



Organización Latinoamericana de Energía
Latin American Energy Organization
Organisation Latino-américaine d'Énergie
Organização Latino-Americana de Energia

ENERGÍA EÓLICA TEORÍA Y CONCEPTOS

Dr. Oscar Alfredo Jaramillo Salgado

Investigador Titula “A”

INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA UNAM

CAPEV 15 - 2013

2 de septiembre de 2013

Temixco, Morelos, MÉXICO



OLADE se crea el 2 de noviembre de 1973 con la suscripción del Convenio de Lima, instrumento constitutivo de la Organización, ratificado por 27 países de América Latina y el Caribe y un País Participante, Argelia.

40olade
años · years · anos · ans

Organización Latinoamericana de Energía
Latin American Energy Organization
Organisation Latino-américaine d'Énergie
Organização Latino-Americana de Energia

MISIÓN: Contribuir a la integración, al desarrollo sostenible y la seguridad energética de la región, asesorando e impulsando la cooperación y la coordinación entre sus Países Miembros.

VISIÓN: OLADE es la Organización política y de apoyo técnico, mediante la cual sus Estados Miembros realizan esfuerzos comunes, para la integración energética regional y subregional.



Contenido de la presentación

- Historia del uso de la energía del viento
- Inicios de los aerogeneradores eléctricos
- Aerogeneradores modernos

Historia del uso de la energía del viento

La utilización de la energía eólica no es una tecnología nueva, se basa en el redescubrimiento de una larga tradición de sistemas eólicos empíricos. No es posible establecer con toda claridad el desarrollo histórico de los "sistemas de conversión de energía eólica", sólo es posible identificar los importantes papeles que desempeña la energía eólica en el pasado.

La utilización de la energía del viento resulta muy antigua. La historia se remonta al año 3 500 a.C., cuando los sumerios armaron las primeras embarcaciones de vela, los egipcios construyeron barcos hace al menos cinco mil años para navegar por el Nilo y más tarde por el Mediterráneo. Después, los griegos construyeron máquinas que funcionaban con el viento. Así, desde la antigüedad éste ha sido el motor de las embarcaciones. Algunos historiadores sugieren que hace más de 3,000 años la fuerza del viento se empleaba en Egipto cerca de Alejandría para la molienda de granos. Sin embargo, la información más fehaciente de la utilización de la energía eólica en la molienda apunta a Persia en la frontera Afgana en el año 640 D.C.



Figure 5: Molino persa de eje vertical, Afganistán.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

Otras fuentes históricas, fechadas unos cuantos años más tarde, muestran que los chinos también utilizaban la energía del viento en ruedas con paletas y eje vertical para irrigar o drenar sus campos de arroz (ver figura 6)

En comparación con China y Persia, algunos países de Europa utilizaron molinos de viento pero de eje horizontal. Los historiadores muestran que tales molinos se empleaban ya en el año 1180 en Normandía y que fueron desarrollados alrededor del año 1120. Este tipo de molinos rápidamente se diseminó en todo el Norte y Este de Europa como Finlandia y Rusia. También se desarrollaron números molinos de pedestal en Alemania durante el siglo XIII (figura 7). Este molino consiste en un pedestal central que está apuntalado por cuatro barras en diagonal lo que le permite estar por encima del terreno.

A inicios del siglo XV, se hicieron esfuerzos para usar los molinos de viento provistos de ruedas motrices para el bombeo de agua. Sin embargo, el molino giratorio no era apropiado para este propósito. En Holanda, esta situación inspiró el desarrollo del “molino de viento hueco”. Estos molinos se utilizaron principalmente para el drenaje, más tarde también para la molienda de granos y aserrado de madera.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes



Figure 6: Rueda con paletas de eje vertical de invención china.



Figure 7: Molino de pedestal



Figure 8: Molino hueco.



Figure 9: Molino de torre.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

El molino de torre se hizo común en las regiones del mediterráneo. Originalmente, la rueda de molienda no se podía mover de manera angular alrededor del eje vertical. Posteriormente, en los siguientes diseños el eje del molino de viento se podía reubicar de manera manual a un número de posiciones de apoyo proporcionando así por lo menos una orientación burda del viento. En las regiones mediterráneas los molinos de viento de torre del Medioevo solían tener aspas con velas triangulares (ver figura 9).

El molino de viento holandés había surgido de la idea básica que condujo al diseño de los molinos de viento de pedestal. La intención era proporcionar una base firme a fin de tener mejores condiciones para la conducción de las diversas máquinas. Es una solución sencilla construir el molino entero como una sola estructura fija y permitir únicamente a la tapa del techo que giran con las velas del molino. Este diseño fue un paso decisivo hacia los molinos de viento más grandes y poderosos. El voluminoso molino de viento podía acomodar diferentes equipos. Aparte de la molienda de granos se empleó en la creación de tintes y similares, para máquinas de martilleo y también en sierras de madera. Este tipo de molino se dejó de utilizar hasta el siglo XIX (ver figura 10) .

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes



Figure 10: Molino de viento ampliamente empleado en Dinamarca en el Medioevo.

Scientific and Technical Development of Windmills

The development of the various types of windmill from medieval times to the 17th century can hardly be considered the result of systematic research and development. The basis for advances in development and the diversification of windmill designs were improvements found more or less incidentally and an empirically founded evolution.

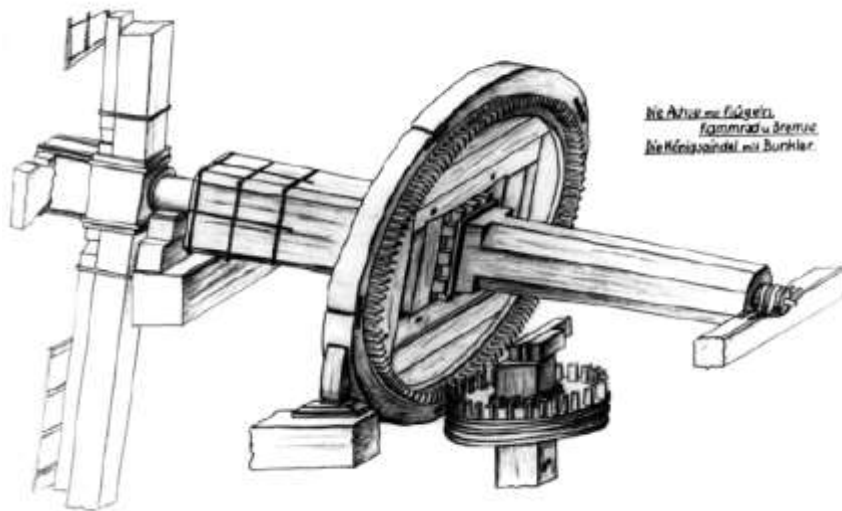


Figure 1.14. Wooden “wind shaft” with “cogged wheel” and “wallower” of a Dutch windmill



Figure 1.15. Cast iron wind shaft of a Dutch windmill

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes



Figure 1.16. Windmill with subsequently added "Ventikanten" sails (photo Fröde)

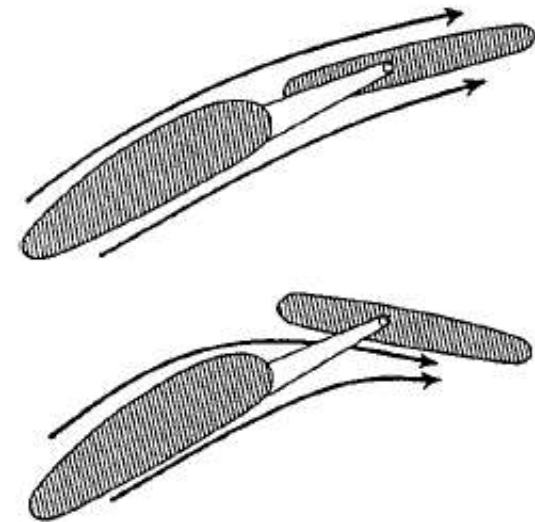


Figure 1.17. Function of the Ventikanten sail [2]

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

En los Países Bajos, el molino holandés permitió el drenado de bastas extensiones de tierra cultivable. Los holandeses construyeron diques y reclamaron una importante cantidad de tierra anegada en el siglo XV. Los Países Bajos no hubieran llegado a ser una importante nación entre los siglos XVI y XVII si no se hubiera utilizado la tecnología de dragado mediante el uso del molinos de viento (ver figura 11).

