

Aprovechamiento energético de los molinos de viento tradicionales de las islas Canarias

Energetic use of traditional windmills of the Canary Islands

Víctor Manuel Cabrera García¹

Resumen

Las máquinas eólicas en la actualidad se utilizan para producir energía eléctrica a partir de los aerogeneradores buscando incorporar las energías renovables a la red eléctrica. Sin embargo, los tradicionales molinos de viento son elementos de la arquitectura tradicional popular que pertenecen al pasado debido a que han desaparecido los modos de vida a los que iban ligados y, por ello, actualmente no son útiles para la sociedad actual.

La conservación de los tradicionales molinos de viento en las islas Canarias resulta problemática ya que han quedado en desuso, por lo que se muestran inadecuados para la sociedad actual y, en consecuencia, se facilita el abandono de los mismos. Por ello se propone recuperar el funcionamiento de estos molinos de viento, dotándolos de un nuevo uso que consiste en producir energía eléctrica, lo que posibilitaría recuperar lo que aún no se ha perdido de estas construcciones tradicionales procedentes de la cultura industrial tradicional canaria.

Palabras clave

Molinos de viento, patrimonio, restauración, rehabilitación, conservación.

Abstract

Wind machines are currently used to produce electricity from wind turbines, trying to incorporate renewable energy into the grid. However, traditional windmills are elements of traditional folk architecture that belong to the past because the ways of life to which they were linked have disappeared and, as a result, they are no longer useful for today's society. The conservation of the traditional windmills in the Canary Islands is problematic since they have been deprecated. Therefore, they are inadequate for the present society and, consequently, they can be easily abandoned. This is why it is proposed to restore the operation of these windmills, providing them with a new use consisting of producing electrical energy. This would make it possible to recover what has not yet been lost from these traditional constructions from the traditional Canarian industrial culture.

Keywords

Windmills, heritage, restoration, rehabilitation, conservation.

Recibido / received: 02.05.2017. Aceptado / accepted: 06.07.2017.

¹ Doctor arquitecto en restauración y rehabilitación arquitectónica por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Profesor III de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Europea de Canarias (victormanuel.cabrera@universidadeuropea.es).



Molino de viento de tipo torre en Llanos de la Concepción, TM de Puerto del Rosario. Fuerteventura. Foto: Néstor Rodríguez Rodríguez.

Introducción

En la actualidad las máquinas eólicas se utilizan generalmente para producir energía eléctrica a través de los aerogeneradores, buscando incorporar a las energías renovables al sistema de la red eléctrica. Las dimensiones de estos aerogeneradores varían según la potencia eléctrica que se desee obtener; de este modo se fija inicialmente el diámetro del rotor para luego decidir la altura de la torre. Los nuevos diseños de estas máquinas eólicas, los materiales novedosos empleados en su construcción, la mayor altura de las torres, así como los mayores diámetros de los rotores de aspas de los actuales aerogeneradores engrandecen la función histórica, la integración con el paisaje rural y la estética de los molinos harineros tradicionales de tiempos pasados.

Los tradicionales molinos de viento harineros son elementos de la arquitectura tradicional que pertenecen al pasado debido a que han desaparecido los modos de vida a los que iban ligados y por ello resulta que no son útiles para la sociedad actual. La falta de estudio y de inventario de los mismos y la fragilidad relacionada con el envejecimiento de todos los materiales

empleados para su construcción los hacen especialmente vulnerables ante el abandono y el desinterés por parte de la sociedad actual.

Como alternativa a las diversas estrategias existentes destinadas a procurar la conservación de estas construcciones pertenecientes a la arquitectura popular canaria, se propone recuperar el funcionamiento de estos tradicionales molinos de viento dotándolos de un nuevo uso, es decir, implantándoles una tecnología específica que les permita producir energía eléctrica mediante el acoplamiento de un generador de baja potencia, iniciativa similar a la propuesta por el Ayuntamiento de Campos, en Mallorca, con el Proyecto de Recuperación Patrimonial Molins de Campos en Mallorca, realizado por la Ingeniería y Consultoría Técnica Pascual Esteva SLL en el año 2000.

