

# SISTEMAS EÓLICOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

## 1. INTRODUCCIÓN.

La energía eléctrica es un componente esencial del desarrollo económico y social. En este sentido, la población mundial requiere de energía para cubrir por un lado, las necesidades básicas de alimentación e iluminación y, por otro, una demanda creciente procedente del desarrollo de las nuevas tecnologías de comunicación. Además, la energía eléctrica es el input fundamental en multitud de procesos productivos. Existen diferentes tecnologías de generación de energía eléctrica para cubrir la demanda, clasificadas en función del tipo de fuente de energía que emplean, entre ellas: nuclear, hidráulica, térmica, eólica y solar. A su vez, las distintas fuentes de energía que existen se suelen clasificar en renovables o no renovables. Se denomina energía renovable a aquella que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Dentro de la denominación de energías renovables se encuentran la eólica, solar, hidroeléctrica, biomasa, biocombustibles, geotérmica, mareomotriz y undimotriz. Las diversas fuentes de generación contribuyen de distinta manera a la emisión de gases de efecto invernadero, causantes del cambio climático, siendo las energías renovables las que menor impacto generan y mayor potencial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero tienen. Es en ese sentido que la energía eólica puede contribuir de manera muy significativa a cubrir la creciente demanda de energía eléctrica con un mínimo impacto sobre el medioambiente, es debido a ello que en este artículo se dará a conocer un poco más de estos sistemas eólicos como los tipos de aerogeneradores y componentes que se están manejando en los actuales proyectos de generación. Al final se dará a conocer algunas recomendaciones de instalación para los sistemas eólicos y se hará una comparación de ventajas que tendrá el instalar estos sistemas en el mar y fuera de él es decir dentro de la costa.



Fig. 1. Sistemas eólico.

## 2. ANTECEDENTES.

El desarrollo de la energía eólica a gran escala y su consecuente despegue como industria surge a partir de la década de los 70, impulsada por la crisis del petróleo que llevó a varias naciones a impulsar ambiciosos planes de desarrollo de esta tecnología. En ese escenario, comenzaron a gestarse los primeros prototipos de gran potencia, con desarrollos tecnológicos que constituirían los estándares de la industria para los próximos años. Ya para el año 1978, se logró construir en Dinamarca el primer prototipo de gran envergadura, 2 MW, el cual aún opera y posee características muy similares a los actuales. A mediados de la década de los 70, el Gobierno de Estados Unidos, a través del Departamento de Energía y la NASA, avanzó en un programa piloto que concluyó con 13 prototipos exitosos cuyas características constructivas y de diseño sentaron las bases de los estándares que utilizan las turbinas eólicas modernas, como torres tubulares de acero, generadores de velocidad variable, materiales compuestos para las aspas, control del ángulo de las aspas, así como características aerodinámicas, estructurales y acústicas. Y actualmente este tipo de sistemas vienen presentando un uso cada vez mayor, ya que alineados a su avance tecnológico han provocado que los costos de instalación disminuyan considerablemente, y a esto se suma las políticas que los gobiernos están impulsando para el uso de las energías no convencionales con el fin de reducir las emisiones del CO<sub>2</sub> para estos años y así evitar el calentamiento global.



Fig. 2. Gráfico 1. La energía eólica como fuente de energía en el futuro

Fuente: EWEA Informes Pure Power Wind energy scenary up to 203 / <https://www.worldenergytrade.com/articulos-tecnicos/energias-alternativas-at/energia-eolica-analizando-su-importancia>

## 3. TIPOS DE SISTEMAS EÓLICOS.

### 3.1 Funcionamiento

Los parques eólicos terrestres son las infraestructuras encargadas de producir energía eléctrica a partir del viento que se produce en emplazamientos en tierra. Para ello, se diseñan y construyen una serie de elementos capaces de transformar la energía cinética del viento en energía eléctrica, primero, y de convertirla en electricidad apta para el consumo, después, e integrarla en la red de distribución. La energía eléctrica se produce en el aerogenerador. Se trata de una estructura que se sustenta sobre una cimentación de hormigón armado para garantizar su estabilidad y funcionalidad. Cuenta con un controlador que inicia y detiene la turbina según las condiciones climáticas, así como con un mecanismo que determina la dirección del viento y le permite orientarse correctamente.

