RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O
Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 15/08/2026 | aceito: 18/08/2026 | publicação: 21/08/2026

Energía eólica y conversión electromecánica: principios de funcionamiento de los aerogeneradores

Energia eólica e conversão eletromecânica: princípios de funcionamento dos aerogeradores
Wind energy and electromechanical conversion: operating principles of wind turbines

Lucas Emanuel Almeida Barboza

Resumen:
La transición hacia una matriz energética baja en carbono ha impulsado la expansión de la energía eólica a nivel mundial. Este artículo presenta una revisión bibliográfica cualitativa cuyo objetivo es analizar los principios de funcionamiento de los aerogeneradores, destacando los procesos de conversión de la energía cinética del viento en energía eléctrica. La metodología se fundamenta en una revisión integradora de la literatura que abarca obras clásicas de ingeniería energética y publicaciones recientes sobre tecnologías de generación. Los resultados indican que la eficiencia del sistema depende de la integración armoniosa entre la aerodinámica de las palas, los componentes mecánicos de transmisión y el generador eléctrico, respetando los límites físicos de extracción de energía. Se concluye que el dominio de estos principios es esencial para optimizar los proyectos eólicos y respaldar innovaciones como las turbinas de accionamiento directo y los sistemas marinos, que garantizan mayor confiabilidad operativa y rentabilidad.

Palabras clave:
Energía eólica. Aerogeneradores. Conversión electromecánica. Límite de Betz. Generación renovable.

Resumo:
A transição para uma matriz energética de baixo carbono tem impulsionado a expansão da energia eólica globalmente. O presente artigo apresenta uma revisão bibliográfica qualitativa com o objetivo de analisar os princípios de funcionamento dos aerogeradores, destacando os processos de conversão da energia cinética dos ventos em energia elétrica. A metodologia fundamenta-se em uma revisão integrativa da literatura, abordando as obras clássicas de engenharia de energia e publicações recentes sobre tecnologias de geração. Os resultados indicam que a eficiência do sistema depende da integração harmoniosa entre a aerodinâmica das pás, os componentes mecânicos de transmissão e o gerador elétrico, respeitando os limites físicos de extração de energia. Conclui-se que o domínio desses princípios é essencial para a otimização de projetos eólicos, suportando inovações como turbinas direct drive e sistemas offshore, que garantem maior confiabilidade operacional e rentabilidade.

Palavras-chave:
Energia eólica. Aerogeradores. Conversão eletromecânica. Limite de Betz. Geração renovável.

Abstract:
The transition to a low-carbon energy mix has driven the expansion of wind energy worldwide. This article presents a qualitative literature review aimed at analyzing the operating principles of wind turbines, highlighting the processes that convert the kinetic energy of wind into electrical energy. The methodology is based on an integrative literature review covering classic works in energy engineering and recent publications on generation technologies. The results indicate that system efficiency depends on the harmonious integration of blade aerodynamics, mechanical transmission components, and the electrical generator, while respecting the physical limits of energy extraction. It is concluded that mastery of these principles is essential

for optimizing wind projects and supporting innovations such as direct-drive turbines and offshore systems, which ensure greater operational reliability and profitability.

Keywords:
Wind energy. Wind turbines. Electromechanical conversion. Betz limit. Renewable generation.

1. Introducción

El calentamiento global y la urgente necesidad de descarbonizar las economías han situado a la energía eólica como uno de los pilares centrales de la transición energética mundial. A diferencia de las fuentes fósiles, la generación eólica aprovecha un recurso inagotable y limpio, aunque presenta desafíos inherentes debido a su naturaleza intermitente y estocástica (TOLMASQUIM, 2016). En este escenario, el aerogenerador actúa como tecnología protagonista: no es solamente una estructura mecánica, sino un sistema complejo de conversión de energía que integra aerodinámica, mecánica y electromagnetismo (BURTON et al., 2011). El objetivo de este estudio es analizar los principios fundamentales de funcionamiento de los aerogeneradores modernos de eje horizontal, detallando los subsistemas que permiten captar el viento y transformarlo en electricidad lista para ser inyectada en la red eléctrica.