En la actualidad es posible implantar una tecnología adecuada para estas construcciones y que posibilitaría la obtención de energía eléctrica permitiendo a la sociedad actual obtener energía eléctrica, para poder utilizarla en los lugares donde no exista red general eléctrica debido a la inexistencia de infraestructuras o como complemento a la red eléctrica existente. La

energía eléctrica obtenida se podría utilizar para dar servicio a las instalaciones complementarias vinculadas a los molinos como son los diversos talleres artesanales, así como para dar servicio al alumbrado público, tanto para la red viaria como para los parques, jardines y plazas urbanas (Cabrer García, 2010).

Esta propuesta posibilita dar respuesta a la inoperatividad actual de los diversos tipos de molinos de viento tradicionales, incorporándoles un nuevo uso (producir energía eléctrica), y que es perfectamente compatible con estas construcciones de la arquitectura popular canaria. La iniciativa planteada posibilitaría recuperar lo que aún no se ha perdido de estas construcciones procedentes del patrimonio industrial tradicional canario y que, al mismo tiempo, es compatible con las necesidades sociales actuales en el interés creciente por obtener energía eléctrica a través de las energías limpias y renovables, en aras de disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Este artículo de investigación se aborda desde el planteamiento de un objetivo principal, realizar un estudio en el que se indique la energía eléctrica que se podría obtener de los

Número de Beaufort	Velocidad del viento (m/s)	Denominación	Efectos en tierra	Aspecto del mar
0	De 0 a 0,27	Calma	Calma El humo asciende verticalmente	Despejado
1	De 0,55 a 1,38	Ventolina	El humo indica la dirección del viento	Pequeñas olas, pero sin espuma
2	De 1,66 a 3,05	Flojito (brisa muy débil)	Se mueven las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos	Crestas de apariencia vitrea, sin romper
3	De 3,33 a 5,27	Flojo (brisa débil)	Se agitan las hojas, ondulan las banderas	Pequeñas olas, crestas rompientes
4	De 5,55 a 7,77	Bonancible (brisa moderada)	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles	Borreguillos numerosos, olas cada vez más largas
5	De 8,05 a 10,55	Fresquito (brisa fresca)	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada	Olas medianas y alargadas, borreguillos muy abundantes
6	De 10,83 a 13,61	Fresco (brisa fuerte)	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas	Comienzan a formarse olas grandes, crestas rompientes, espuma
7	De 13,88 a 16,94	Frescachón (viento fuerte)	Se mueven los árboles grandes, dificultad para andar contra el viento	Mar gruesa, con espuma arrastrada en dirección del viento
8	De 17,22 a 20,55	Temporal (viento duro)	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas dificultosa	Grandes olas rompientes, franjas de espuma
9	De 20,83 a 24,44	Temporal fuerte (muy duro)	Daños en los árboles, imposible andar contra el viento	Olas muy grandes rompientes, visibilidad mermada
10	De 14,72 a 28,33	Temporal duro (temporal)	Árboles arrancados, daños en las estructuras de las construcciones	Olas muy gruesas con crestas empenachadas, superficie del mar blanca
11	De 28,61 a 32,50	Temporal muy duro (borrascosa)	Estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles	Olas excepcionalmente grandes, mar completamente blanca, visibilidad muy reducida
12	> 32,77	Temporal huracanado (huracán)	Destrucción total	El aire está lleno de espuma y rociones, enorme oleaje, visibilidad casi nula

Tabla 1. Escala Beaufort.

tradicionales molinos de viento con la intención de recuperar, incorporar, reutilizar y revitalizar los tradicionales molinos de viento, que en la actualidad se encuentran abandonados y en ruinas, mediante la puesta en valor de dichas construcciones proponiendo un uso alternativo (producir energía eléctrica) a los ya existentes como métodos de conservación de estos elementos singulares de la arquitectura popular canaria.

Método

La energía eólica es una energía renovable y es una variable de la energía solar. Se obtiene a partir de la fuerza

del viento, resultante del desigual calentamiento que produce el Sol en la atmósfera y de las irregularidades del relieve de la superficie terrestre. El término de energía eólica se describe como el proceso por medio del cual la fuerza del viento es usada para generar energía útil, ya sea mecánica o eléctrica. En el pasado, el viento ha sido una importante fuente de energía que se utilizaba para poner en movimiento medios de transporte (barcos de vela) y para moler granos o bombear agua a través de los molinos de viento.

