

PROYECTO "LIFE"

Reutilización y modernización de los molinos de viento de extracción de agua de la zona agrícola del norte de Mallorca*

José Pascual Tortella
Dr. Ingeniero Industrial

Introducción

Tradicionalmente se han utilizado los molinos de viento en la zona del Plá de Mallorca, Zona agrícola del Norte y en otros lugares de las islas para la extracción de agua de pozos para regadío.

Mallorca es tierra de molinos, cuya figura es habitual en todas las comarcas, en las planicies, encima de una colina o dentro de un pueblo. El primer documento gráfico de un molino es de 1468, el cual aparece en el retablo de Sant Jordi, de Pere Niçart, en el Museu Diocesà de Mallorca. Durante la Edad Media, su número fue creciendo siendo la mayoría de viento harineros, aunque también los había de agua. Todos ellos con rotor provisto de velas o telas.

El verdadero aprovechamiento para la extracción de agua no llegó hasta 1845 de la mano del ingeniero holandés **Paul Bouvy de Schorrenber**, con la intención de acometer la desecación del Plá de Sant Jordi. A partir de este momento, su auge fue espectacular (en Palma en 1872 había 36, en 1891 ya eran 200, 897 en 1951 y 1.308 en 1958). En

toda Mallorca, especialmente en la zona de la Albufera (Muro, Sa Pobla,...) superaba fácilmente los 2.000.

La energía eólica es una fuente inagotable y no contaminante cuyas principales desventajas radican en el hecho de ser intermitente y de baja densidad.

Con la llegada de la electricidad y del motor de explosión, los molinos fueron sustituidos por motores en la extracción del agua. Poco a poco, estas construcciones y mecanismos se fueron deteriorando hasta llegar a crear el espectáculo deprimente actual. Muchos molinos han desaparecido, otros se mantienen en condiciones precarias, y sólo una pequeña parte continúa en condiciones aceptables (Apto. Son San Joan, Continente, Partic).

Problema medioambiental

Los únicos recursos energéticos autóctonos de las Islas Baleares son los renovables y los derivados de la biomasa. Entre los convencionales tan sólo cabe mencionar los yacimientos de lignito de Mallorca, inactivos desde 1991. De este modo, el 99% de la producción energética se

obtiene de la importación de recursos correspondiendo al petróleo y sus derivados el 45% de la producción total y el 55% al carbón.

Para la producción de energía eléctrica se utilizan el 95% de los productos petrolíferos pesados y la totalidad de la hulla que se consume en las islas.

Aunque el aprovechamiento de los recursos energéticos autóctonos es muy limitado, las Baleares son la primera Comunidad Autónoma por superficie instalada de paneles solares y la segunda en energía solar en relación con la renta *per capita*. Mucho menor ha sido el desarrollo de la energía eólica a pesar de haber sido tradicionalmente la única e indiscutible energía renovable utilizada desde finales del siglo XVIII hasta finales de los años 50 de este siglo.

La eficiencia en el consumo energético y la diversificación de las fuentes energéticas son las líneas de acción principales de las **Directrices de Ordenación Territorial** promulgadas por la *Conselleria de Medi Ambient i Ordenació del Territori i Litoral* del Gobierno Balear, favoreciendo el desarrollo de nuevas estrategias energéticas. Especialmente las

* Trabajo presentado a la D.G. XII de la Unión Económica Europea por la Mancomunidad del Norte de Mallorca con la participación de la *Conselleria d'Agricultura, Comerç i Indústria* y la *Conselleria de Medio Ambiente y Ordenación de Territorio y Litoral del Govern Balear*, *Foment i ocupació del Consell Insular de Mallorca*, la colaboración de la "Caixa Rural" y de los propietarios de los molinos de viento a reutilizar.

IS-59 (Energías renovables) y IS-60 (Autoabastecimiento).

Especialmente importante es el desarrollo de experiencias piloto y el efecto demostración que se puede lograr con el uso de las energías renovables.

Como señaló la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo "El uso eficaz de la energía debe ser la punta de lanza de las políticas energéticas para lograr un desarrollo válido". La eficacia en el uso de la energía y el peso creciente que deben tomar las fuentes renovables constituyen dos aspectos fundamentales del Convenio sobre el Cambio climático firmado en Río.

La captación de energía del viento ofrece la gran ventaja de salvar el ambiente de manera muy superior a cualquiera de las energías convencionales.