A inicios del siglo XIX, cuando la tecnología del molino de viento alcanzaba su pico en Europa, numerosos molinos de viento también fueron construidos en el nuevo mundo, principalmente en la costa Este en donde holandeses y británicos tenían sus establecimientos. Simultáneamente, cuando el gran movimiento hacia el Oeste comenzó en los E.E.U.U, los colonos sobretodo necesitaron el agua. En esos lugares donde no se tenían agua de ríos o de manantiales superficiales, el agua tuvo que ser bombeada de pozos. Los grandes molinos de viento diseñados en Europa fueron de muy poca ayuda para este fin. Eran demasiado robustos y complicados de construir.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes



Figure 11: Tipo de molinos holandeses empleados en el dragado en el siglo XVII.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

Cerca de 1850, el mecánico Daniel Halladay de Connecticut encontró una primera solución al bombeo de agua. Diseñó un molino de viento autorregulable a las velocidades del viento con la finalidad de operar bajo condiciones de vientos con velocidades altas. Halladay había visto en máquinas de vapor los gobernadores flyweight que abren una válvula de seguridad en el caso de velocidad excesiva. Con este concepto en mente, él diseñó un rotor donde las láminas no fueron ensambladas directamente al eje, sino se suspendían libremente en un anillo. El movimiento del anillo se accionaba por el flyweight. En su diseño también dividió la rueda en seis secciones. A velocidades de viento bajas, el rotor daba vueltas lentamente, con el gobernador flyweight inactivo las láminas presentaban ángulos pequeños. Con el aumento de la velocidad del viento y revoluciones más altas, el flyweight se activaba y los láminas incrementaba el ángulo de las láminas (ver figura 12).

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

Inicialmente, Halladay utilizó solamente algunas láminas delgadas de madera, pero él aumentó el número de éstas hasta que la superficie entera del rotor fuera cubierta. Incluyó una pala en la cola para evitar la desviación causada por la velocidad del rotor ante el viento. Las características aerodinámicas de su turbina eólica se diferenciaron grandemente de los molinos de viento previos. Su turbina de viento permitía un alto esfuerzo de torsión a velocidades bajas, exactamente las condiciones necesarias para el bombeo de agua de pozos. La principal aplicación de este tipo de tecnología ocurrió en los ferrocarriles de vapor que demandaban un gran cantidad de agua para operar (ver figura 13). La turbina eólica de Halladay dejó de fabricarse a finales de 1929.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

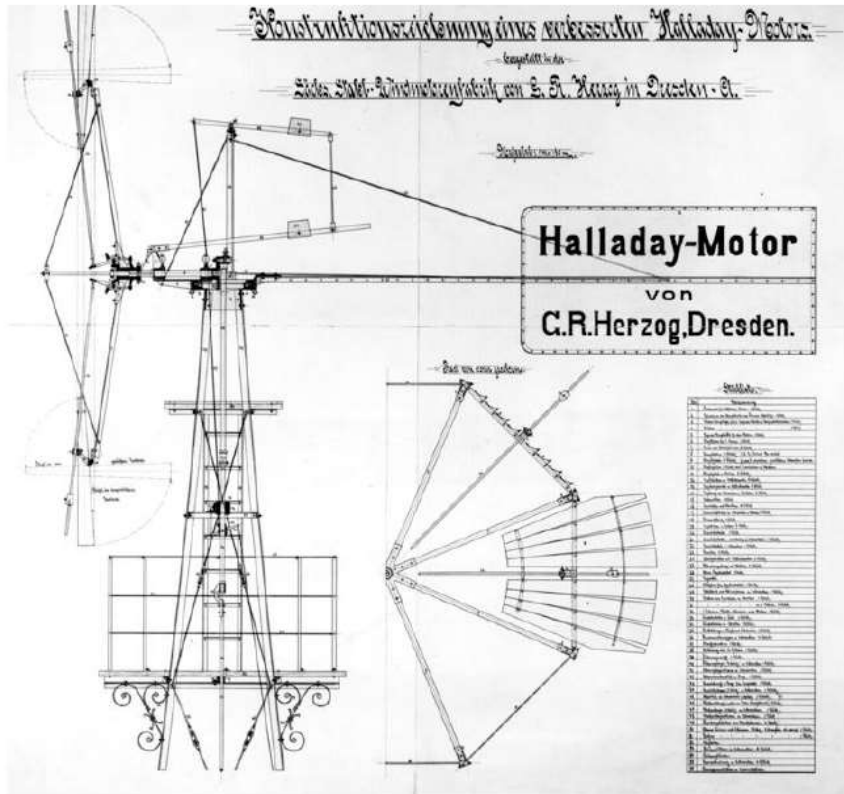


Figure 12: Diseño de la turbina eólica de Halladay.



Figure 13: Recarga de agua para Union Pacific Railroad.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

El reverendo Leonhard Wheeler de Wisconsin encontró una solución más simple de las turbinas eólica algunos años más tarde. En lugar de dividir el rotor en sectores montó palas individuales colocadas perpendicularmente a la dirección de viento. La aleta o pala estaba conectado a un peso, de modo que cuando la velocidad del viento disminuía, la rueda volvía a su posición original (figura 14). El concepto del reverendo Wheeler se fabricó bajo el nombre de "Eclipse" y se convirtió en el estándar de diseño de la turbina de viento en EEUU.

Los dos nuevos conceptos de turbina eólica fueron presentados al público en la exposición mundial de 1876 en Filadelfia. Los granjeros estaban muy interesados en este tipo de equipos relativamente simples y baratos. En los años siguientes, las turbinas eólicas fueron fabricadas en un número cada vez mayor de compañías relativamente pequeñas, particularmente el modelo desarrollado por el reverendo Wheeler se construyó variantes numerosas.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes



Figure 14: Turbina eólica "Eclipse".

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

Antes de 1899, se contaban 77 fabricantes de turbinas eólicas y en 1930 su número había aumentado a casi 100 compañías con un total de cerca de 2 300 empleados. Las turbinas eólicas encontraron un importante nicho de mercado tanto interno como de exportación y fueron vendidas casi por todo el mundo. Sin embargo, ya que no eran capaces de establecer disrupción tecnológica en Europa en la utilización de la energía eólica hubo una contractura del mercado en ese momento. Cabe señalar que algunas empresas alemanas, como Herkules o Köster, fabricaron en números modestos turbinas eólicas bajo licencia.

Antes de 1930, más de seis millones de turbinas eólicas americanas habían sido fabricadas. Por primera vez, la utilización de la energía eólica fue basada en un artículo industrial producido en masa. Sin embargo el "programa rural de la electrificación" de los años 1930 que proporcionó electrificación a las zonas rurales puso fin a las turbinas eólicas para bombeo y su número disminuyó rápidamente.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

Inicios de los aerogeneradores eléctricos

Como se mencionó anteriormente, en los inicios de 1900, los molinos de viento se utilizaron típicamente para la molienda y bombeo de agua. La utilización de la energía eólica para la generación de electricidad nace en el invierno de 1887 cuando Charles F. Brush (1849-1929), uno de los fundadores de la industria eléctrica americana, construye la primera turbina eólica para generación de electricidad. Este aerogenerador primitivo contaba con un generador de tan sólo 12 kW, tenía un rotor de 17 metros de diámetro con 144 palas fabricadas en madera de cedro. Cabe indicar que en 1890 la revista Scientific American publicaba la descripción del aerogenerador de turbina eólica de Brush (ver figura 15).

El meteorólogo Danés Poul la Cour (1846-1908) fue el iniciador de los modernos aerogeneradores y fue uno de los pioneros de la moderna aerodinámica al construir su propio túnel de viento para realizar experimentos. Poul la Cour establece que las turbinas eólicas de giro rápido con pocas palas en el rotor son más eficientes para la producción de electricidad que aquéllas de giro lento como las desarrolladas en América. La Cour interesado en el almacenamiento de energía producía hidrógeno mediante electrólisis a partir de la electricidad de sus aerogeneradores. Cabe señalar que el avance tecnológico de la Cour inició la electrificación rural de Dinamarca y creó el primer mercado de generación eléctrica a partir del viento (ver figura 16).

