

La energía eólica en el medio rural

El potencial eólico español es uno de los más importantes de la UE

En el presente artículo se realiza un repaso sobre la evolución histórica de la utilización de la energía del viento en la agricultura y se muestran también el estado actual de la energía eólica en España y sus posibles aplicaciones en el medio rural.



Fig. 2.- Molinos manchegos en Consuegra (Toledo).

● ROSA M^a. BENAVENTE, JUAN CARLOS SANZ, FERNANDO ARIAS E IGNACIO CRUZ. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Departamento de Energías Renovables.

La energía del viento ha sido utilizada desde épocas muy antiguas, estando relacionada en sus orígenes con la navegación y, posteriormente, también con la agricultura. La primera referencia histórica sobre la utilización de la energía eólica con fines agrícolas data del año 1700 a.C. y corresponde a los proyectos de irrigación del rey babilonio Hammurabi. Sin embargo, el primer molino de viento, de aplicación agrícola, que se conoce con cierto detalle es el molino persa de eje vertical. Este molino se empleaba para moler grano y fue de uso corriente en las planicies del Sijistán, en la antigua Persia, posiblemente varios siglos antes de nuestra era. Los chinos utilizaban desde tiempos remotos un molino de eje vertical, llamado panémona, para bombear agua en las salinas.

Sin embargo, a pesar del gran número de ingenios eólicos conocidos en la denominada «edad antigua del molino de viento», hasta el siglo X no es posible encontrar un documento histórico en el que se haga mención de su uso como práctica generalizada.

Durante el renacimiento industrial del siglo XVI los molinos de viento desempeñaron un papel importante como fuente de energía alternativa, aunque la irregularidad de los vientos hacía de ellos unas máquinas complejas y costosas. Sin embargo, era el único recurso,

aparte de la tracción humana y animal, para obtener fuerza motriz en las zonas de secano o en lugares alejados de las corrientes de agua, mientras los molinos hidráulicos se empleaban en las zonas húmedas donde abundaban los cauces fluviales. La fig. 1 muestra un molino holandés del siglo XVI empleado para desaguar los polders.



Fig. 1.- Molino holandés del siglo XVI empleado para desaguar los polders (por cortesía de F. Avia).

En España, los molinos de viento, enfrentados al mar o dominando las manchegas llanuras (fig. 2), fueron utilizados sobre todo para la molienda del grano y, en ocasiones, también para alumbrar aguas subterráneas aptas para el consumo humano o con fines industriales, por ejemplo en las salinas interiores. Ciertamente, los gigantes de Don Quijote no eran una alucinación.

A finales del siglo XVI los molinos de viento se utilizaban para las aplicaciones más diversas: para moler grano, bombear agua, triturar caña de azúcar, fabricar pasta de papel, en serrerías, en almazaras, en la obtención de la sal o para el bombeo de agua en las explotaciones mineras.

La etapa industrial de comienzos del siglo XIX está caracterizada por la máquina de vapor que, por sus características más adaptadas a la actividad industrial, sustituyó con amplias ventajas, primero, a los molinos hidráulicos y, después, a los de viento, cuyo ámbito de aplicación se redujo a las zonas rurales más o menos aisladas, donde, en general, se utilizaron exclusivamente para bombear agua de los pozos.

En el año 1892 el profesor Lacour diseñó el primer prototipo de aerogenerador eléctrico y en las primeras décadas del siglo XX se tuvieron los conocimientos suficientes para aplicar a los rotores eólicos los perfiles aerodinámicos que se habían desarrollado para la fa-

bricación de las alas y las hélices de los aviones. Sin embargo, a pesar de la mayor eficacia aerodinámica y de la adaptación como generadores de electricidad de las nuevas turbinas, las aplicaciones basadas en el aprovechamiento del viento como recurso energético continuaron declinando durante todo este período. Los combustibles fósiles, y en particular el petróleo, se habían ido imponiendo cada vez más como la principal e insustituible fuente de energía.

Solamente en determinadas ocasiones a lo largo de este siglo en las que el orden económico se ha visto afectado por la dependencia energética, es cuando el aprovechamiento eólico como fuente de energía ha sufrido un nuevo impulso. Así sucedió después de la Primera y Segunda Guerra Mundial y sobre todo, después de la crisis energética de los años 70.

Como consecuencia de la crisis energética de 1973 y el encarecimiento del precio del petróleo en el período entre 1973 y 1986, se produjo un resurgimiento de la tecnología del aprovechamiento del viento que llevó a la aparición de los actuales aerogeneradores, capaces de producir electricidad a precios competitivos con los sistemas tradicionales, partiendo de una fuente natural, renovable y no contaminante de energía.