2. Marco teórico

2.1. Conversión de energía cinética y límite de Betz

El principio fundamental de un aerogenerador se basa en extraer la energía cinética presente en las masas de aire en movimiento. Cuando el viento entra en contacto con las palas del rotor, la diferencia de presión generada por la geometría del perfil aerodinámico (fuerza de sustentación o lift) crea un par que hace girar el eje (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010). La literatura clásica establece un límite físico riguroso para esta conversión. En 1919, el físico Albert Betz demostró que ningún aerogenerador puede extraer más del 59,3% de la energía cinética del viento que atraviesa el área barrida por el rotor. Este techo teórico, conocido como límite de Betz, es la principal referencia de eficiencia aerodinámica y orienta el diseño de las palas modernas para alcanzar coeficientes de potencia (Cp) cercanos al 50% en condiciones reales (BURTON et al., 2011).

2.2. Principales subsistemas electromecánicos

La conversión efectiva de la energía mecánica de rotación en energía eléctrica ocurre dentro de la góndola, el compartimento ubicado en la parte superior de la torre. Según Pinto (2013), el sistema tradicional está compuesto por:

- Rotor y eje de baja velocidad: captan el viento y giran a velocidades relativamente bajas (por lo general entre 10 y 20 rpm).
- Caja multiplicadora (gearbox): acoplada al eje del rotor, aumenta la velocidad de rotación hasta los niveles requeridos por el generador (con frecuencia por encima de 1.500 rpm).
- Generador eléctrico: transforma la energía mecánica recibida del eje de alta velocidad en energía eléctrica mediante principios de inducción electromagnética.

3. Materiales y método

El presente estudio se caracteriza como una investigación cualitativa desarrollada mediante una revisión integradora de la literatura. El método permitió sintetizar múltiples estudios académicos para ofrecer una comprensión clara del funcionamiento electromecánico de las turbinas eólicas. Los datos se recopilaron en bases científicas y bibliotecas universitarias virtuales, e incluyeron libros de referencia sobre ingeniería de energías renovables y artículos publicados entre 2010 y 2024. El análisis siguió la técnica de análisis estructural de contenido, categorizando los hallazgos según los principios aerodinámicos y la configuración de los componentes internos.

4. Resultados y discusión

El análisis de la literatura revela que el funcionamiento de un aerogenerador no es solamente una cuestión de tamaño, sino de refinada sincronía electromecánica. Históricamente, la caja multiplicadora (gearbox) fue el estándar de la industria para adecuar la velocidad del rotor a la del generador. Sin embargo, los resultados muestran que esta pieza es el talón de Aquiles del sistema, responsable de la mayor parte de las fallas mecánicas y de los costos de mantenimiento (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010). Como respuesta a este cuello de botella tecnológico, la discusión actual señala la creciente adopción de aerogeneradores de accionamiento directo. En estos sistemas se elimina la caja multiplicadora y se la sustituye por generadores síncronos multipolares de imanes permanentes, capaces de operar eficientemente

a las mismas bajas velocidades del rotor (TOLMASQUIM, 2016). Se observó que esta simplificación mecánica aumenta la disponibilidad de la máquina y reduce las paradas correctivas, por lo que constituye una estrategia crucial, especialmente en ambientes marinos donde el mantenimiento es complejo y costoso.

5. Consideraciones finales

El estudio alcanzó el objetivo propuesto al demostrar que los principios de funcionamiento de los aerogeneradores se basan en la interacción precisa entre la aerodinámica restringida por el límite de Betz y la eficiencia de los subsistemas electromecánicos. Se concluye que la evolución de estas máquinas dejó de centrarse únicamente en captar viento para priorizar la confiabilidad y la reducción del costo nivelado de energía (LCOE). Como contribución, este artículo sistematizó los componentes operativos de las turbinas y destacó la transición hacia sistemas sin caja multiplicadora. Para trabajos futuros, se sugiere investigar los efectos de la fatiga en los materiales compuestos utilizados en las palas gigantes modernas y el papel de los sistemas de control de paso y orientación (Pitch y Yaw) para maximizar la energía en condiciones meteorológicas extremas.

Referencias

BURTON, Tony et al. Wind Energy Handbook. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2011.

MANWELL, James F.; MCGOWAN, Jon G.; ROGERS, Anthony L. Wind Energy Explained: Theory, Design and Application. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2010.

PINTO, Milton de Oliveira. Fundamentos de Energia Eólica. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. Rio de Janeiro: EPE, 2016.