El mayor interés que existe actualmente en las máquinas eólicas consiste en la producción de energía eléctrica

a partir de energía cinética del viento como alternativa a la generación de energía eléctrica utilizando los costosos y contaminantes combustibles fósiles. La cantidad de energía que contiene el viento antes de pasar por el rotor de aspas de un aerogenerador depende fundamentalmente de tres parámetros: la velocidad del viento, la densidad del aire y el área de barrida del rotor de aspas. La energía cinética de una masa de aire que se desplaza viene determinada por la denominada "ley del cubo". La velocidad del viento que pasa por el rotor de aspas es determinante, ya que la energía cinética aumenta proporcionalmente al cubo de

la velocidad a la que se mueve, es decir, si la velocidad del viento se duplica, la energía será ocho veces mayor.

No obstante, ni molino de viento tradicional ni un aerogenerador pueden capturar el 100% de la potencia del viento, ya que su velocidad una vez que atraviesa la superficie del rotor no es nula. Las principales dificultades que presenta el aprovechamiento de esta energía renovable son: las variaciones en la velocidad del viento y la incapacidad de asegurar un suministro constante y regular a lo largo de día. En contraste con estos inconvenientes, la energía eólica no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de los combustibles fósiles a la vez que puede competir en rentabilidad con otras fuentes energéticas tradicionales. Al contrario de lo que ocurre con las energías convencionales, la energía eólica no produce contaminación por residuos o vertidos en el terreno, no produce gases tóxicos expulsados hacia la atmósfera y no contribuye al efecto invernadero.

Los maestros molineros de los molinos de viento tradicionales tenían una cierta sensibilidad para deducir la intensidad y velocidad del viento al carecer de aparatos capaces de registrar su velocidad y su intensidad. Por ello, dichos parámetros eólicos los establecían por métodos de visibilidad, a través del movimiento del mar y sus olas, por el movimiento de los árboles y, finalmente, por el movimiento de las nubes. Estos sistemas de visibilidad permitían al maestro molinero intuir la dirección y la velocidad del viento.

Existen tablas empíricas para deducir la intensidad del viento (escala Beaufort), en las que se establecen equivalencias basadas en el estado de la mar, de sus olas y de los efectos producidos por la fuerza del viento en la superficie de la tierra. En la tabla 1 se indica el número de la escala de Beaufort, la velocidad de viento, los efectos en tierra y el aspecto del mar que produce el viento.

Los molinos de viento tradicionales comienzan a moverse a partir de velocidades del viento de 6 km/h (1,66 m/s), que corresponde al número 2 de la escala de Beaufort y deben recoger velas o aminorar su rendimiento a partir de los 28 km/h (7,77 m/s), que corresponde con el número 4 de la escala de Beaufort.

Intensidad	Velocidad (m/s) a 10 m de altura
Calma	0,0-0,4
Ligero	0,4-5,8
Moderado	5,8 - 8,5
Fresco	8,5-11
Fuerte	11-17
Temporal	17-25
Fuerte temporal	25-34
Huracán	> 34

Tabla 2. Intensidad y velocidad del viento.

Velocidad (m/s)	Velocidad (km/h)	Potencia (W/m ²)
1	3,6	0,6
2	7,2	4,9
3	10,8	16,5
4	14,4	39,2
5	18,0	76,5
6	21,6	132,3
7	25,2	210,1
8	28,8	313,6
9	32,4	446,5
10	36,0	612,5
11	39,6	815,2
12	43,2	1.058,4
13	46,8	1.345,7
14	50,4	1.680,7
15	54,0	2.067,2
16	57,6	2.508,8
17	61,2	3.009,2
18	64,8	3.572,1

Tabla 3. Potencia eléctrica a partir de la velocidad del viento.