Objetivos

El proyecto va dirigido a una serie de objetivos muy concretos:

- * Restaurar una tecnología y medios de aprovechamiento de energía eólica existente y abandonada, introduciendo nuevas tecnologías de ahorro y sustitución en el sector agrícola (extracción de agua, riego, adecuación climática de invernaderos, desalado de aguas salobres, etc.). Todo ello mejorando el impacto visual y ambiental actual, dado el estado de progresivo abandono y deterioro en que se encuentran las 350 instalaciones de este tipo, existentes en la zona.

- * Incrementar, en cierta medida, la aportación de la energía eólica a la oferta energética actual de nuestras Islas.

- * Fomentar la innovación tecnológica en el sistema de producción de energía mediante la utilización de los molinos de extracción de agua existentes en la zona Norte de la Isla, así como en el uso y consumo de esta energía obtenida.

- * Promocionar entre los distintos sectores consumidores afectados y por influencia, en el resto, el uso racional y eficiente de la energía, introduciendo el factor "coste" y acercando al consumidor a este concepto.

- * Recuperar un bien histórico patrimonial, reduciendo su impacto visual, estético y ambiental negativo actual y potenciando su interés turístico.

La utilización de estos ingenios eólicos para extraer el agua tiene, además del innegable interés del aprovechamiento energético, un carácter plenamente medioambiental. Su rehabilitación y utilización para este fin supone, además, una práctica innovadora en nuestro País escasamente respetuoso con el patrimonio industrial en general y con el que

éstos representan; unas veces por el afán de destruir sin tino y otras por las implicaciones económicas que su mantenimiento conlleva.

Los molinos de viento han sido hasta bien entrado el siglo XIX, las únicas máquinas capaces de proporcionar energía mecánica al servicio de la industria o de la agricultura.

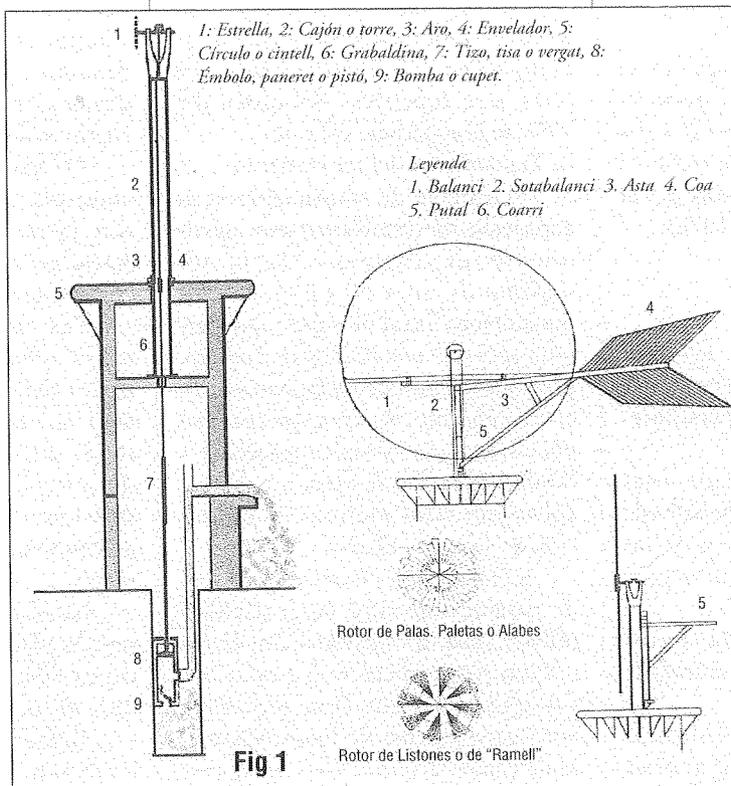
Conviene reflexionar que lo que a nuestros ojos aparece como una tecnología ya en desuso, más afín a poetas y pintores que a ingenieros, en cierta medida alejada ya del mundo productivo, fue, durante siglos, una actividad industrial y agrícola de vanguardia, siendo las máquinas más rápidas, potentes y técnicamente perfectas de las existentes, abriendo camino a la mecanización y a la actual tecnología eólica.

Esta es la base técnica que anima a la presentación de este proyecto: acercar al hoy estos ingenios eólicos dotándolos de la tecnología actual para poder desempeñar su papel de aprovechamiento energético del viento resolviendo los problemas técnicos que ello conlleva, mejorando a

la vez su impacto visual, estético y medioambiental de la zona en la que están implementados.

Naturaleza técnica del proyecto

En las Islas Baleares no existe una ubicación en la que el viento sopla con una velocidad superior a los 7 m/s. de media anual (medida a 10 m de altura), por lo que no es posible la sustitución de otras fuentes energéticas por energía eólica. Únicamente puede considerarse como complemento a un sistema convencional o cuando no sea necesario el funciona-



miento continuo de la instalación (extracción y almacenamiento de agua o energía).