Situación actual de la energía eólica en España

El potencial eólico español es uno de los más importantes de la Unión Europea, ocupando el tercer lugar en la relación de países productores después de Alemania y Dinamarca. La potencia instalada de energía eólica en España hasta diciembre de 1996 era de 211,2 MW. Por otra parte, existen en la actualidad 322,2 MW en ejecución, lo que supondrá un total de 533,4 MW en explotación el próximo año.

Se está produciendo un rápido crecimiento, lo que implica una mayor importancia de los recursos eólicos en la estructura de las energías renovables. Así, y aunque cada día se descubren nuevas aplicaciones de la energía eólica, atendiendo sólo al estado actual de la tecnología y a las posibilidades reales de implantación de estas instalaciones, se estima que sería factible instalar en España unos 2.800 MW en zonas de alto y medio potencial.

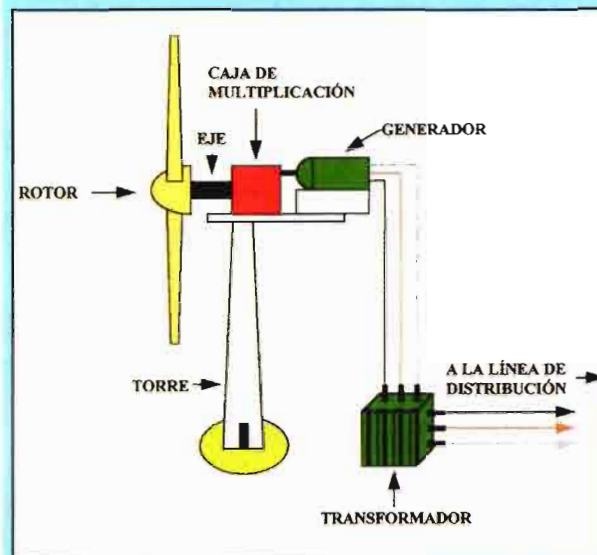


Fig. 3.- Esquema de un aerogenerador conectado a la red.

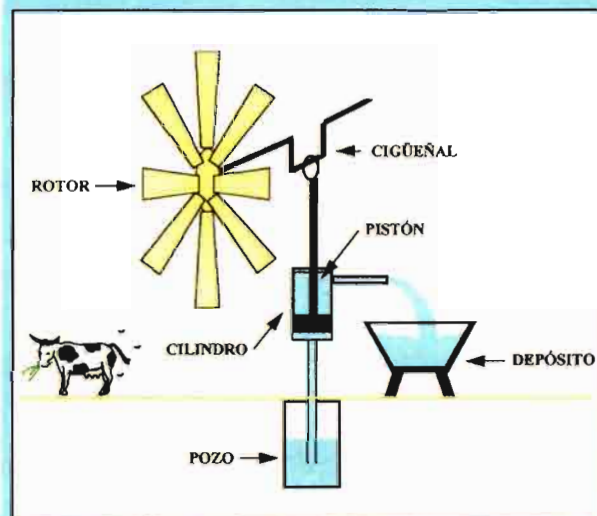


Fig. 4.- Esquema de una aerobomba de desplazamiento volumétrico tipo multipala.

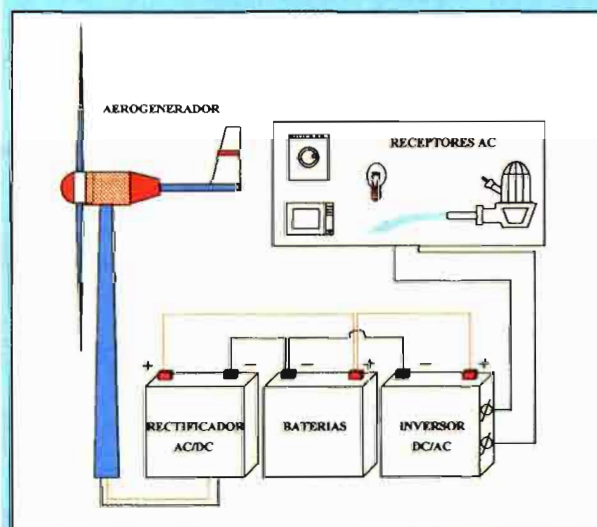


Fig. 5.- Esquema general de funcionamiento de un sistema aislado con energía eólica.

