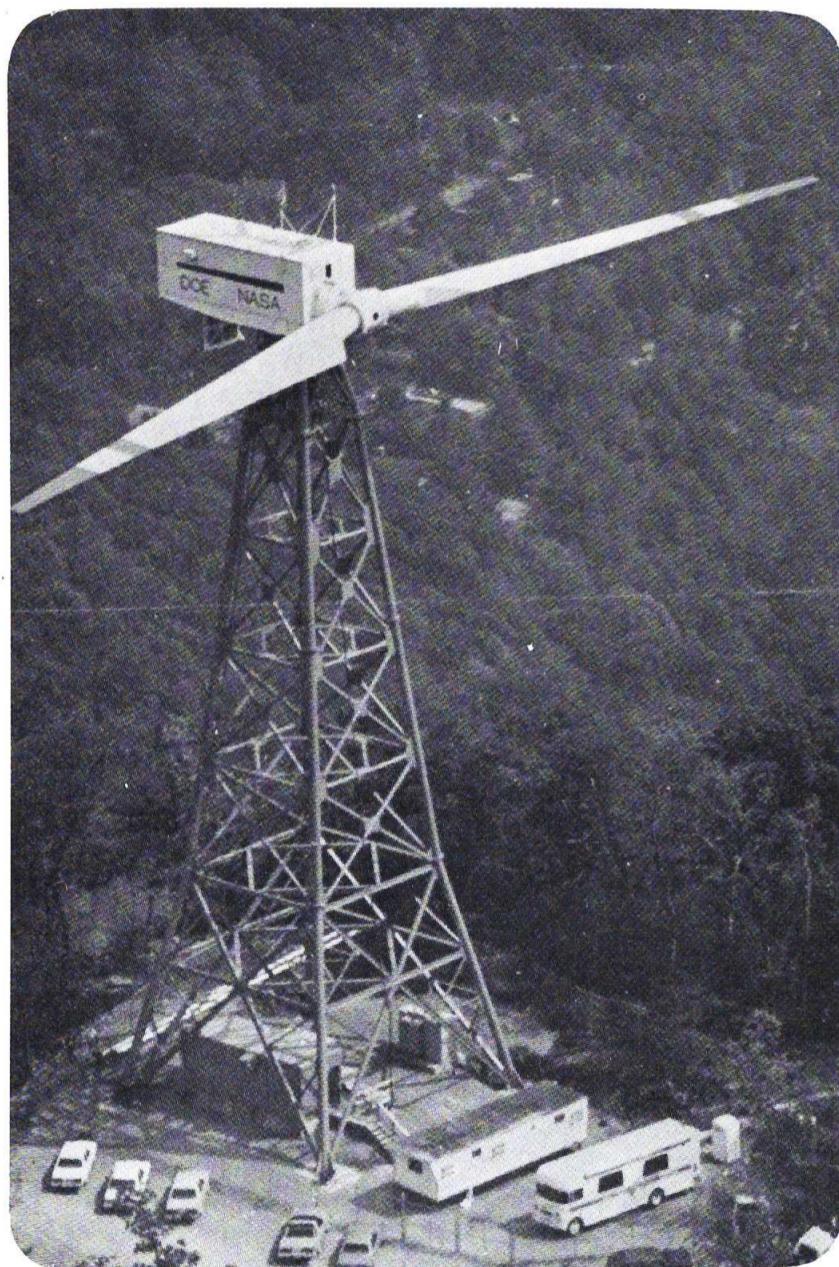


# POSIBILIDADES DE LA ENERGIA EOLICA

Después de un prolongado declive, causado por la electrificación rural y el uso de motores de gasolina y gasoil, la utilización del viento está despertando considerable interés como fuente alternativa de energía.



Aerogenerador «Mod. 1» con una potencia de 2.000 kilowatios, instalado en 1979.

Ciertamente, la mayoría de las investigaciones, realizaciones y proyectos se centran en la construcción de grandes centrales eólicas para conectar a la red normal de distribución de electricidad.

Un ejemplo de ello ha sido la inauguración, en octubre de 1979, de la estación eólica «Mod 1» de

Howard Knob en Carolina del Norte. Con su torre de 42 m de altura, su hélice de dos aspas de 60 m de diámetro y con un peso total de 350 toneladas, puede suministrar 2.000 kilowatios con un viento de 45 km/h. En España existe otro proyecto, más modesto, para construir en Tarifa una instalación piloto de 110 kilowatios bajo un viento de 12 m/s (43,2 km/h) con un rotor bipala de eje horizontal de 17 m de diámetro colocado sobre una torre de 20 m de altura.