Para que los molinos de viento tengan eficacia en su rendimiento, deben estar instalados en lugares desprovistos de barreras y de obstáculos naturales (colinas, árboles) o de obstáculos artificiales (edificaciones) que puedan entor-

pecer la libre marcha de las corrientes de viento, evitando en determinados casos la aparición de ráfagas y torbellinos que puedan comprometer la estabilidad del molino. Aun no existiendo los obstáculos anteriormente citados,

debe tenerse en cuenta que el movimiento del viento a poca distancia del terreno es de naturaleza ondulante, no es constante ni uniforme hasta algunos metros de la superficie del terreno. Por ello, las torres que sostienen los rotores de aspas de los molinos de viento deben de tener una altura mínima que oscila entre 6,00 y 10,00 metros.

La intensidad de los vientos dominantes y la velocidad de los mismos se indican en la tabla 2: (Lopez Romero JJ, Cerón García FJ, 2008).

En función de la intensidad del viento, el aprovechamiento del mismo por los molinos de viento se fija entre las intensidades de ligero (2 m/s-7,2 km/h) y fuerte (16 m/s-57,60 km/h). El viento no es continuo, suele ir a ráfagas, con una dirección predominante pero no siempre exactamente la misma. Por lo tanto, es variable, con lo que no sopla con la misma dirección ni con la misma velocidad. Conocer los datos estadísticos sobre la velocidad del viento, las direcciones predominantes de circulación, la presión atmosférica, la temperatura y la humedad del aire en un lugar determinado son elementos claves para valorar la eficiencia de un molino de viento.

Las potencias eólicas máximas aprovechables (W/m^2), considerando toda la superficie del rotor (πr^2) de aspas de las máquinas eólicas y según la velocidad de los vientos dominantes, se pueden calcular según se indican en la tabla 3 (López Romero JJ, Cerón García FL, 2008).

Resultados

Todos los cuerpos o masas en movimiento tienen una energía, llamada energía cinética y, por tanto, son capaces de desarrollar un trabajo. Cuanto mayor es la masa en movimiento (m) y su velocidad (v), mayor es la energía de que se dispone. La expresión matemática que expresa esta energía es la siguiente:

$$\text{Energía cinética del viento} = \frac{1}{2} m v^2$$

La potencia máxima de un molino de viento que se podría aprovechar es la que transporta el viento que atraviesa la circunferencia que traza su rotor de aspas y viene dada por la siguiente expresión:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times V^3$$

Donde:

P = Potencia en vatios (W)

ρ = Densidad del aire (kg/m^3)

S = Superficie del rotor (m^2)

V = Velocidad del viento (m/s)

Según demostró el físico alemán Albert Betz en 1919, no es posible aprovechar toda esta potencia del viento; solo puede llegarse al 59,2%, por lo que la expresión anterior se modifica de la siguiente forma:

$$P = 16/27 \times (\frac{1}{2} \times \rho \times S \times V^3)$$

Sin embargo, según los estudios experimentales realizados por el Laboratorio Eiffel (1983), la potencia más alta generada en un molino de viento no es el 59,2%, sino del entorno del 30%, y según las características de cada molino de viento (Valera Martínez-Santos, 2010).

Para obtener la potencia mecánica máxima en el eje inclinado del molino de viento previo al mecanismo de molienda, es necesario conocer los datos estadísticos sobre la velocidad del viento, sus direcciones predominantes, la presión atmosférica, la temperatura, las dimensiones de la circunferencia del rotor de aspas y la superficie total de velas expuestas al viento dominante.

Cálculo de la potencia mecánica máxima

Para calcular la potencia mecánica máxima aprovechable del viento, se estima una densidad del aire de $1,225 kg/m^3$, que se corresponde con un aire seco a una presión atmosférica estándar a nivel del mar y a $15^\circ C$ (López Romero JJ, Cerón García FJ, 2008).

Molinos de viento harineros tipo torre

La estructura total del edificio se puede descomponer en dos secciones. La primera tiene forma troncocónica de planta circular de, aproximadamente, 6 metros de diámetro y consta de tres plantas de altura de dimensiones entre los 6 y 7 metros, siendo el elemento fijo y sustentante del molino. La segunda está constituida por una cubierta cónica peraltada de armazón de madera con unas dimensiones entre los 2 y los 3 metros de altura, sostiene el rotor de aspas del molino de viento y es el elemento móvil que permite orientar el rotor de aspas hacia los vientos dominantes (figura 1).