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

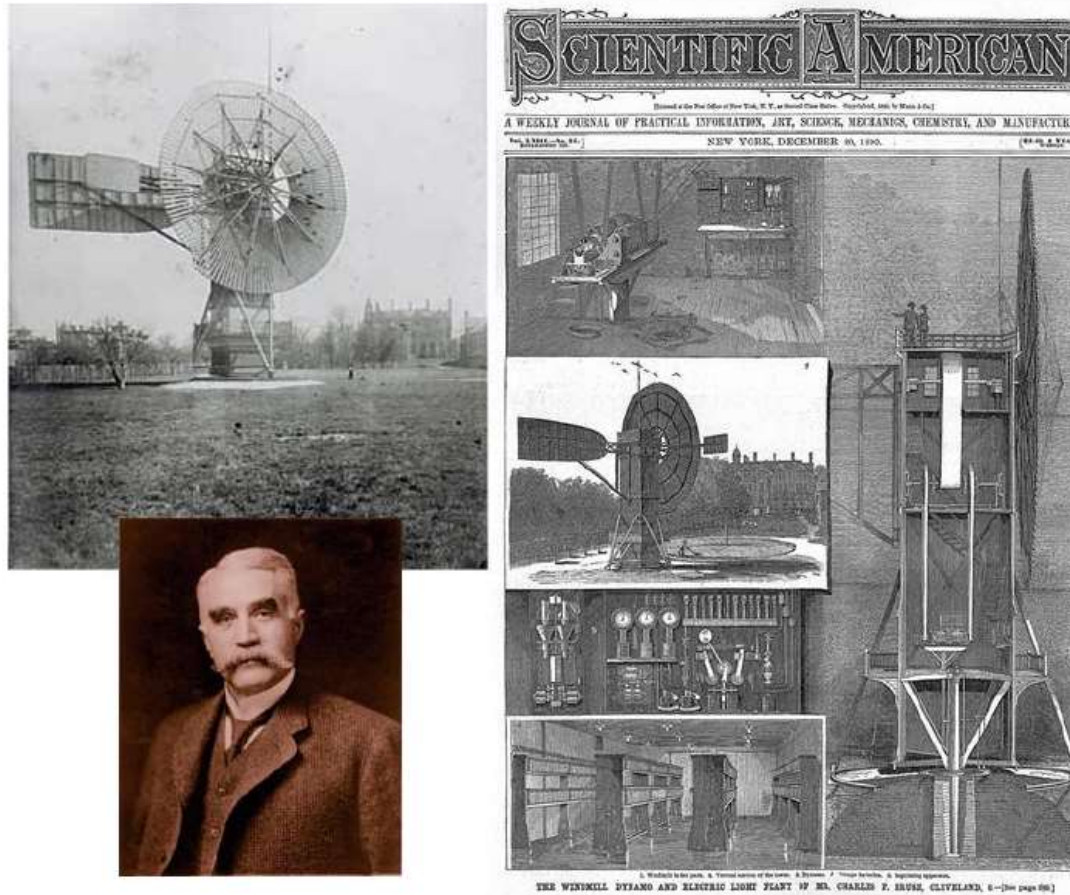


Figure 15: Charles F. Brush y su aerogenerador de 12 kW creado a finales del siglo XIX.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

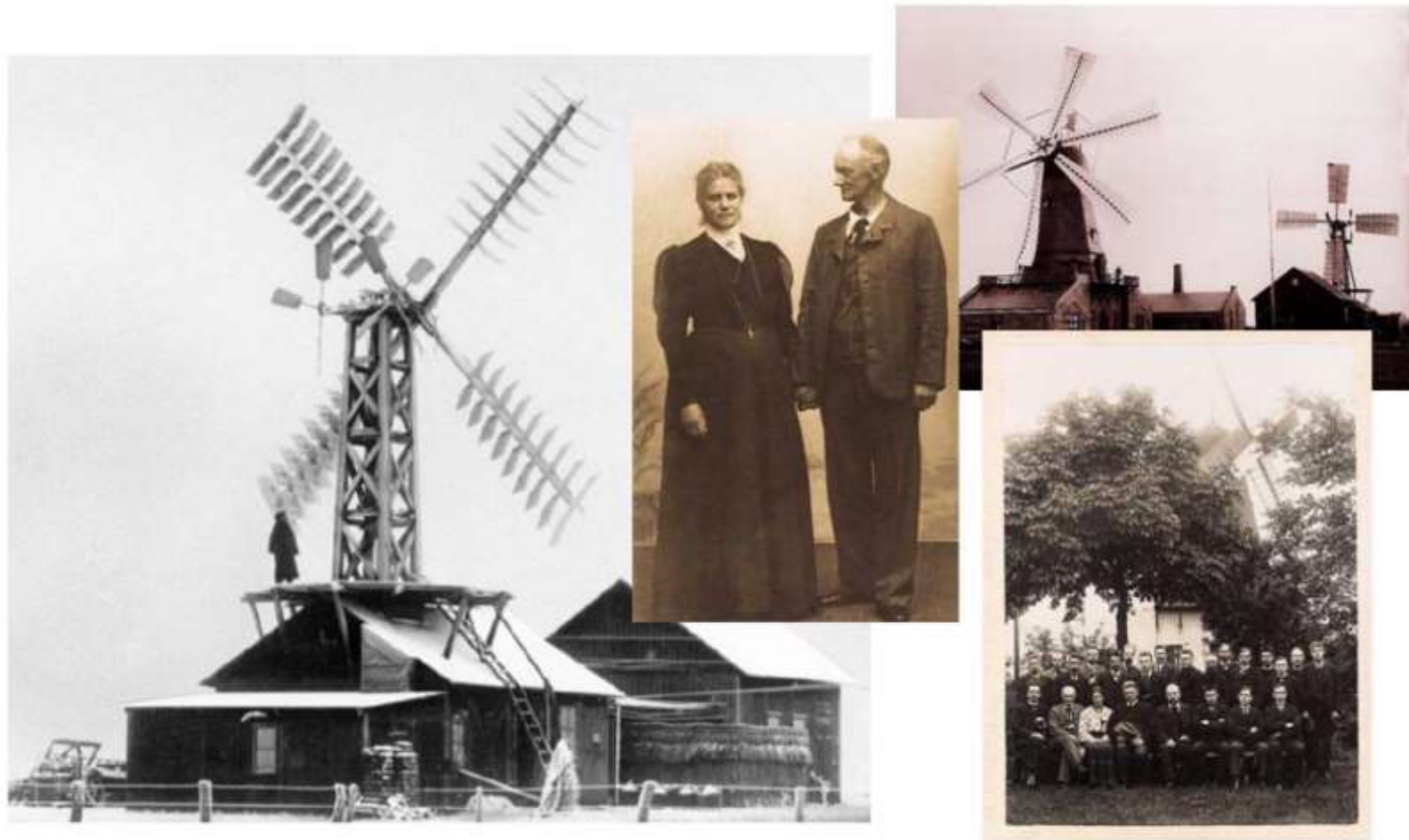


Figure 16: Aerogeneradores de la Cour. Ingenieros electricistas eólicos en el instituto Folk de Askov, clase de 1904. Poul la Cour y a su esposa Christine en Askov

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

En Dinamarca en 1942, la compañía F.L. Smidth construyó diversos aerogeneradores bi y tripala con torres construidas en cemento o mediante elementos estructurales. Todas estas máquinas generaban corriente alterna (ver figura 17).