Otra muestra de la tendencia actual lo constituye el hecho de que de las 284 referencias de la bibliografía americana 1973-1978, recopilada por la Tennessee Valley Authority en 1979, solamente 22 referencias (el 7,8 por 100) se refieren a instalaciones pequeñas para la agricultura y hogares aislados.

Pese a esto, las posibilidades de las pequeñas instalaciones para la agricultura y los hogares aislados son suficientemente interesantes para que muchos fabricantes hayan emprendido una renovación de los anticuados modelos de molinos de viento para el bombeo de agua y junto con los constructores de aerogeneradores de electricidad de pequeña capacidad, cuyo desarrollo técnico ha sido continuo, comienzan a concurrir a las grandes exposiciones agrícolas como la SIMA de París.

En países o regiones donde la red de electrificación rural no es aún muy densa, la energía eólica suministrada por instalaciones individuales puede presentar unas posibilidades atrayentes en la actual crisis energética.

## Cálculo del potencial de energía eólica

La potencia teórica en watios que existe en la corriente de aire que atraviesa un molino de viento viene dada por la fórmula:

$$P_t = 0,04143 r^2 V^3$$

en que  $r$  es el radio del rotor en metros y  $V$  la velocidad del viento en kilómetros/hora.

La potencia máxima real en el eje del rotor es  $W = K \cdot P_t$  en que  $K$  es un coeficiente que teóricamente no puede ser superior a 0,59 y que depende

del tipo de rotor; su valor es de 0,45 para rotores de hélices de alta velocidad y de 0,30 para rotores múltiples de baja velocidad (molino de viento para bombeo, tipo americano).

La potencia útil, bien sea en la bomba elevadora, bien sea en la salida del generador eléctrico es sólo del 50 al 80 por 100 (65 por 100 como media) de la potencia máxima real por lo que la potencia útil en watos, a la velocidad de régimen del motor, puede deducirse en una primera aproximación y para aerogeneradores de electricidad comerciales de tamaño normal, de la fórmula:

$$W = 0,013 r^2 V^3$$

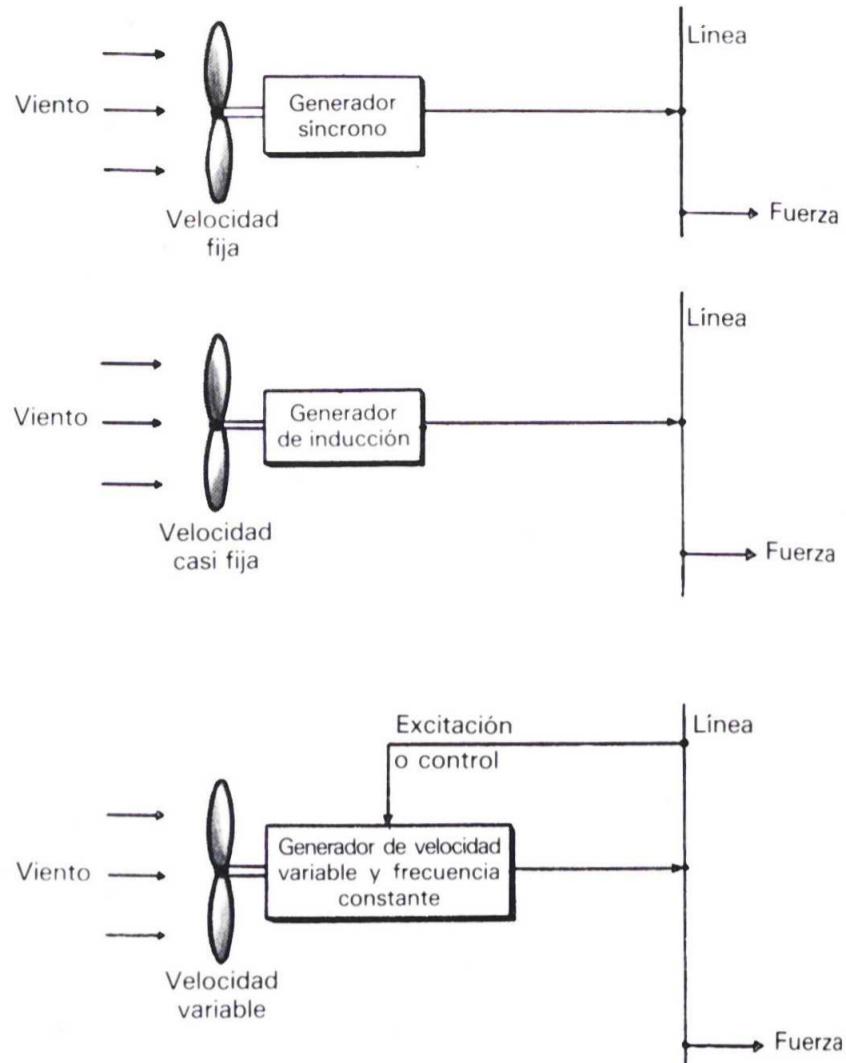
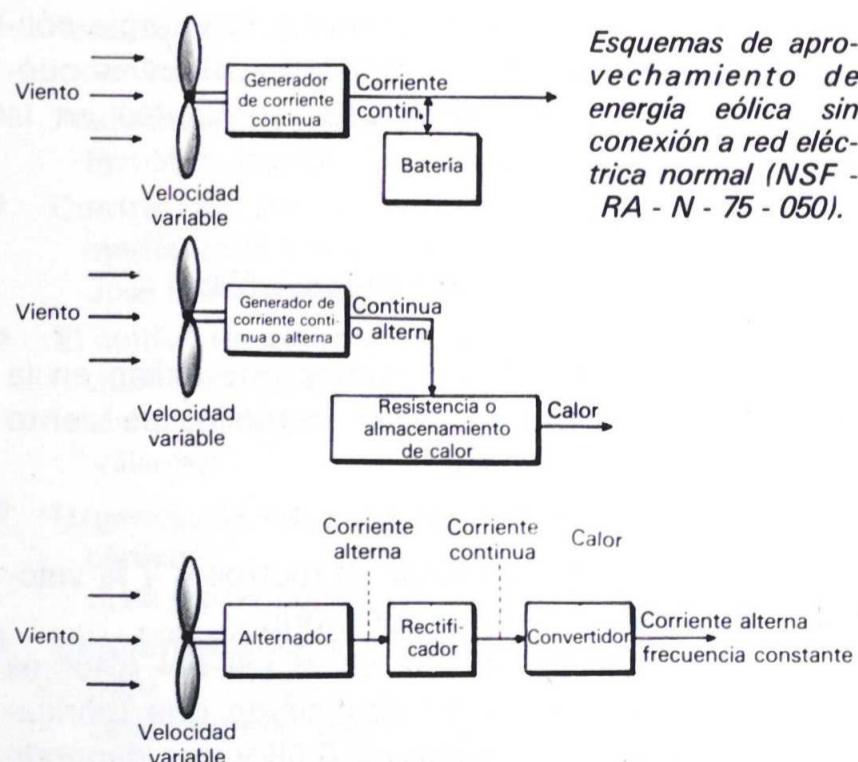
Esta fórmula ha sido deducida empíricamente del rendimiento real de 23 modelos comerciales de aerogeneradores con potencias que van desde 25 a 5.000 watos. Para el «Mod 1» de Howard Knob, la fórmula es:

$$W = 0,02438 r^2 V^3$$

### Efecto de la velocidad del viento

La fórmula anterior sólo es útil a efectos de tener una primera idea de la potencia máxima alcanzable con un aerogenerador de diámetro determinado a velocidades medias del viento. No es legítimo, sin embargo, utilizarla para calcular la potencia real útil de determinado aerogenerador a distintas velocidades de viento. Para esto deben consultarse las especificaciones dadas por los fabricantes. Ello es debido a las siguientes razones:

— Cada modelo de aerogenerador tiene sus curvas características propias en función de la velocidad del viento.



*Esquemas de aprovechamiento de energía eólica con línea eléctrica suplementaria (NSF - RA - N - 75 - 050).*

— Cuando lo que se mide y utiliza para el cálculo es la velocidad media del viento, la potencia media útil disminuye en un 35 por 100.

— Cada modelo de aerogenerador reacciona de distinta manera, debido a su característica aerodinámica y a la existencia de mecanismos de regulación y desconexión, a las distintas velocidades del viento (cuadro 1).