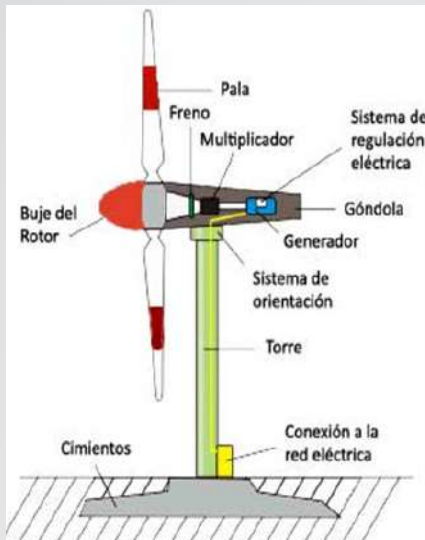


Fig. 3. Componentes del sistema eólico.

La fuerza del viento hace girar las palas del aerogenerador, que están diseñadas para captar al máximo esa energía cinética: pueden moverse incluso con vientos muy suaves, desde 11 kilómetros por hora. Las palas están unidas a la turbina a través del buje, que a su vez está conectado al eje lento, que gira a la misma velocidad de las aspas (entre 7 y 12 revoluciones por minuto). Una multiplicadora eleva esa velocidad más de 100 veces y la transfiere al eje rápido, que se mueve a más de 1.500 revoluciones por minuto. Dicha fuerza se transmite al generador (algunas tecnologías utilizan generadores de baja velocidad acoplados directamente al eje lento), donde la energía cinética se transforma en energía eléctrica. Y de ahí pasa al convertidor, que la transforma en corriente alterna.

La energía eléctrica producida es de baja tensión, por lo que se conduce hasta un transformador que la eleva a media tensión (entre 20 y 66 kV) para que pueda ser transportada por el parque. Desde allí se traslada hasta la subestación, que convierte la energía en corriente de alto voltaje (más de 132 kV).

Esta electricidad, ya apta para el consumo, se transfiere a través de la línea de evacuación (generalmente aérea) hasta las instalaciones conectadas a la red de distribución, que la lleva finalmente a los hogares.

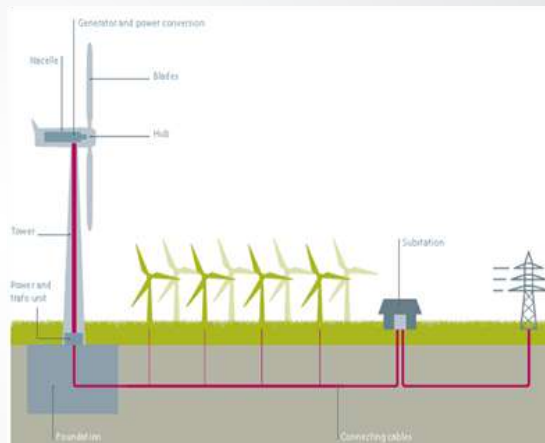


Fig. 4. Transporte y distribución de la energía generada.

### 3.2 Comparativas de sistema eólicos

De acuerdo al lugar donde se instala, los sistemas eólicos se dividen en tres grupos bien marcados, los cuales pasaremos a detallar sus ventajas y desventajas para escoger el sistema más conveniente según lo que estamos buscando en el proyecto.

