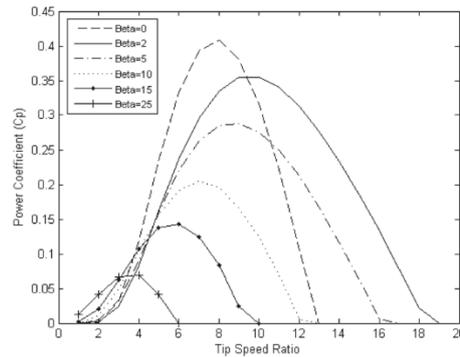


Figura 1. Coeficiente de potencia de un aerogenerador.

En general, este coeficiente depende del tipo de aerogenerador utilizado, Figura 2. La clasificación con los detalles principales se introduce en el punto siguiente.

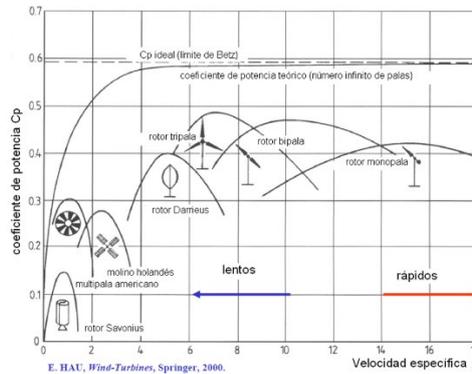


Figura 2. Coeficiente de potencia de un aerogenerador dependiendo del tipo.

Clasificación

Existen varios criterios para clasificar los aerogeneradores según sus características estructurales y funcionales:

- **Por la Posición del Eje:**
 - **Eje Vertical:** Ejemplos incluyen aerogeneradores tipo Darrieus y Savonius. No requieren sistemas de orientación, pero suelen tener menor rendimiento y estabilidad estructural.
 - **Eje Horizontal:** Son los más comunes en parques eólicos. Requieren sistema de orientación y poseen mayor eficiencia, aunque con una estructura más compleja.
- **Por el Número de Palas:** La cantidad de palas afecta la estabilidad, eficiencia y costo del aerogenerador.

- **Tripala:** Alta eficiencia y estabilidad estructural; es el diseño más común.
- **Bipala y Monopala:** Tienen menos estabilidad y eficiencia, pero son más ligeros y económicos.
- **Multipala:** Usados para aplicaciones de baja potencia, como bombeo de agua.
- **Por la Velocidad de Giro:**
 - **Rotores Rápidos:** Alta velocidad específica, común en máquinas de gran tamaño.
 - **Rotores Lentos:** Baja velocidad específica, usual en aerogeneradores multipala de menor tamaño.
- **Por la Orientación del Rotor:**
 - **Barlovento:** Rotor frente al viento, con sistema de orientación activo, lo cual reduce las cargas aerodinámicas.
 - **Sotavento:** Rotor detrás de la torre, sistema de orientación pasivo y mayor sombra de torre, lo que reduce la eficiencia.
- **Por el Tipo de Generador Eléctrico:**
 - **Corriente Continua:** Poco usado actualmente, solo en aplicaciones de baja potencia.
 - **Corriente Alterna:** Preferido por su mejor relación potencia/peso y menor mantenimiento, incluyendo generadores síncronos y asíncronos.
- **Por el Sistema de Control:**
 - **Control de la Posición de las Palas:** Ajuste de palas para optimizar la captación de energía. Puede ser **pasivo** (pérdida aerodinámica) o **activo** (variación del ángulo de ataque).
 - **Control de Velocidad del Generador:** Permite el funcionamiento a **velocidad fija** o **variable**, siendo esta última opción más eficiente y menos ruidosa.
- **Por la Potencia:**

- **Pequeña Potencia:** Usados para aplicaciones domésticas y pequeñas instalaciones.
- **Gran Potencia:** Empleados en parques eólicos, capaces de abastecer grandes redes de energía.
- **Por la Ubicación:**
 - **Parques Eólicos Terrestres:** Instalados en tierra, más fáciles de construir y mantener.
 - **Parques Eólicos Marinos:** Aprovechan mayores velocidades de viento en el mar, pero implican mayores desafíos de construcción y mantenimiento.
- **Clasificación IEC 61400-1**
 - **Velocidad de referencia:** Máxima velocidad media del viento esperada en 50 años.
 - **Velocidad media:** Calculada en intervalos de 10 minutos.
 - **Velocidad promedio:** Promedio anual a la altura del rotor.
 - **Intensidad de turbulencia:** Relación entre la desviación y la media de la velocidad del viento a 15 m/s.