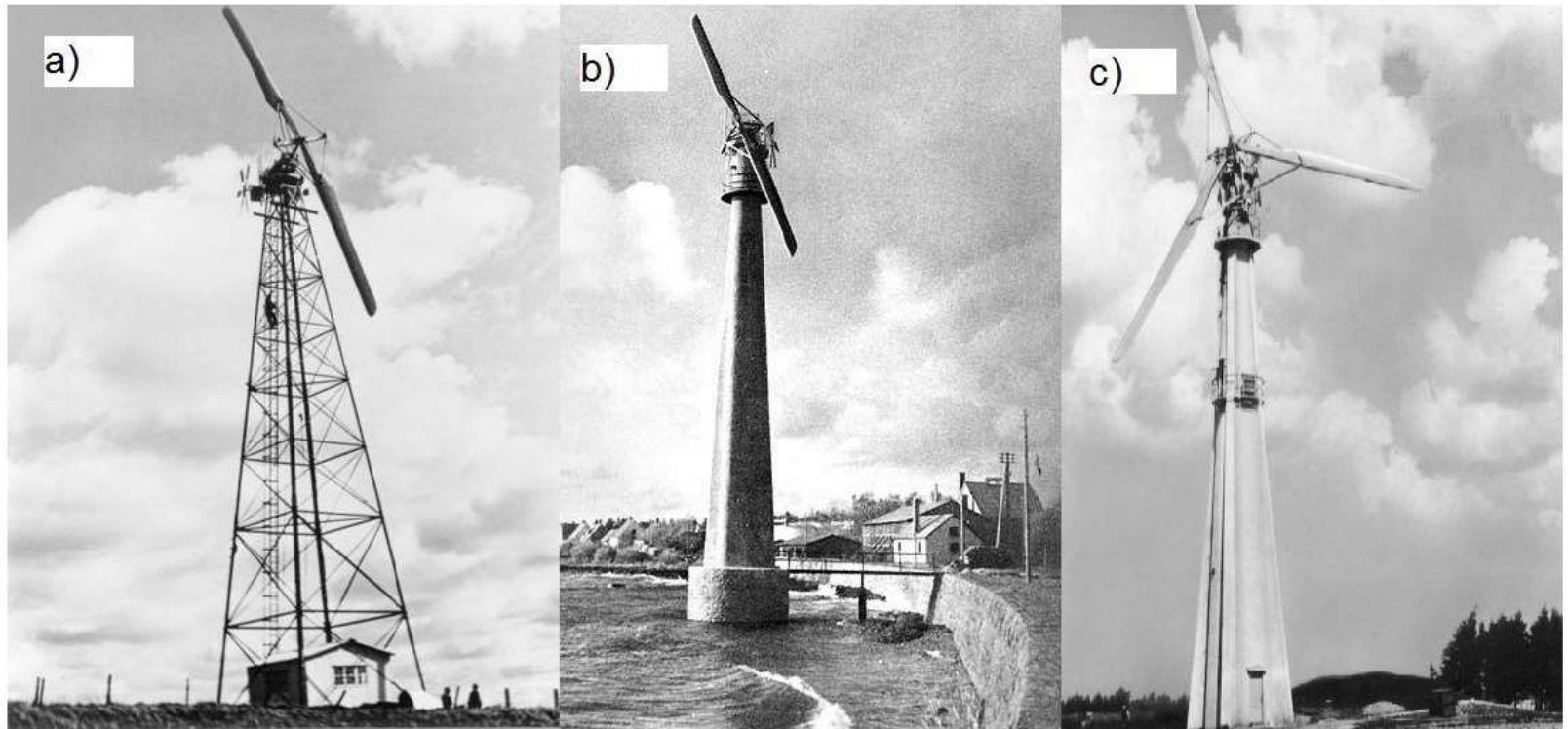


Figure 17: a) "Aeromotor" Smidth (diámetro del rotor 17.5 m, potencia aprox.50 kW), 1941/2. b) "Aeromotor" Smidth con torre de concreto (diámetro del rotor 17.5 m, potencia aprox. 50 kW), 1942. c) "Aeromotor" Smidth con rotor de tres palas (diámetro del rotor 24 m, potencia aprox. 70 kW)1942/3.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

De entre los primeros alumnos electricistas eólicos de la Cour, el ingeniero Johannes Juul fue de los pioneros en la época de 1950 en el desarrollo de aerogeneradores de corriente alterna. Entre 1956 y 1957, J. Juul construyó un innovador aerogenerador de 200 kW en la costa de Gedser, en la parte sur de Dinamarca. Se trataba de un rotor con tres palas apuntando a barlovento y que utilizaba orientación electromecánica y un generador asíncrono. J. Juul introdujo en el diseño la regulación de la velocidad por pérdida aerodinámica e inventó los frenos aerodinámicos en la punta de pala para paro de emergencia el rotor. Cabe señalar que estos sistemas se emplean en las actuales turbinas de regulación por pérdida aerodinámica y como sistemas de frenado del roto (ver figura 18). Debido a un acuerdo entre la NASA y las autoridades danesas, la turbina eólica Gedser fue reacondicionada y operada en 1977 y sirvió como una turbina experimental durante varios años. Los resultados obtenidos, junto con la documentación técnica del aerogenerador HütterW-34 (ver figura 19), constituyeron el punto de partida para el trabajo de investigación de la NASA en el campo de la tecnología de energía eólica desde 1975.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

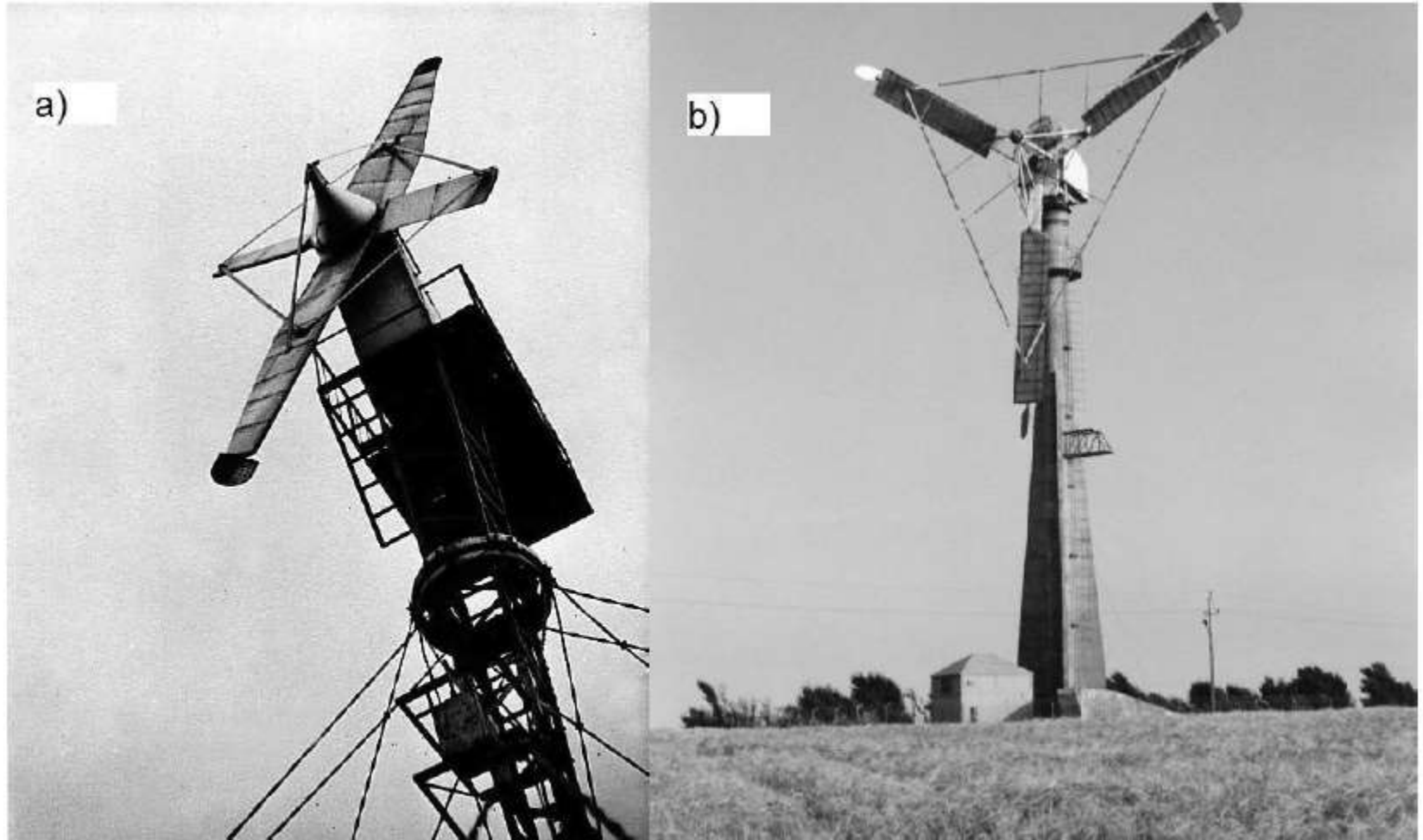


Figure 18: a) Aerogenerador de Juul en Vester Egesborg, Dinamarca, 1954. b) Aerogenerador de Juul en Gedser (diámetro de rotor 24 m, potencia 200 kW), 1957.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes



Figure 19: Aerogenerador W-34 construido por U. Hütter en Stötten, Alemania (diámetro del rotor 34 m, potencia 100 kW), 1959–1968.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

Si bien los sistemas de generación eoloeléctrica presentaron un desarrollo importante durante las primeras décadas del siglo XX, la primera y segunda guerras mundiales retuvieron su crecimiento y es hasta la década de 1970 con la primer crisis mundial del petrolero, que se reactiva su expansión. A partir de la primera crisis del petróleo de 1973 muchos países dirigieron sus esfuerzos hacia el desarrollo de sistemas de fuentes renovables. Muchos países despertaron su interés en la energía eólica. En Dinamarca, las compañías de energía dirigieron inmediatamente su atención a la construcción de grandes aerogeneradores, al igual que sus homólogos de Alemania, Suecia, el Reino Unido y los EE.UU.

Había la considerable incertidumbre en cuanto a cuál era la arquitectura más rentable y se desarrollaron y probaron varios conceptos innovadores. En EE.UU. se realizó la construcción de una serie de prototipos de turbinas eólicas que inició en 1975 con un aerogenerador de 38 m de diámetro y 100 kW (Mod-0), y finalizaron en 1987 con el modelo Mod-5B de 2.5 MW y 97.5 m de diámetro. En Canadá, una turbina eólica tipo Darrieus de 34 m de diámetro de eje vertical con capacidad de 4 MW fue construida y este mismo concepto fue probado en los laboratorios Sandia en los EE.UU. En el Reino Unido, un diseño alternativo de eje vertical usaba láminas rectas para conformar un rotor denominado tipo "H" propuesto por el Dr. Peter Musgrove quien desarrolló un prototipo de 500 kW.