#### EÓLICA ONSHORE



#### EÓLICA OFFSHORE



#### MINIEÓLICO





**Ventajas:**

- Instalación
- Transporte
- Mantenimiento

**Desventajas:**

- La superficie de instalación es limitada
- Impacto ambiental
- Perturbación del tiempo

**Ventajas:**

- Superficie de instalación es ilimitada
- Se reduce el impacto ambiental
- Potencial energético

**Desventajas:**

- Instalación
- Anclaje de aerogeneradores
- Alto costo de instalación

**Ventajas:**

- Independencia de energía
- Bajo coste de instalación
- Amortización

**Desventajas:**

- Regulación estatal
- Mantenimiento

### 3.3 Tipos de aerogeneradores

#### 3.3.1 Aerogeneradores de eje vertical

Denominadas VAWT (Vertical Axis Wind Turbine) por su sigla en inglés, este tipo de turbinas se caracteriza porque el eje se ubica verticalmente y los componentes principales del aerogenerador se encuentran en la base de la turbina. Las principales ventajas de esta configuración son que no se necesita orientar en la dirección del viento, y que puede operar a bajas velocidades. Algunos modelos desarrollados en esta familia de turbinas incluyen el Savonius, el Darrieus y el Giromill.

**Darrieus.** Consiste de dos o más palas dispuestas en forma similar a una cuerda sujeta en sus extremos. Se requiere de un motor de arranque y de refuerzos en la estructura para la sujeción. Las turbinas tipo Darrieus tienden a detenerse ante la presencia de vientos fuertes.



Fig. 5. Aerogenerador Darrieus.



Fig. 6. Aerogenerador Savonius.

**Savonius.** Está formada por dos palas que corresponden a dos mitades de un cilindro cortado en la mitad. Su sencilla construcción y capacidad para operar a bajos vientos, facilita su implementación. Además, cuentan con torque de arranque propio, sin embargo, su rendimiento es inferior a las turbinas de eje horizontal.

**Giromill.** El aerogenerador de tipo giromill es un rotor mucho más eficiente que el anterior y produce cargas más estables, fue patentado por G.J.M Darrieus y su fabricación consiste en 3 palas verticales que se encuentran unidas al eje por brazos horizontales, esto pueden salir por los extremos o la parte central del aspa y generar una velocidad mecánica considerable, capaz de convertir energía eléctrica en poco tiempo.



Fig. 7. Aerogenerador Giromill.

### 3.3.2 Aerogeneradores de eje horizontal

Denominadas HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine) por su sigla en inglés, en esta familia de aerogeneradores el rotor del eje se posiciona en forma horizontal y representa la mayor cantidad de turbinas eólicas presentes en el mercado, debido a su mejor desempeño y robustez. En etapas tempranas de desarrollo de los aerogeneradores se probaron modelos de uno, dos, tres e inclusive de múltiples aspas, prevaleciendo la utilización de las turbinas de tres aspas, debido a su rendimiento y confiabilidad.

**Multipala.** Como bien dice su nombre, se caracterizan por poseer una gran cantidad de palas, lo que reduce la velocidad de giro de la turbina. Debido a esta característica no se utilizan para generación de electricidad, sino para bombeo de agua.



Fig. 8. Aerogenerador Multipala.



Fig. 9. Aerogenerador tipo Hélice.

**Hélice.** Dentro de esta categoría se encuentran turbinas de giro rápido, óptima para la generación de electricidad. En este subgrupo se encuentran turbinas de una, dos y tres palas, siendo los rotores de tres palas, las utilizadas con mayor frecuencia dado que poseen mayor estabilidad aerodinámica y estructural

### 3.4 Separación óptima entre generadores

Instalar miles de turbinas eólicas en una misma zona implicará ocupar muchos terrenos cercanos y requerirá nuevas herramientas que puedan equilibrar costos y eficiencia para proporcionar la mayor cantidad posible de energía por cada billete invertido. El gran espacio ocupado se debe a que las palas de un aerogenerador distorsiona el viento, creando remolinos de turbulencias que pueden afectar a otras turbinas eólicas hasta distancias bastante grandes. La mayoría de los estudios anteriores han sido realizados usando modelos digitales para calcular el efecto de una turbina individual sobre otra. Empleando simulaciones informáticas a gran escala, y experimentos a pequeña escala en túneles de viento se llegó a que la distancia óptima entre las turbinas eólicas debe ser aproximadamente de 7 a 10 veces el diámetro del rotor.