Aerogeneradores de eje horizontal

Los **aerogeneradores de eje horizontal** son los más comunes en los parques eólicos actuales. Estos sistemas suelen incluir:

- **Rotor Tripala a Barlovento:** Con un sistema de orientación activo, este tipo de rotor se orienta hacia el viento y maximiza la eficiencia de captación de energía.
- **Torre Tubular:** La torre soporta el rotor y otros componentes a gran altura, lo que mejora la captación de energía, aunque incrementa los costos.
- **Regulación de Potencia:** Puede realizarse por **pérdida aerodinámica** o **cambio de paso** (ajuste del ángulo de las palas), lo cual ayuda a controlar la potencia generada en condiciones variables de viento.

- **Generadores:** Se utilizan generadores asíncronos doblemente alimentados (DFIG) o síncronos, ambos con electrónica de potencia para optimizar la producción de energía.

Subsistemas y componentes

Los aerogeneradores cuentan con varios subsistemas importantes:

- **Rotor:** Consiste en las palas y el buje, y su diseño afecta significativamente la eficiencia del sistema.
 - **Coefficiente de Potencia:** Los rotores tripala alcanzan el coeficiente de potencia más alto (aproximadamente 0,5), seguidos de bipalas y monopalas.
- **Transmisión:** Incluye una **caja multiplicadora** que aumenta la velocidad de rotación para adaptarla a los requisitos del generador. Es un componente sensible, diseñado para soportar las cargas mecánicas del sistema.
- **Orientación:** El sistema de orientación activa ajusta la posición del rotor según la dirección del viento y es común en aerogeneradores de gran tamaño.
- **Regulación de Potencia:** Incluye sistemas para limitar la captación de potencia en condiciones de viento elevado, utilizando métodos como **pérdida aerodinámica** o **cambio de paso** de las palas.

La totalidad de los componentes de los aerogeneradores se representan en la Figura 3.

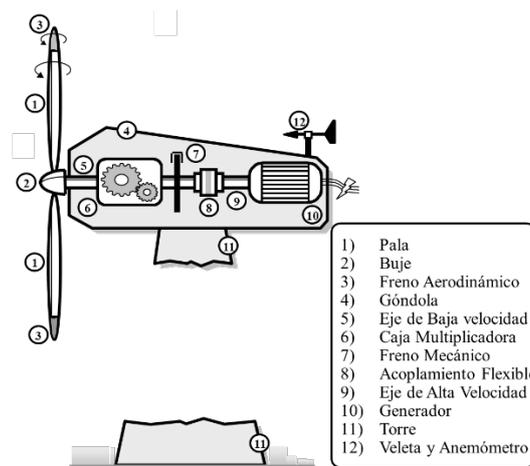


Figura 3. Componentes de un aerogenerador.

Regulación y captación de potencia

Existen distintos métodos de regulación para controlar la captación de potencia en un aerogenerador:

- **Control por Pérdida Aerodinámica:** Este método reduce la eficiencia del aerogenerador al permitir que el flujo de aire pase de manera menos eficiente sobre las palas en altas velocidades.
- **Cambio de Paso (Pitch Control):** Permite ajustar el ángulo de las palas, regulando así la cantidad de energía capturada y evitando sobrecargas en el sistema en condiciones de viento intenso.

Tipos de torres

La torre sostiene la góndola y permite la captación de viento a alturas mayores, mejorando la eficiencia del aerogenerador. Los tipos de torres más comunes incluyen:

Torre de Acero: Es la opción más utilizada debido a su resistencia y capacidad de adaptación a grandes alturas.

Torre de Hormigón y Torre de Celosía: Alternativas menos frecuentes; la torre de hormigón puede construirse in situ, y la torre de celosía es más económica pero visualmente impactante.

Sistemas de velocidad

El sistema de velocidad en los aerogeneradores afecta su rendimiento y estabilidad:

- **Velocidad Constante:** Generalmente asociado con generadores asíncronos, permite una mayor robustez y simplicidad en el control, aunque es menos eficiente.
- **Velocidad Variable:** Este sistema permite ajustes de velocidad para optimizar la captación de energía. Los aerogeneradores de velocidad variable, más complejos, optimizan el coeficiente de potencia y producen menos ruido.