**Cuadro 1.—COMPORTAMIENTO TÍPICO DE UN AEROGENERADOR SÍNCRONO AL AUMENTAR LA VELOCIDAD DEL VIENTO**

Tramo de velocidad del viento	Velocidad de giro del rotor	Potencia útil máxima
Hasta la velocidad de arranque	Nula	Nula
Desde la velocidad de arranque hasta la de régimen	Va aumentando hasta la velocidad de régimen	Va aumentando hasta la potencia nominal
Desde la velocidad de régimen a la velocidad de desconexión	Constante en velocidad de régimen	Constante, en potencia nominal
Desde la velocidad de desconexión hasta la velocidad de destrucción	Nula	Nula

Con objeto de que el rotor u otras partes no resulten dañadas a causa de una excesiva velocidad, existen dispositivos que desconectan el rotor del generador o que colocan el rotor o las palas con tal orientación que ya no son movidos por el viento cuando éste alcanza una determinada velocidad llamada «de desconexión».

La velocidad de destrucción es la máxima velocidad del viento que las palas o la torre pueden soportar sin sufrir graves daños.

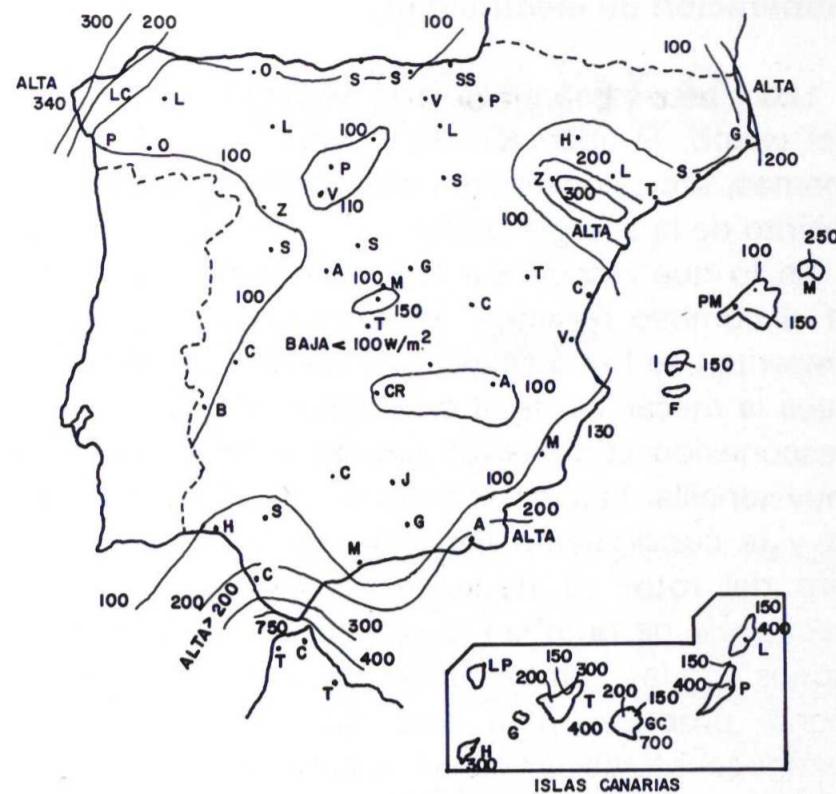
Las velocidades críticas varían según los distintos modelos. Para aerogeneradores hasta 5.000 watos la velocidad de arranque es de 2-4 m/s; la de régimen, de 4 a 9,5 m/s; la de desconexión, de 12 a 18 m/s y la de destrucción, de 45 a 65 m/s.

### Potencial de energía eólica en España

El mapa 1 ilustra las velocidades medias del viento que pueden esperarse en distintas regiones españolas. A tenor de lo indicado anteriormente sobre velocidades de arranque puede suponerse que, en principio, todas las regiones con velocidades medias superiores a los 4 m/s (14,4 km/h) son apropiadas para el aprovechamiento de energía eólica. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que en las regiones donde el viento es racheado, con frecuentes cambios de velocidad, hay que tomar precauciones especiales respecto a la robustez de las torres y el rotor para evitar daños y esto puede hacer poco rentable el aprovechamiento. El Nordeste y Noroeste, así como el valle del Ebro tienen frecuentemente vientos racheados y, a veces, extremadamente fuertes.



Mapa n.º 1.—Isolíneas de velocidades medias anuales del viento en metros/segundo. (Fuente: J. A. Barasoain and L. Fontán, U. N. Conference, August 1961).