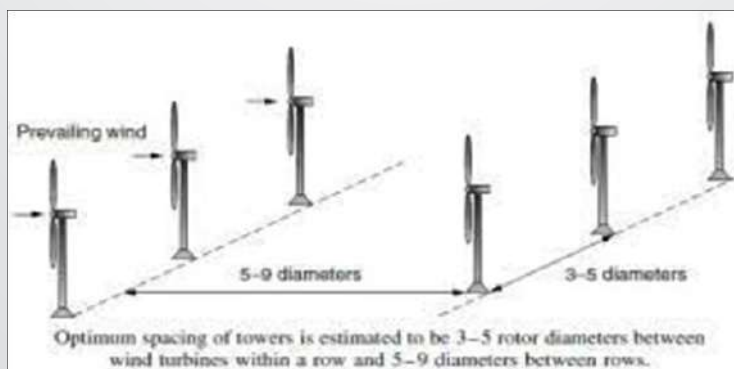


Fig. 10. Distancia entre generadores tipo hélice.

### 3.5 Energía útil que podemos generar en los sistemas eólicos.

**Potencia Extraíble.** Es la máxima potencia que podemos obtener de la energía cinética del aire, y se calcula de la siguiente manera.

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$P = \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot dx \right) \quad P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot \frac{dx}{dt}$$

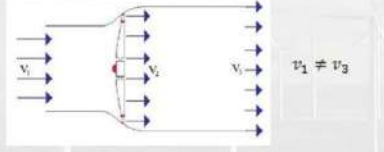
$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$$


Fig. 11. Fórmulas de energía.

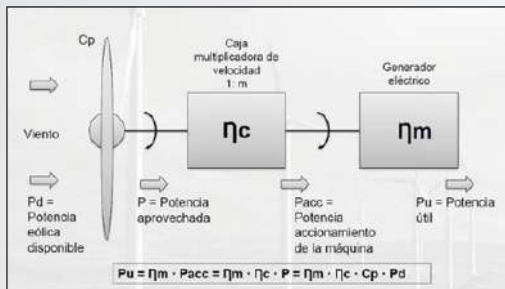


Fig. 12. Fórmulas para hallar la energía útil, considerando la pérdida en los procesos.

**Potencia Útil.** Es la potencia eléctrica que podemos generar con estos sistemas, y se halla teniendo en cuenta la potencia extraíble de entrada y las pérdidas que el sistema contiene en cada proceso.

## 4. CONCLUSIÓN.

- Se puede concluir que los sistemas eólicos son una tecnología que ha dado avances sustanciales en los últimos tiempos, generando menores costos en la implementación de estos y a la vez se cuenta con toda una base teórica para poder adaptar los diferentes tipos de sistemas eólicos a las condiciones del medio y de esa manera obtener la mayor generación de energía posible.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Cifuentes, R. L. (2013). Desarrollo de proyectos Eólicos pequeños y medianos . Centro de Energías Renovables (CER), 7-8.
- Iberdrola, S. (2020). Funcionamiento de parques eólicos terrestres. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/como-funcionan-parques-eolicos-terrestres>.
- Reve. (01 de Enero de 2011). La separación óptima entre aerogeneradores. Obtenido de <https://www.evwind.com/2011/01/01/la-separacion-optima-entre-aerogeneradores/>.
- Santos, S. C. (24/09/2014). ESTADO DEL ARTE DE LA FASE DE EXPLOTACIÓN DE PARQUES EÓLICOS MARINOS. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.

**Autor:** Ing. Víctor Gonzales Zamora, Analista de Ingeniería

**Edición:** Lic. Francie Salazar Mandamiento, Responsable de Marketing e Imagen Corporativa