Los molinos de viento son máquinas que aprovechan la energía cinética del viento para transformarla directamente en energía mecánica. Cuando se desea extraer agua, se acopla una bomba de émbolo y, en algunos casos, se puede acoplar un generador eléctrico para la producción de electricidad (siempre en pequeña escala).

Los molinos que nos ocupan constan de una superficie de captación del tipo multipala de 10 m de diámetro, de velocidad lenta (entre 10 y 30 r.p.m.) y sobre la que incide perpendicularmente el viento merced a un timón o cola situado perpendicularmente y fijo a dicha superficie de captación y paralelo a la dirección del viento. Con ello se genera un par motor en el eje que produce el movimiento de giro del mismo, si éste es superior al par resistente que ofrece la bomba de émbolo que lleva acoplado el sistema mediante un mecanismo biela-manivela encargado de transformar el movimiento de rotación del rotor en lineal (de vaivén).

Su funcionamiento óptimo se obtiene para una velocidad característica (λ) comprendida entre 1 y 2. La potencia máxima alcanzable (teórica) se deduce, aproximadamente de la expresión (Les Gourrieres, 1974):

$$P = 0,15 D^2 V^3$$

siendo D el diámetro del rotor en m; V, la velocidad del viento reinante en m/s y P, la potencia obtenida en vatios.

Analizaremos brevemente estas partes para dar una visión globalizada de la tecnología existente y de las mejoras técnicas a incorporar para obtener los objetivos fijados.

a) **Captación de la energía:** Rotor (también llamado *envelada*, *empalada* o *antennada*):

El elemento más característico de los molinos de viento son las antenas

o palas, que, sujetas al buje, constituyen el rotor. Existen dos tipos: de empalizada y de palas.

La antenada de empalizada es exclusiva de los molinos destinados a la extracción de agua y su estructura es poligonal de madera de seis, ocho o diez sectores y de entre 4 y 7 m de radio.

Los rotores de palas tienen un diámetro entre los 10 o 12 metros. Su estructura se basa en tres aros circulares de acero y sección circular, concéntricos, que soportan axialmente a las palas (divididas en seis o doce sectores) que convergen hacia el centro del buje (*"estrella"*) donde se concentran; las palas son sectores circulares alabeados en número entre 18 y 26 y construidas en latón o plancha de hierro galvanizado, habiéndose instalado el primero de ellos en 1934.

Para permitir la adecuada orientación automática del rotor en la dirección perpendicular a la del viento, disponen de una cola móvil. Esta estructura puede orientarse en el rango de 360° para recoger el viento de cualquier dirección.

Su longitud total, incluyendo la barra de soporte (denominada asta) es del orden de 1,2 veces el radio del rotor y su superficie, del orden del 15% de la superficie del rotor.

b) Transmisión del movimiento

El sistema de transmisión es el encargado de transformar este movimiento de rotación (hasta un máximo de unas 30 r.p.m.) en un movimiento lineal de vaivén que permita accionar una bomba de émbolo. El sistema citado de biela-manivela es el mecanismo de transformación necesario y más simple, aparecido a finales de la Edad Media y que su aplicación a los molinos de extracción de agua popularizó.

Se basa en dotar al eje principal de rotación de una excentricidad (*biela*, *"codo"* o *"cigüeñal"*) en la dirección perpendicular al propio eje, soportada en sus dos extremos por una estructura de hierro galvanizado (madera en los más antiguos)

en forma de "U" denominada *"borquilla"*.

La manivela (tizo, *"tisa"* o *"vergat"*) se prolonga con una longitud que varía entre 8 y 12 metros, desde el muñón de la biela hasta el punto articulado que empalma con el vástago de la bomba, a la que acciona.

c) Ejecución del trabajo: Bomba o "cupet"

La bomba de movimiento alternativo utilizada es una versión actualizada de la bomba Cresibi, ya empleada en tiempo de los romanos con fuerza humana. Consiste en un cilindro (*"cupet"*) con dos orificios provistos de sus correspondientes válvulas de membrana o de gatillo, por cuyo interior se desplaza un émbolo (*"paneret"* o *"pistó"*) que, cuando asciende, provoca una depresión en el interior del cilindro y que, al estar cerrado por una válvula el orificio de salida, succiona el agua procedente del pozo, llenándolo totalmente. Cuando el émbolo desciende, la válvula que se cierra es la de entrada abriéndose la de salida y, merced a la presión ejercida por el movimiento del émbolo, el agua almacenada en el cilindro es impulsada y expulsada al depósito de almacenamiento (Recordemos que la altura máxima de aspiración es de 10,33 m).