Breves fundamentos técnicos de la energía eólica

El aeromotor o aeroturbinas, como su propio nombre indica, es un motor que extrae la energía del viento. En esencia, el aeromotor es una máquina que transfor-

ma una parte de la energía cinética del viento en energía mecánica de rotación por medio de su rotor. El rotor está constituido por las palas y el buje, siendo este último el receptáculo estructural donde se anclan dichas palas. El buje a su vez va unido al eje primario de rotación, que es por donde en definitiva se transmite la energía capturada del viento al resto de la máquina (fig. 3).

La potencia, W_v , que posee el viento es proporcional al área considerada perpendicular al viento incidente, A , y al cubo de su velocidad, V , según se aprecia en la siguiente expresión:

$$W_v = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

donde ρ es la densidad del aire.

Ahora bien, obsérvese que en la propia definición del aeromotor que se transforma sólo una parte determinada del total de la energía cinética que posee el viento. Esto es así, y es lógico puesto que el aeromotor, como toda máquina industrial, tiene un determinado rendimiento y, por tanto, es imposible que llegue a capturar el 100% de la energía. El rendimiento aerodinámico de un aeromotor (es decir, el rendimiento con que trabaja el rotor) se define como coeficiente de potencia, C_p , y matemáticamente se define como el cociente entre la potencia que realmente captura el aeromotor por medio de su rotor, W_a , y la potencia total del viento, W_v , es decir:

$$C_p = \frac{W_a}{W_v} \quad (2)$$

Hay un límite máximo teórico al cual no se puede llegar realmente y que establece el máximo C_p con que llegaría a trabajar el aeromotor ideal en las mejores condiciones. Dicho C_p máximo es de 0,59 ($\approx 0,60$), o dicho de otra manera, ningún aeromotor podrá llegar a extraer nunca de la corriente de aire el 60% de su energía. A este C_p máximo que representa el verdadero límite de la energía eólica se le conoce como **Límite de Betz** (Ver artículo F. Arias,

1992).

Hay diversas clases de aeromotores según se aplique su energía a diversos fines:

- **Molinos de Viento.** Cuando la energía del eje primario se emplea en girar una muela y moler trigo u otros cereales. Históricamente son los más antiguos, como

ejemplo podemos citar los molinos de La Mancha (fig. 2).

- **Aerobombas.** La energía del eje primario se emplea en mover una bomba de agua con fines de almacenamiento e irrigación. Se desarrollaron en EE.UU. en el siglo XIX. Como ejemplo tenemos los molinos multipala de pradera, tan familiares en las películas del Oeste (fig. 4).

- **Aerogeneradores.** La energía del eje primario se transmite a una caja de multiplicación que sube las revoluciones y la transmite a su vez a un generador eléctrico para producción de electricidad. Además, estos aerogeneradores pueden trabajar, bien **conectados a red en parques eólicos comerciales** con varios megavatios de potencia instalada (fig. 3 y 6) o bien **en forma aislada** para dar energía a una finca o a una vivienda particular, con potencias que oscilan desde los 500 W a 10 kW o más, según las necesidades (fig. 5).

Los rendimientos actuales de estas máquinas varían mucho según el tipo de aeromotor de que se trate. Por ejemplo, para aerobombas el valor de C_p oscila alrededor de 0,20 para máquinas multipala de giro lento (entre 15 o 20 palas y aún más), mientras que para aerogeneradores comerciales de giro rápido y de mediana potencia se llega a valores del orden de 0,51, que ya es un valor relativamente cercano al límite de Betz. En cuanto a los aerogeneradores de pequeña potencia pueden trabajar con $C_p \approx 0,35$.

Véase, por la ecuación (1), que la energía eólica extraída por el aerogenerador es proporcional al cubo de la velocidad del viento, de ahí la enorme importancia que tiene la elección de un emplazamiento adecuado. Para parques eólicos conectados a red la velocidad media exigida es relativamente alta (≈ 7 m/s). Sin embargo, para sistemas aislados la velocidad media requerida no es tan elevada, lo que extiende el abanico de su posible aplicación a multitud de lugares con menor potencial eólico.

Otro fundamento importante de la energía eólica es que la velocidad del viento no es constante con la altura, sino que se anula a nivel del suelo y aumenta con la altura hasta estabilizarse. De ahí la necesidad de elevar los rotores con altas torres.

Sistemas aislados en el medio rural

Actualmente se ha alcanzado la madurez tecnológica en los aerogeneradores de mediana potencia (hasta 500 kW) y se están realizando importantes esfuerzos en investigación para alcanzar el umbral de rentabilidad en las máquinas de gran potencia (1 MW) con el fin de que lleguen a ser comerciales en un futuro no lejano.



Fig. 6.- Parque eólico comercial de aerogeneradores.