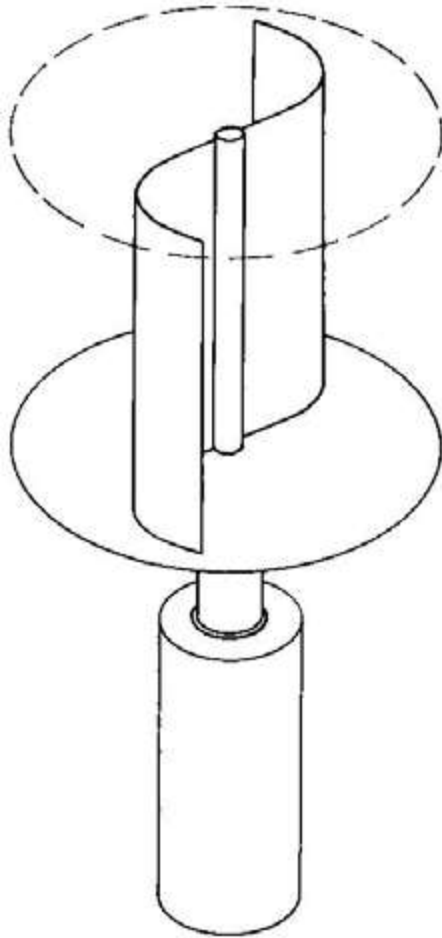
Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

Debemos recordar que entre los diseños más viejos de rotores de viento se encuentran los de eje con rotación vertical. En la figura 20 se muestran tres diseños de rotores de eje vertical. Al principio, sin embargo, los rotores de eje vertical sólo se construían como rotores de arrastre, es decir que la fuerza del viento empujaba sin que interviniera la utilización de un perfil aerodinámico para crear una fuerza de sustentación o levantamiento.

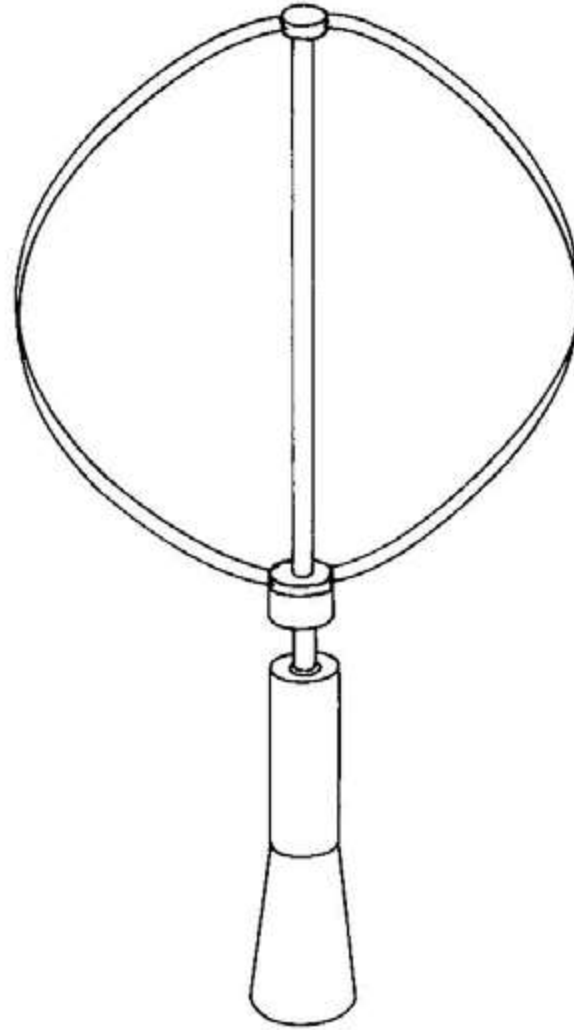
El primer diseño de rotor de eje vertical que utiliza un perfil aerodinámico para utilizar la fuerza de sustentación o levantamiento fue propuesto en 1925 por el ingeniero francés Darrieus, particularmente se ha considerado como concepto prometedor para las turbinas de viento modernas (ver figura 21). En el rotor de Darrieus, las láminas cuentan con un perfil aerodinámico y giran en un patrón de sólido geométrico de revolución. Esto hace que la forma geométrica de las láminas del rotor sea complicada y difícil fabricar. Al igual que el caso con los rotores de eje horizontal, los rotores de Darrieus se construyen con dos o tres láminas para el rotor.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

Savonius-Rotor



Darrieus-Rotor



H-Rotor

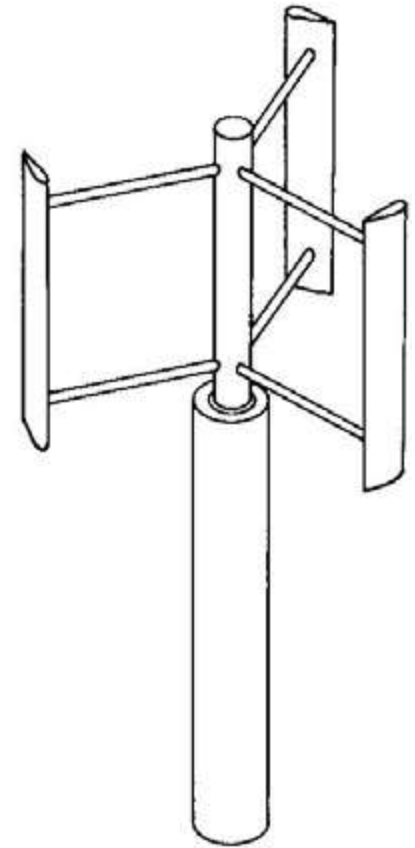



Figure 20: Conceptos de rotores de Eje Vertical

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes



Figure 21: Aerogenerador tipo Darrieus con diámetro de rotor de 19 m y 170kW de potencia de salida. 

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

Las ventajas principales de los conceptos de eje vertical es que su diseño básicamente simple permite que los sistemas mecánicos y eléctricos, como la caja de engranajes y el generador, sean colocados al nivel del suelo y que no haya sistema de orientación hacia la dirección del viento y sus principales desventajas son: su bajo coeficiente para operar a velocidades bajas, no pueden iniciar su movimiento por ellos mismos y es muy difícil controlar la salida de potencia ya que no se puede regular la velocidad por medio de la láminas o palas mediante el control del ángulo de ataque o el desprendimiento de flujo. De acuerdo con el desarrollo del ingeniero británico Musgrove, los rotores tipo *H* se probaron para permitir de manera rudimentaria un grado de control de la energía eléctrica generada y la velocidad del rotor (ver figura 22). Sin embargo, los costos de producción de estos sistemas siguen siendo tan altos que no pueden competir con los rotores del eje horizontal. El diseño de Savonius se utiliza ocasionalmente en rotores pequeños como para operar pequeñas bombas de agua. No se emplea como turbina de viento para la generación de electricidad debido a su operatividad a velocidades bajas como su bajo coeficiente de potencia.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes



Figure 22: Aerogenerador tipo H con diámetro de rotor de 35 m y 300 kW de potencia

Aerogeneradores modernos

Se puede decir que en la década de 1980 nace la industria eoloeléctrica moderna, cuando las primeras turbinas eólicas o aerogeneradores comerciales se instalaron en Palm Spring, California en Estados Unidos. Al comparar aquellas primeras instalaciones con las actuales centrales eoloeléctricas, la capacidad, la eficacia e impacto visual han mejorado enormemente. La mejora más dramática es el aumento en la capacidad de generación eléctrica y el incremento en la eficiencia de la conversión de la energía eólica. Los primeros aerogeneradores presentaban capacidades de apenas 25 kilowatts hace veinticinco años y actualmente la gama comercial es típicamente a partir de 750 hasta 2,500 kilowatts (2.5 MW). Así, cada turbina de 2 MW de capacidad produce más energía eléctrica que 200 de las máquinas que se comercializaban a finales de la década de 1980.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes



Palm Spring, USA

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes



Figure 2.43. Wind turbines (US Windpower) at the Altamont Pass, 1985

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes



Figure 2.44. Wind farm with Danish Micon turbines at the San Gorgonio Pass, 1986

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes



Figure 2.45. Wind farm with MAN-Aeroman turbines, on the Tehachapi Mountains, 1986

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes



Figure 2.46. Flowind wind farm with vertical axis Darrieus turbines on the Tehachapi Mountains, 1986

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

En la figura 23 se muestra esquemáticamente la evolución de la capacidad de los aerogeneradores en los últimos 20 años. La capacidad de generación de los aerogeneradores modernos es 100 veces mayor que aquella que se tenía al final de 1980 y los diámetros del rotor han aumentado en ocho veces. El auge en la fabricación de los aerogeneradores se basa principalmente en la generación de conocimientos en aerodinámica, mecánica y eléctrica, así como los beneficios económicos de las técnicas para la producción en masa, sin olvidar desde luego los incentivos económicos que ha logrado reducir sustancialmente los costos de generación de energía eléctrica a partir de esta tecnología.