Originalmente el cilindro se construía con madera de pino aunque la mayoría de los existentes actualmente son de fundición de hierro o de bronce.

Las características técnicas de estas bombas se concretan en un diámetro del cilindro que oscila entre 0,15 m y 0,60 m. La carrera del pistón es de 0,40 m o de 0,30 m lo que da un volumen del cilindro entre 0,005 m³ (5 l) y los 0,11 m³ (110 l).

d) Soporte del sistema: edificio y torre

Normalmente, son construcciones de planta cuadrada o circular y construidas en piedra arenisca típica de la isla o de piedra.

Todo el conjunto de componentes de la transmisión están soportados

por una estructura metálica hueca (de madera en los más antiguos) "cajón" (*caixó*), para permitir el movimiento alternativo del tizo, sosteniendo a todo el conjunto. Además, esta torre estructural debe tener la posibilidad de girar sobre sí misma para permitir la orientación de la antena cara al viento. Por ello, se encastra en el propio edificio de obra de sustentación a través del "aro" o cojinete resistente a esfuerzos axiales de gran diámetro interior (de 30 a 40 cm) y se apoya sobre otro de base, denominado "grabaldina", que es el encargado de soportar el peso de todo el conjunto, manteniendo la verticalidad.

Dimensiones del proyecto

El proyecto de restauración de molinos de viento tradicionales para la extracción de agua situados en la zona llana cercana a la albufera y en una franja costera de la Isla de Mallorca, distribuidos en el área de influencia de la Mancomunidad de Ayuntamientos del Norte, implica a un número considerable de los actualmente inventariados como existentes; tanto en valor absoluto (unos 90), como en valor relativo (aproximadamente el 20%).

camente no existe o está latente y en vías de desaparición. (Cabe citar la efectiva labor del Taller-Escuela G. Rabassa, como excepción, junto a la Asociación de Amigos de los Molinos).

Resultados esperados

Una vez determinada la curva de potencia (que ha sido validada con arduos trabajos de cálculo y contraste con resultados experimentales), ha sido confrontada con datos de veloci-

agua/molino lo que supone un ahorro energético estimado entre 9.000 y 12.000 kWh/año-molino.

Si el número de molinos a reconstruir asciende a unos 90, las citadas cantidades se convierten en unos 2,25 millones de litros de agua extraídos al año lo que representa alrededor de 1 millón de kWh (1 GWh) de energía convencional sustituida al año.

Esta energía equivale a 86 tep/año (1 tep = 0,086 MWh) lo

* Hulla:	tep/t = 0,583486/0,583 = 144 t/año
* Residuos sólidos:	tep/t = 0,18086/0,180 = 477 t/año
* Petróleo agrícola:	tep/t = 1,04586/1,045 = 82 t/año
* Gasóleo:	tep/t = 1,03586/1,035 = 83 t/año

dad del viento de diferentes fuentes (Instituto de Meteorología Nacional, European Wind Atlas, Mapa eólico de Baleares, etc.).

La velocidad del viento en la zona de ubicación de los molinos que nos ocupan se caracteriza por el régimen de brisas que se dan especialmente en el semestre de mayor temperatura debido al sobrecalentamiento de la tierra respecto al mar ("embat") da una garantía de repeti-

que, traducido a otros tipos de combustibles, correspondería a:

La energía producida por este medio podría representar el 0,0043% del consumo energético total en Baleares en 1996, el 0,1% del gas licuado de petróleo distribuido (99,816 tep) y el 0,4% del gas manufacturado en la misma región y año.

La potencia instalada en molinos de viento (unos 270.000 W) representaría unas siete veces la potencia fotovoltaica instalada en Baleares en 1996 e igualaría a la total instalada de este tipo desde 1986.

Viabilidad e interés económico de la técnica propuesta

Es justo admitir que la viabilidad de este proyecto no puede evaluarse objetivamente como totalmente positiva si se realiza exclusivamente desde el punto de vista energético, aunque ello no implica que se deba o con venga despreciar estos recursos energéticos tan estimables en una Isla.