Mapa n.º 2.—Isolíneas de potencia eólica media anual (teórica) en watos/m<sup>2</sup> de superficie barrida por el rotor. (Del Centro de Estudios de la Energía, ligeramente modificado.)

Las regiones más apropiadas para las instalaciones grandes de aprovechamiento de energía eólica son la zona del estrecho de Gibraltar y Canarias. Para potencias bajas para aprovechamientos individuales son especialmente apropiadas las dos mesetas, sobre todo la Meseta Sur.

El mapa 2 indica las isolíneas de potencia eólica teórica en watos/m<sup>2</sup> (m<sup>2</sup> en superficie barrida por el rotor). Para instalaciones pequeñas, la potencia útil es sólo un tercio de la teórica indicada en el mapa. El cuadro 2 muestra mediciones reales en puntos escogidos.

### Cuadro 2.—VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO EN LUGARES ESCOGIDOS DE LA PENINSULA

Localidad	Zona	Velocid. m/s	Energía Kwh/m <sup>2</sup> y año	Meses observación
Estaca de Vares .....	N.W.	7,3	—	72
Malpica .....	N.W.	6,8	—	83
Cabo Creus .....	N.E.	7,3	—	84
Port Bou .....	N.E.	—	6.168	42
Puerto Lápice .....	Mancha	5,5	—	67
Consuegra .....	Mancha	5,2	—	65
Tarifa .....	Estrecho	8,3	6.596	72

(Fuente: Barasoain y Fontán, 1961).

Puede observarse que en la estación eólica proyectada en Tarifa, con un rotor de 17 m de diámetro se obtendría una energía teórica de  $6.596 \times 3,1416 \times 8,5^2$  kwh/año = 1.497.164 kwh; como la energía prevista es de 700.000 kwh, el coeficiente de rendimiento previsto es de 0,47.

## Generación de electricidad

Los frecuentes cambios de velocidad y dirección del viento, la aparición de vientos racheados, tormentas, etc., constituyen obstáculos al aprovechamiento de la energía eólica.

En lo que respecta a los molinos de viento para el bombeo de agua, los inconvenientes que se presentan se han resuelto ya con relativa facilidad, pues la mecánica de la orientación del rotor, de la desconexión con vientos fuertes y del bombeo es muy sencilla. Las variaciones de velocidad del viento y la consiguiente variación de la velocidad de giro del rotor se traducen en variaciones de la frecuencia de bombeo lo que no origina perturbaciones con las bombas utilizadas que están ampliamente probadas para este tipo de aplicaciones. Tampoco ofrece problema alguno la acumulación del agua bombeada.