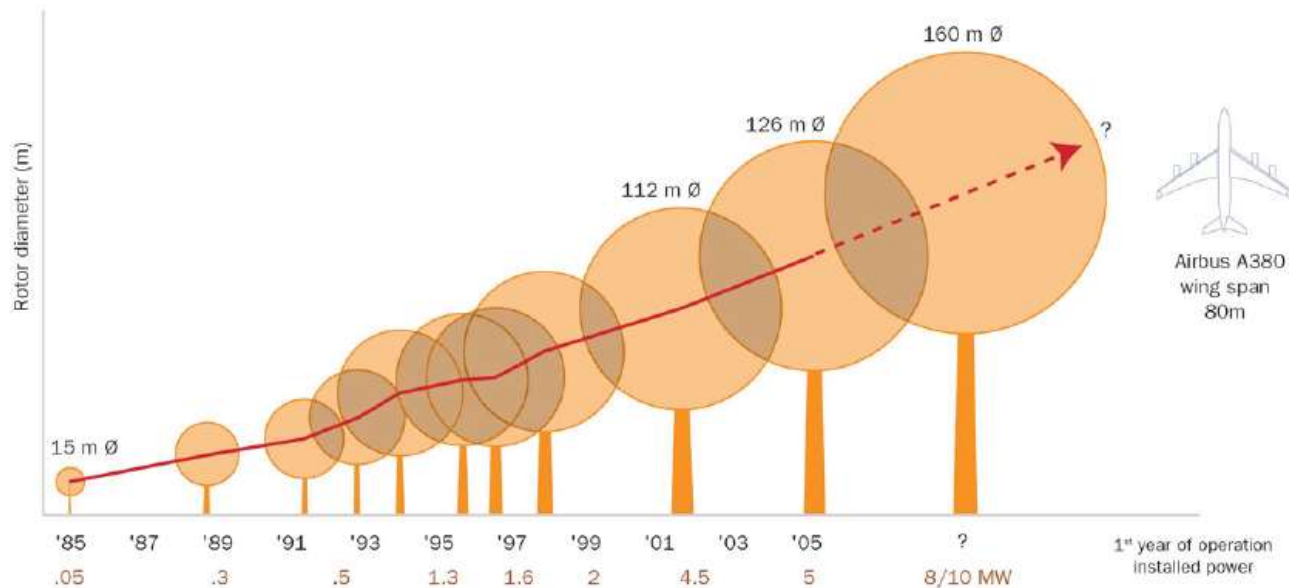


Figure 23: Aumento en la capacidad de los aerogeneradores.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

Los principales fabricantes de aerogeneradores son Alemania y Dinamarca, aunque hay mercados emergentes con el indio y el chino que crecen a ritmo vertiginoso. Dentro de los países con mayor tradición en la generación eoloeléctrica se encuentra Dinamarca, Alemania y en la última década se suman España y Estados Unidos. Un número importante de otros países, incluyendo Italia, el Reino Unido, los Países Bajos, Japón y Portugal, han alcanzado ya los 1,000 MW. en al figura 24 se muestra el desarrollo eoloeléctrico en el mundo y sus principales actores.

Es importante también indicar que por ahora la penetración de la generación eoloeléctrica ha generado pocos problemas en las redes eléctricas robustas de Europa y Estados Unidos. Un caso exitoso de alta penetración ocurre en la parte occidental de Dinamarca donde los operadores de la red son capaces de redirigir la electricidad generada por las centrales eólicas hacia otros países interconectados como Alemania, Países Bajos y Suecia. También puede ser difícil localizar centrales eólicas en algunas áreas por razones técnicas, ambientales o inclusive estéticas, y puede ser difícil integrar la energía eólica en redes eléctricas en algunos casos.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

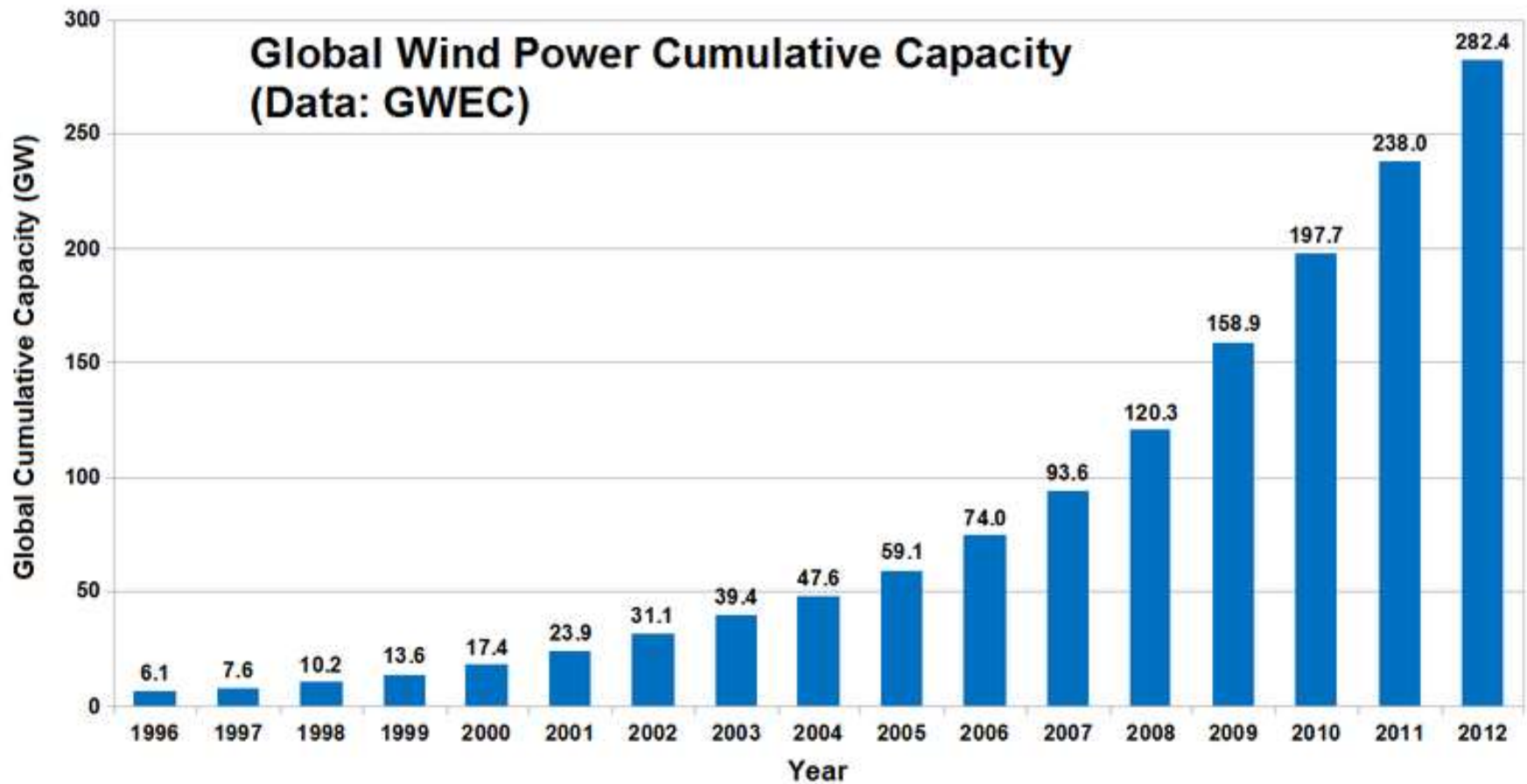


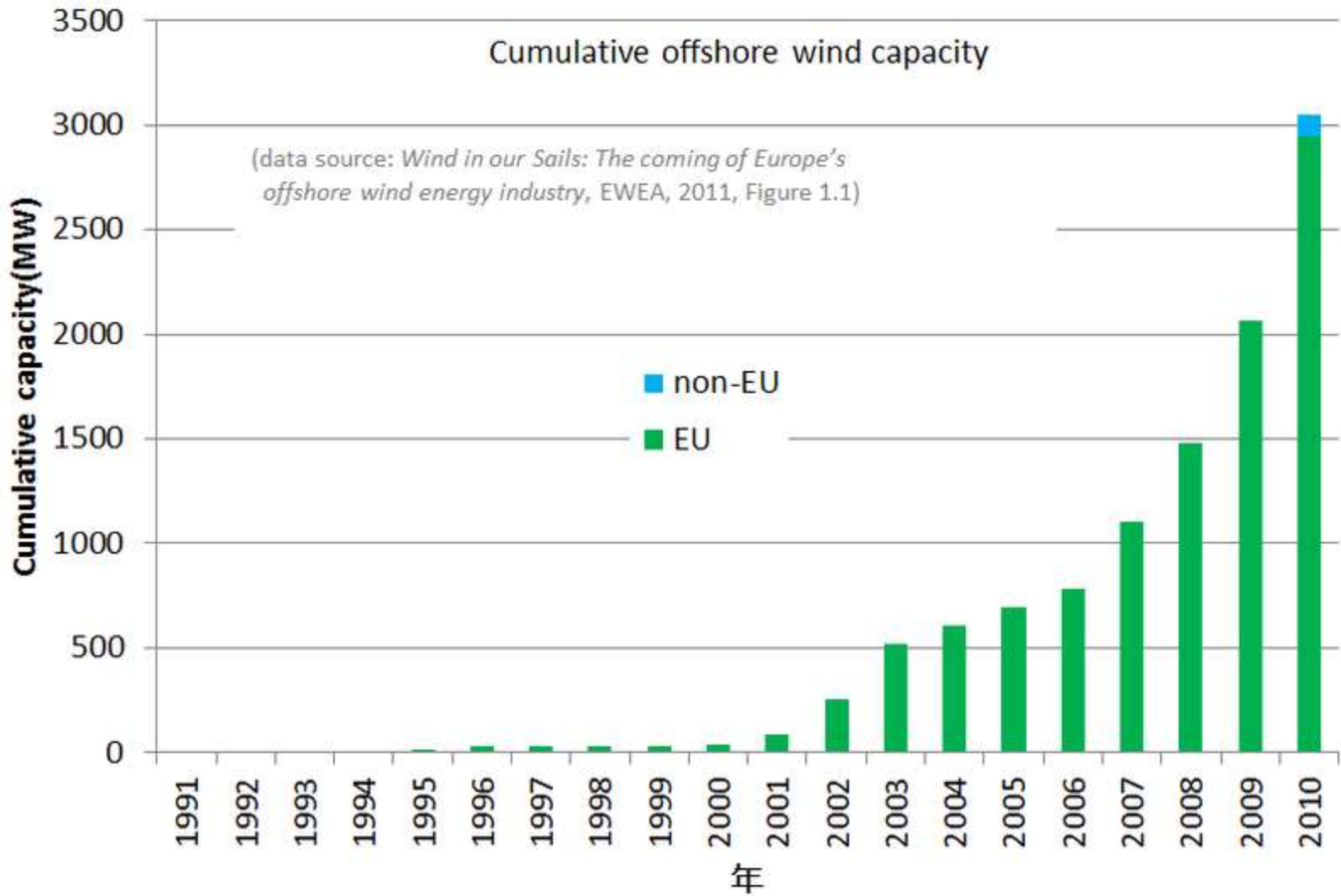
Figure 24: Potencia instalada en el mundo