Por ello, es necesario resaltar que el carácter de demostración de este proyecto, con su amplia repercusión al extenderse sobre una apreciable superficie eminentemente rural con gran afluencia de visitantes, el valor de ejemplo o testimonial de ahorro

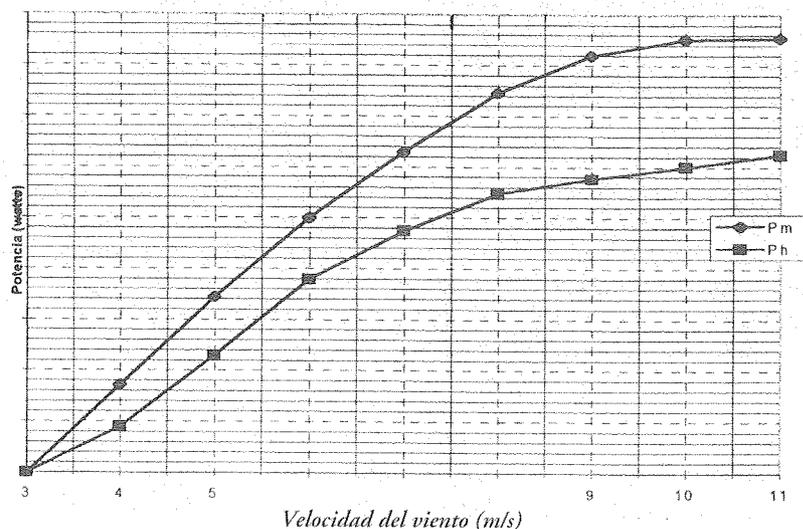
Term. Municipal	Nº de unidades	Incluidos en el proyecto
Sa Pobla	329	31
Alcudia	9	2
Muro	151	58

Las dimensiones del proyecto, al tratarse de unas 90 unidades, garantiza la bondad de las conclusiones que se obtengan y la posibilidad de transferir los resultados a otras zonas de la misma Isla de Mallorca (existen unas 1.200 estaciones más de este tipo), a la vez que permitiría movilizar la infraestructura y el necesario mínimo tejido industrial de talleres mecánicos de construcción metálica de piezas, montaje y mantenimiento necesario, que en la actualidad prácti-

ción del fenómeno, con la consiguiente fiabilidad en la energía anual a obtener.

Las velocidades medias anuales oscilan entre 3,6 y 4,5 m/s a las que, aplicando la distribución de densidad de probabilidad de velocidad del viento de Weibull con una K de 2, que corresponde a una variabilidad baja. En estas condiciones, la distribución de velocidades del viento concluye que se podrán extraer entre 19.000 y 25.000 m³/año de

CURVA DE POTENCIA MOLINOS DE VIENTO (*)



de energía, junto con el aspecto innovador de la técnica propuesta sin desvirtuar el aspecto y funcionalidad tradicional de los molinos de viento, posibilita su viabilidad; involucrando en él al ámbito industrial a pequeña escala, energético, agrícola y turístico con la necesaria (y en este caso, indispensable) atención al ambiente.

Estos razonamientos, junto con los beneficios medioambientales descritos, componen un escenario totalmente favorable y de gran interés. Muestra de ello es el alto índice de compromisos por escrito materializado por parte de los actuales propietarios de los molinos de viento a restaurar y/o reconstruir de aportar el 25% del coste de dichos trabajos. ■

INGEMAS

20

años participando en el desarrollo de empresas

INGEMAS, S.A. es una sociedad de ingeniería y gestión de proyectos, que ofrece a la industria un servicio técnico integral, desde la consultoría a la construcción de plantas industriales *llave en mano*.

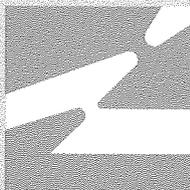
Nuestra calidad está avalada por la confianza de nuestros clientes.

SECTORES

Energía, Siderurgia, Metalurgia, Medioambiente, Cemento, Manutención, Plantas industriales en general

CLIENTES

Aceralía, Endesa, Duro Felguera, Babcock-Wilcox (española), Hunosa, Unelco, Potasas del Llobregat, Suria K Sales y Potasas, Cementos Tudela Veguín, Gibraltar Intercar, Compañía Sevillana de Electricidad, Elcogas, Papeterías de Gascogne (Francia), Encasur, Ence Pontevedra, Ebro Agrícola, Asturiana de Zinc, Chilgener (Chile), Imerosa, Juliana Constructora Gijonesa, Cie. de Phosphates de Gafsa (Túnez), Mantequeras Arias S.A. Inespal (Alcoa), Hullera Vasco-Leonesa, Iberia, Carbonífera del Ebro, Celulosas de Las Ardenas (Bélgica), Hispasilos, Minas de Figaredo..



INGEMAS

Ingemas, S.A. Avda. José García Bernardo, 10. 33203. Gijón Asturias, España. Tel.: 985 13 15 16. Fax: 985 13 09 60. Email: comercial@ingemas.com - Web: www.ingemas.com

SOLUCIONES INTEGRALES PARA LA INDUSTRIA