Paralelamente, está surgiendo un interés creciente hacia el uso sistemas aislados de energía eólica consistentes en máquinas de pequeña potencia (desde unos pocos vatios hasta 50 kW) con funcionamiento autónomo, cuyo campo de aplicación es esencialmente el suministro de energía eléctrica en zonas rurales aisladas donde, tanto por la distancia como por la dispersión de los centros de consumo, las redes de distribución son escasas y costosas. La energía se almacena en baterías y después se convierte en corriente alterna mediante un inversor, de forma que se pueda alimentar el con-

sumo en cualquier momento y circunstancia requerida (fig. 5). Otras aplicaciones agrícolas e industriales de estas máquinas son el bombeo de agua para riego, drenaje, desalinización y otros usos humanos o animales, así como la producción de calor para calefacción de invernaderos, secado de cereales, procesamiento de alimentos y deshidratación de frutas y verduras entre otros. La fig. 7 muestra un aerogenerador de 12 kW fabri-

bricado íntegramente por la empresa española Juan y David Bornay. El aerogenerador está situado en las proximidades de la nave industrial que dicho fabricante posee en Castalla (Alicante).

La experiencia acumulada permite suponer que la demanda de un mercado potencial de pequeñas aeroturbinas podría cubrirse con máquinas de 10-30 kW para utilización agrícola e inferiores a 10 kW para utilización doméstica. Dado que los emplazamientos suelen estar condicionados por los límites de la explotación agrícola o

centro de consumo y la dificultad para encontrar información meteorológica adaptada a cada caso, las pequeñas aeroturbinas deben estar diseñadas para operar óptimamente con vientos de baja velocidad, del orden de 2-3 m/s. Además, dado su ámbito de utilización y las dificultades para obtener servicios técnicos, deben ser sencillas, robustas y bien fabricadas, de forma que se reduzcan al mínimo las averías y las necesidades de mantenimiento.

El precio de la energía obtenida con estos sistemas eólicos es, sin duda, muy superior al precio de la que se obtiene en las plantas industriales, ya sean eólicas o convencionales. Sin embargo, la rentabilidad de las máquinas de pequeña potencia puede resultar positiva si tenemos en cuenta su ámbito de aplicación, generalmente abastecido con grupos electrógenos, o donde el coste de la energía suministrada por la red es muy superior al coste que se obtiene en los grandes centros de consumo, una vez que se imputan los gastos de instalación de la línea.

Teniendo en cuenta la gran capacidad de instalación que estas pequeñas máquinas pueden presentar en zonas aisladas de la red eléctrica y que toda medida

**El aeromotor es una
máquina que transforma
parte de la energía cinética
del viento en energía
mecánica de rotación por
medio de su rotor**

RAU

El grupo RAU con sus varias fabricas en Europa, Maschinenfabrik RAU en Alemania, RAU-SICAM y RAU-Jean de Bru en Francia, le ofrece una amplia gama de maquinas agricolas de alto rendimiento.



RAU-JEAN DE BRU S.A.
Z.I. L'Estagnol - B.P. 1083
F-11880 Carcassonne Cedex 9 - Francia
Tel. 07 33 4 68 11 74 01
Fax 07 33 4 68 11 74 02
Moviles: 908 48 73 75 - 908 13 10 31

que de alguna forma suponga una disminución en el consumo de combustibles redundante en el interés nacional; el impulso y desarrollo de una industria de sistemas aislados está constituyendo un objetivo preferente en los planes eólicos de España.

El Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) de Madrid trabaja actualmente en el Proyecto "Sistemas aislados", perteneciente al Departamento de Energías Renovables (DER) que, entre otros muchos subproyectos, está precisamente investigando en el ensayo, mejora del rendimiento y homologación de las máquinas de pequeña potencia, para asegurar un nivel de calidad y mejorar su eficiencia y funcionamiento en sistemas aislados. El proyecto también cuenta entre sus objetivos con la investigación sobre sistemas eólico-diesel aislados y con alta penetración eólica, garantizando su estabilidad mediante sistemas de almacenamiento cinético avanzados (volantes de inercia de alta velocidad de rotación).

Algunos aspectos de la energía eólica

Ventajas medioambientales

Las ventajas medioambientales de la energía eléctrica obtenida mediante aerogeneradores son obvias si se compara con las fuentes tradicionales (fundamentalmente centrales térmicas). En efecto, un aerogenerador de 1 kW de potencia evita las siguientes emisiones a la atmósfera por año: 2,9 t de CO₂, 75.000 kg de SO₂ y 1.500 kg de NO_x. Además evita el desmonte (asociado a la minería del carbón) de unos 22,8 m³ de tierra por año y sustituye el consumo de 0,25 tep (IDAE, 1996).