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

Varios países han iniciado el desarrollo de centrales eolieléctricas mar adentro. Estos desarrollos eólicos se consideran generalmente a diez kilómetros o más de tierra firme. Los aerogeneradores mar adentro son de un tamaño más grande que los de tierra y presentan un mayor rendimiento ya que la velocidad media del viento es considerablemente más alta y operan durante más horas en el año.

En la mayoría de los casos los desarrollos mar adentro son más costosos que los terrestres ya que las cimentaciones mar adentro pueden ser más difíciles de construir. También la transmisión de la energía generada mar adentro se realiza a través de cable submarino, que es más costoso de instalar que los cables en tierra, además el ambiente del mar incrementa los costos por la protección anticorrosión y fatiga de los equipos y maquinaria. Algunos países como Canadá, Reino Unido, Italia, Finlandia, China, Taiwán, Noruega, España, Francia y Estados Unidos han empezado el desarrollo de centrales eólicas mar adentro. Es de esperar que entre el año 2012 y 2017 se cuente con una capacidad instalada mundial alrededor de 10,000 MW mar adentro. Actualmente, de las fuentes renovables de energía, la energía eólica es la de mayor crecimiento.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes



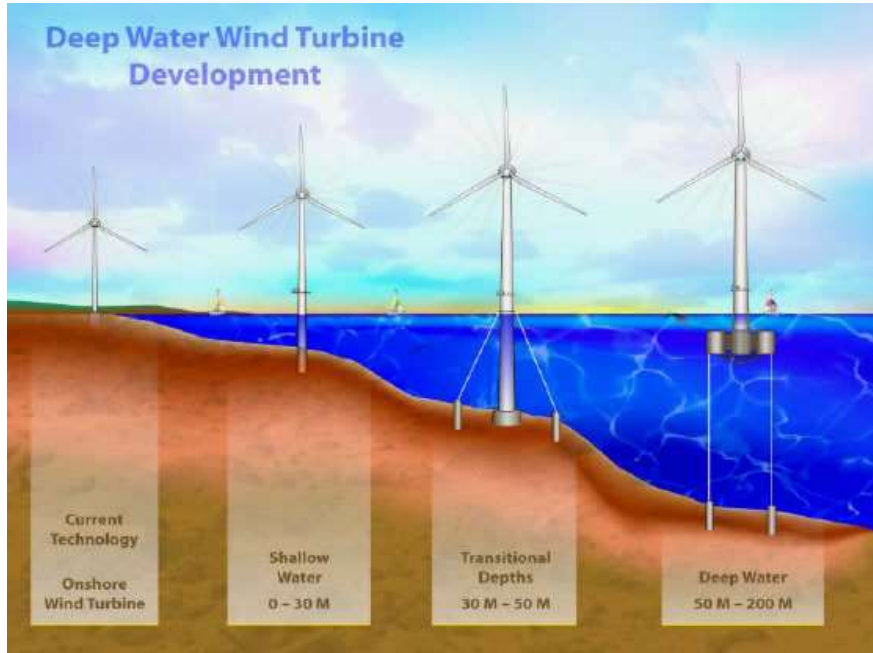
Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes



País	Capacidad Instalada
1 Dinamarca	414 MW Mar adentro y 10 MW Cercano a la costa
2 Países Bajos	18,8 MW Cercano a la costa y 108 MW Mar adentro
3 Reino Unido	394 MW Mar adentro
4 Suecia	133 MW Mar adentro
5 Irlanda	25 MW Mar adentro
6. Alemania	7MW Mar adentro



Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes



Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

Para entender como los aerogeneradores se emplean hoy en día, es de gran utilidad considerar algunos de los principios bajo los cuales operan. El proceso de transformación en las turbinas eólicas modernas usa los principios básicos de las fuerzas aerodinámicas para producir una torca positiva sobre un eje, dando como resultado energía mecánica y enseguida su transformación a electricidad por medio de un generador. Las turbinas eólicas, a diferencia de cualquier otro generador, puede producir energía sólo del viento que se encuentra disponible en el momento. Por lo tanto, la energía eléctrica de salida de estos dispositivos es variante en el tiempo y por lo tanto, cualquier sistema eléctrico que pretenda incluir aerogeneradores debe tener en cuenta la variabilidad de generación implícitos. En grandes redes las turbinas de eólicas se utilizan para reducir la carga eléctrica, lo cual se refleja en un decremento en el número de generadores convencionales en operación o en una reducción en el combustible que consumen.

En la actualidad, el diseño más común de un aerogenerador, es el de eje horizontal o HAWT (por su nombre en inglés *Horizontal Axis Wind Turbine*). Esto significa que su eje de rotación es paralelo al piso. Este tipo de rotores a su vez pueden ser clasificados de acuerdo a las siguientes características:

- Posición del rotor: barlovento o sotavento.
- Número de palas: dos o tres.
- Diseño del cubo del rotor.
- Orientación: libre o activo.
- Control de velocidad: desprendimiento de flujo o control de ángulo de paso.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

Los principales subsistemas de un aerogenerador HAWT:

- El rotor, consiste en el cubo y las palas del aerogenerador. Estos se consideran los componentes más importantes para el rendimiento y el costo total del dispositivo. En la actualidad la mayoría de las turbinas eólicas son a barlovento. Existen algunos diseños a sotavento y dos aspas o palas. Aerogeneradores con una pala se construyeron en el pasado y se han dejado de producir debido a su comportamiento mecánico, pues se produce un par diferencial que debe ser correctamente balanceado. Las palas en la mayoría de las turbinas están fabricadas en fibra de vidrio, plásticos reforzados y en algunas ocasiones por láminas de acero o madera y actualmente resina epóxica.
- La caja de transmisión, esta compuesta por las partes rotatorias del aerogenerador. Estas incluyen un eje de baja velocidad, del lado del rotor, una caja de engranes, y un eje de alta velocidad (del lado del generador). El propósito de la caja de engranes es aumentar las revoluciones por minuto (del orden de 10) a una tasa razonable para un generador estandar (cientos o miles rpm). Hay dos tipos de cajas de engranes; de eje paralelo y planetario. Para máquinas con potencias mayores a los 500 kW, se emplean las cajas del tipo planetaria por su conveniencia en peso y tamaño. Algunos aerogeneradores especialmente diseñados, utilizan generadores de baja velocidad y por lo tanto, no es necesario el uso de una caja de engranes.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

- **Generador**, casi todos los aerogeneradores usan generadores de inducción o síncronos. Ambos diseños requieren una velocidad de rotación constante, cuando el generador se conecta directamente a la red.
- **Góndola y sistema de orientación**. En esta categoría se incluyen la góndola, el soporte estructural y el sistema engrando de orientación. El soporte estructural es la base donde los componentes mecánicos y eléctricos se sujetan y alinean. El sistema de orientación se requiere para mantener el eje del rotor alineado con el viento. El principal componente un engrane conecta el soporte estructural con la torre.
- **Torre y cimientos**. Los principales tipos de torres usados en la actualidad son de tres tipos, tubo de metal, estructuras metálicas armadas con tornillos o torres de concreto. El alto de las torres es típicamente de 1 a 1.5 veces el diámetro del rotor. La elección de la torre está altamente influenciado por las características del sitio. La rigidez de la torre es un factor importante en la dinámica de la turbina eólica debido a la posibilidad de vibraciones entre el rotor y la torre.
- **Controles**. El sistema de control para una turbina eólica es muy importante respecto a la operación de la máquina y producción de energía. El sistema de control incluye los siguientes componentes: Sensores para la medición de la rapidez y dirección del viento, posición, tipo de flujo, temperatura, corriente voltaje, etc.; Controles para dispositivos mecánicos, circuitos eléctricos y computadoras; Electrónica de potencia relacionados con switches, amplificadores eléctricos, bombas hidráulicas y válvulas.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