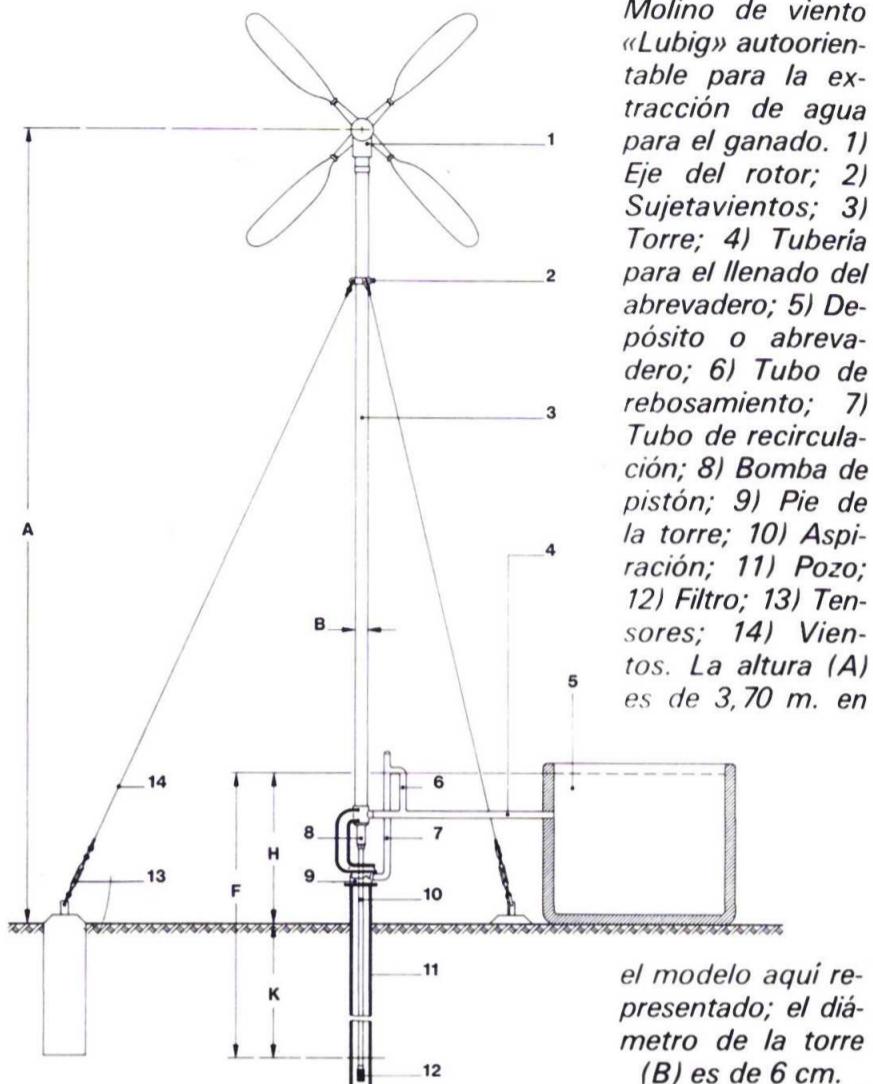
La situación es muy distinta en el caso de producción de energía eléctrica. En primer lugar, existen distintos tipos de generadores utilizables (corriente continua y alterna, generadores síncronos y asíncronos) que producen corriente eléctrica de distintas características. Además, el funcionamiento óptimo de estos generadores se efectúa a la velocidad de régimen lo que obliga al uso de reguladores de la velocidad de giro del rotor mediante reguladores centrífugos, hélices de paso variable o ángulo de ataque variable, etc. Por otra parte, la irregularidad del viento obliga al uso de baterías de acumuladores que sólo pueden cargarse con corriente continua, mientras que los aparatos eléctricos normales son de corriente alterna; esto hace necesaria la utilización de rectificadores y convertidores de corriente.

Finalmente, los aerogeneradores se proyectan para un mantenimiento nulo durante largo tiempo y para resistir las inclemencias atmosféricas lo que implica modificaciones en los generadores comerciales, empleo de materiales especiales, etc., que elevan mucho su precio.

## Modelos comerciales

Los modelos comerciales de pequeña potencia (hasta 5 kw) de los que disponemos en este momento de catálogos y referencias suficientemente detalladas, son de dos tipos muy distintos.

El primer tipo, que es el más frecuente, consta de un alternador de imanes permanentes que produce corriente trifásica de 12 a 120 V que, a través de un rectificador, se convierte en corriente continua con la que se carga una batería de acumula-



Molino de viento «Lubig» autoorientable para la extracción de agua para el ganado. 1) Eje del rotor; 2) Sujetavientos; 3) Torre; 4) Tubería para el llenado del abrevadero; 5) Depósito o abrevadero; 6) Tubo de rebosamiento; 7) Tubo de recirculación; 8) Bomba de pistón; 9) Pie de la torre; 10) Aspiración; 11) Pozo; 12) Filtro; 13) Tensores; 14) Vientos. La altura (A) es de 3,70 m. en

el modelo aquí representado; el diámetro de la torre (B) es de 6 cm.

dores de plomo de la que, a través de un convertidor, se obtiene corriente alterna monofásica a 220 V. En vez del alternador se usa, a veces, una dinamo que produce corriente continua de 12 a 27 V y con la que se carga la batería.

El segundo tipo consta de un generador de inducción que produce una corriente alterna de 115 V y 60 ciclos, síncrona con la red normal a la que puede conectarse directamente para ahorrar parte de la energía que se recibe de dicha red. No posee acumuladores.

Las características de los distintos modelos son tan diversas, según la casa que los fabrique, en potencia y características de la corriente que, en cada caso, hay que definir muy bien el objetivo de la instalación del aerogenerador para que los técnicos elijan el modelo más apropiado.

Todas estas circunstancias presentan problemas que son salvables técnicamente, pero que encarecen extraordinariamente el precio actual de las instalaciones por lo que, por el momento, los aerogeneradores sólo se utilizan en sitios muy remotos, sin posibilidad de conexión económica a las redes eléctricas y para actividades distintas de las agrícolas, como son señales marítimas, refugios de montaña, redes de comunicaciones, instalaciones meteorológicas aisladas, etc.

Fernando Besnier