En suma, las emisiones contaminantes apenas son significativas y pueden mantenerse en niveles aceptables, y si su implantación se hace tras estudiar adecuadamente su impacto cabe decir que la diversidad biológica apenas se ve perturbada. Estas consideraciones permiten que, sin mayor problema, un aerogenerador pueda instalarse contiguo a cualquier establecimiento agropecuario.

Ventajas económicas

Además de las ventajas generales debidas a la enorme dependencia de España frente a las importaciones energéticas, existen otras debidas a la estructura de la red de distribución. El coste aproximado de 1 km de línea trifásica de media tensión es de 2,5 millones de pesetas y el coste de la instalación de un sistema ais-

lado (aerogenerador + rectificador + batería + inversor), empleando aerogeneradores de 12 kW de potencia oscila entre las 300.000 y las 600.000 ptas./kW instalado. Así, por ejemplo, en el caso de que el punto donde sea necesaria la instalación posea un consumo inferior o igual a 80 kW·h/día, diste del centro transformador o del tendido de distribución general más de 4 km y considerando 5,5 horas o más de producción media diaria y un período de autonomía de 1 día, la instalación de una aeroturbina de pequeña potencia ya resulta más rentable que la ampliación de la red.



Fig. 7.- Aerogenerador de 12 kW fabricado por Juan y David Bornay.

En cuanto al coste de un parque eólico conectado a red en España oscila entre 120.000 y 160.000 ptas./kW instalado en las máquinas que ya han alcanzado la madurez tecnológica en mediana potencia.

Aplicaciones agropecuarias

Principalmente son dos las aplicaciones de los aerogeneradores en la industria agropecuaria: la generación de electricidad y el bombeo de agua. Esta última aplicación puede realizarse directamente, es decir, transformando la energía cinética del viento en mecánica para mover una bomba de émbolo (ver artículo de F. Arias, 1992). En la actualidad, se están investigando turbinas basculantes con accionamiento oleohidráulico para superar el inconveniente de los aerogeneradores lentos (sistemas multipala) en cuanto a la altura manométrica, muy li-

mitada en los sistemas tradicionales. La ventaja del bombeo eólico es que puede empezar a funcionar con velocidades de viento de apenas 2,5 m/s (aunque la velocidad de diseño suele ser de 5-6 m/s), lo que da idea de las amplias zonas donde este sistema puede usarse.

Ejemplos

- Multipala de bombeo de agua de 7,7 kW de potencia para el riego de olivos en la localidad jiennense de Cambil, con una producción estimada de 14 MW·h/año (IDAE, 1996).

- Multipala de bombeo para explotación agropecuaria en la localidad madrileña de Navalcarnero. La instalación se compone de cuatro aerobombas: dos de 2,4 m de diámetro y otras dos de 3 m de diámetro para extraer agua de pozos situados a una profundidad de 60 m y con unos caudales de entre 3.200 y 6.000 l/h.

- Multipala de bombeo para explotación agrícola en la localidad tarraconense de Gandesa. Extrae agua de un pozo situado a una profundidad de 60 m y la envía a un depósito situado a 40 m de altura. El caudal medio es de unos 1.500 l/h y la producción estimada de 8.000 m³/año.

- Aerogenerador de 3 kW para producción de electricidad. Cubre las necesidades de alumbrado y de un pequeño taller de reparación de maquinaria en una instalación ganadera de la localidad murciana de Yecla.

- Sistema mixto eólico-fotovoltaico para el suministro eléctrico en una explotación agraria de la localidad ciudadrealeña de Abenojar. Su potencia nominal es de 2,7 kW y la producción estimada de 3,8 MW·h/año (IDAE, 1996).

- Sistema mixto eólico-fotovoltaico para el suministro eléctrico a una granja de conejos en la localidad tarraconense de Baix Ebre (Perelló).

Se están investigando otras aplicaciones de la energía eólica en la agricultura, tales como la calefacción de cultivos frutales en caso de heladas. ■

BIBLIOGRAFÍA

Arias F. 1992. "La Energía Eólica en España y su Aprovechamiento en la Agricultura". Máquinas y Tractores Agrícolas, 2: 66-72.

Cádiz J.C., Ramos J. 1992. "Historia de la Máquinas Eólicas". Tabapress S.A., Madrid.

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. 1997. "Principios de Conversión de la Energía Eólica". Serie Ponencias. CIEMAT, Madrid.

IDAE. Edición Especial Cinco Días. 1996. "Guía de las Energías Renovables". Madrid.

IDAE. 1997. "Las Energías Renovables en España. Balance y Perspectivas 2000". Madrid.