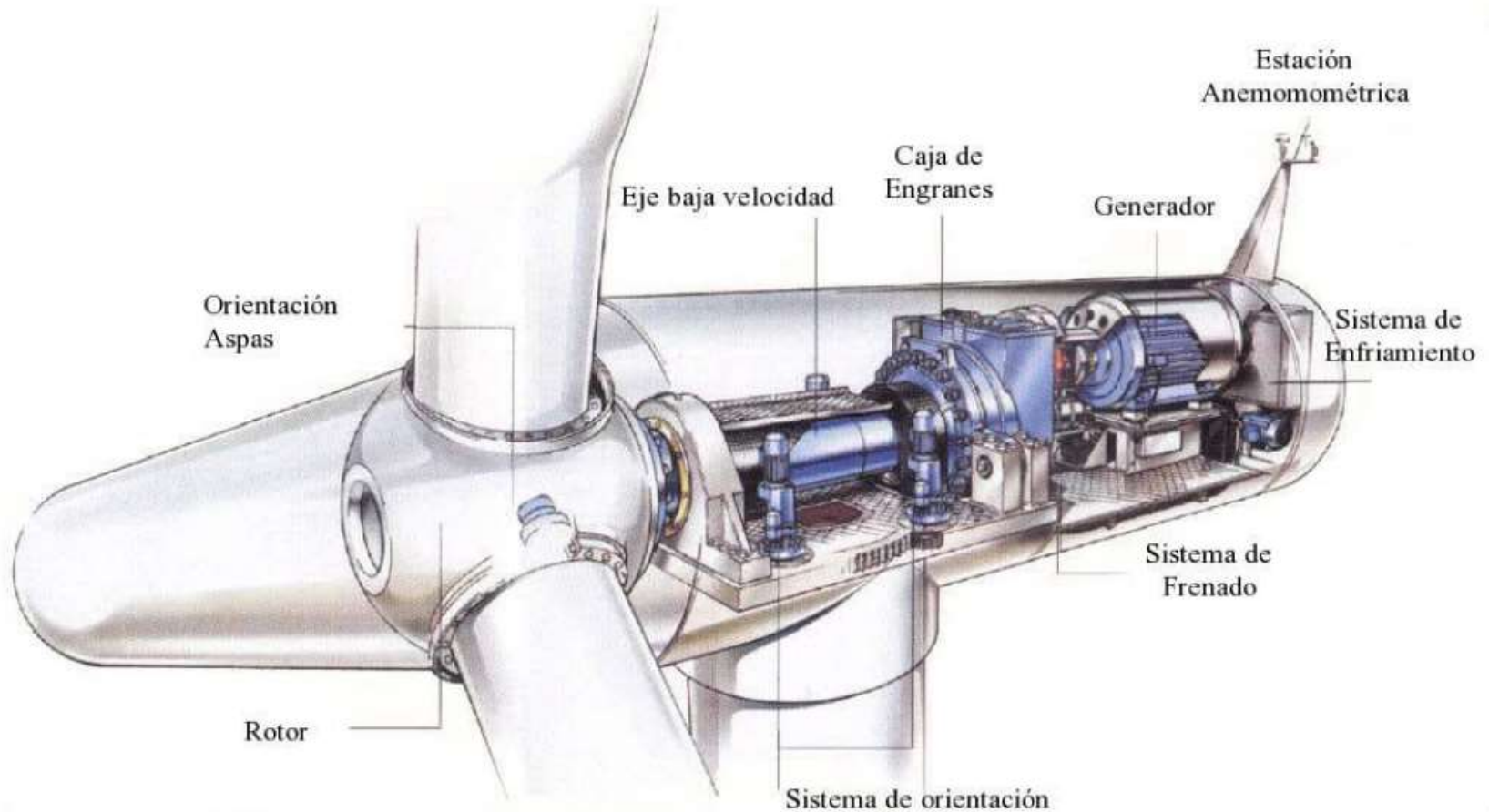


Figure 25: Principales componentes de un aerogenerador moderno.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

La velocidad de un rotor de un aerogenerador eses aproximadamente 15 a 50 RPM y la velocidad rotatoria de la mayoría de los ejes del generador es aproximadamente entre 1,000 a 3,000 RPM. Por lo tanto una caja de engranajes se debe colocar entre el eje de rotor de poca velocidad y el eje de alta velocidad del generador. La disposición de una turbina eólica típica se muestra en la figura 26.

Algunas turbinas eólicas se equipan con generadores de varios polos, que giran tan lentamente que no hay necesidad de una caja de engranajes. Esta clase de turbinas de viento utiliza un generador síncrono e imanes permanentes.

Los sistemas híbridos son una tecnología intermedia entre los aerogeneradores asíncronos con caja de engranes y los multipolo con generador síncrono. La intención es tener una caja de engranajes más simple y más confiable. Una característica del sistema es la geometría más equilibrada de la caja de engranajes y del generador, llevando a un arreglo compacto. Este tipo de sistemas se muestran en la figura 27.



Figure 26: Aerogenerador síncrono multipolos (no ocupa la caja de engranes)



Figure 27: Turbina eólica híbrida

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

Las principales ventajas que ofrece la generación eoloelectrónica moderna son:

- Bajo costo nivelado de producción de electricidad, que resulta competitivo con nuclear, carbón e inclusive en algunos casos con ciclo combinado.
- Libre de costos de combustible, emplea un recurso natural inagotable.
- Energía limpia con bajo impacto ambiental, no se presentan emisiones de bióxido de carbono durante su operación.
- Proporciona un resguardo contra volatilidad del precio de los combustibles.
- Mejora la independencia energética ya que evita la importación de combustibles.
- Modular y rápida de instalar con una vida útil de 25 años.
- Su implementación es compatible con otras fuentes convencionales.

Es importante mencionar que la generación eoloelectrónica presenta un bajo impacto en el uso del suelo, para la cimentación de un aerogenerador de 1 MW no se llega a requerir más allá de un cuadrado de 8 x 8 metros, por lo que esta tecnología permite actividades agropecuarias en sus inmediaciones. Un aerogenerador de 1 MW puede producir bastante electricidad para abastecer a 850 casas con demanda similar a la que ocurre en México. Además, los aerogeneradores modernos son modulares y rápidos instalar; el proceso de construcción para una planta de 100 MW puede tomar menos de un año. Esto particularmente importante para economías con la necesidad de un aumento rápido en la producción eléctrica.

Introducción. Modernos aerogeneradores y sus orígenes

Como ya se ha mencionado, los aerogeneradores convierten la energía cinética del viento para producir un trabajo mecánico que posteriormente se transforma en energía eléctrica. Los aerogeneradores son algo inusuales, si se les compara con otros equipos generadores de electricidad que suelen conectarse a la red eléctrica tales como generadores hidroeléctricos o generadores acoplados a turbinas ya sea de gas o vapor. Ya que los aerogeneradores dependen de la velocidad del viento para generar potencia eléctrica, se les ha considerado por mucho tiempo una fuente intermitente no despachable debido al carácter aleatorio de las condiciones del viento. Cabe precisar que no obstante los cambios aleatorios de la velocidad del viento, los sitios o locaciones que cuentan con potencial eólico aprovechable presentan patrones de comportamiento cíclicos. Así para el correcto diseño de un sistema de generación eolieléctrico es primordial el estudio del comportamiento de la velocidad del viento durante al menos dos años, que permita crear una base de datos de viento para la proyección de posibles emplazamientos.

Muchas Gracias por su Atención!

e-mail ojs@ier.unam.mx
oajaramillo@gmail.com





OLADE se crea el 2 de noviembre de 1973 con la suscripción del Convenio de Lima, instrumento constitutivo de la Organización, ratificado por 27 países de América Latina y el Caribe y un País Participante, Argelia.

40olade
años · years · anos · ans

Organización Latinoamericana de Energía
Latin American Energy Organization
Organisation Latino-américaine d'Énergie
Organização Latino-Americana de Energia

MISIÓN: Contribuir a la integración, al desarrollo sostenible y la seguridad energética de la región, asesorando e impulsando la cooperación y la coordinación entre sus Países Miembros.

VISIÓN: OLADE es la Organización política y de apoyo técnico, mediante la cual sus Estados Miembros realizan esfuerzos comunes, para la integración energética regional y subregional.