Figura 1. Molino de viento harinero tipo torre. Llanos de la Concepción. TM Puerto del Rosario. Fuerteventura. Foto: Víctor M. Cabrera García



Figura 2. Molino de viento harinero sistema Ortega. TM de Garafía. La Palma. Foto: Víctor M. Cabrera García

El rotor de aspas tiene un diámetro que oscila entre los 9 y los 15 metros y las aspas tienen forma trapezoidal, con dimensiones que oscilan entre los 4,50 y los 7,50 metros de longitud y los 2 metros de ancho. Para hacer frente a las variaciones de la velocidad del viento es necesario modificar la superficie de las velas de las aspas, plegando o desplegando las lonas según la fuerza del viento.

La potencia mecánica máxima obtenida en el eje del rotor de aspas del

Densidad (kg/m ³)	Diámetro (m)	Superficie πr^2 (m ²)	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/h)	Potencia (W)	Potencia (kW)
1,225	15,00	176,71	4	14,4	6.926,72	6,92
			5	18	13.528,75	13,53
			6	21,6	23.377,68	23,37
			7	25,2	37.122,90	37,12
			8	28,8	55.413,76	55,41

Tabla 4. Potencia máxima de un molino harinero tipo torre (elaboración propia).

Densidad (kg/m ³)	Diámetro (m)	Superficie πr^2 (m ²)	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/h)	Potencia (W)	Potencia (kW)
1,225	15,00	176,71	4	14,4	2.078,01	2,08
			5	18	4.058,62	4,06
			6	21,6	7.013,30	7,01
			7	25,2	11.136,87	11,13
			8	28,8	16.624,13	16,62

Tabla 5. Potencia eléctrica estimada de un molino tipo torre (elaboración propia).

molino de viento previo al mecanismo de la maquinaria que permite molienda se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times V^3$$

Donde:

P = Potencia en vatios (W)

ρ = Densidad del aire (kg/m³)

S = Superficie del rotor (m²)

V = Velocidad del viento (m/s)

La velocidad del viento más apropiada y óptima debido al rendimiento mecánico de la maquinaria de molturación para estos molinos de viento harineros es de 7 m/s (25,2 km/h). Si la velocidad del viento no pasa de 4 m/s (14,4 km/h) el rotor de aspas de este tipo de molino de viento no se mueve y cuando excede de 8 m/s (28,8 km/h) hay que reducir la velocidad del rotor recogiendo velas de las aspas para evitar la rotura del mismo y de la maquinaria.

Por lo tanto, la potencia mecánica máxima obtenida a partir del diámetro del rotor de aspas y de la velocidad del viento se indica en la tabla 4.

Sin embargo, se deben asumir pérdidas mecánicas, por lo que la poten-

cia más alta generada por este tipo de molino se estima en torno al 30% de la potencia mecánica máxima obtenida (Valera Martínez-Santos, 2010).

Los nuevos datos obtenidos considerando dichas pérdidas se exponen en la tabla 5.

Molino de viento harinero sistema Ortega

En líneas generales, el edificio es un volumen de una altura y de planta habitualmente rectangular. La torre de madera está dividida en dos partes. Una de ellas es exterior al edificio y que sobresale del mismo con una altura que oscila entre los 6 y 7 metros. La otra parte es interior al edificio y tiene una altura que oscila entre los 2 y los 2,60 metros, y la altura total está entre los 9 y los 10 metros.

El rotor de aspas de este tipo de molino de viento tiene un diámetro que oscila entre los 6 y los 9 metros y la estructura del mismo está compuesta por una serie de palos largos denominados largueros y una serie de palas de madera denominadas fajas colocadas en las aspas. Los largueros tienen una longitud aproximada entre los 3 y los 4 metros y las fajas de las aspas están compuestas habitualmente por cuatro segmentos de madera con forma tra-

pezoidal con dimensiones aproximadas de 1,5 metros de ancho por 2 metros de largo (figura 2).

La potencia mecánica máxima obtenida en el eje del rotor de aspas del molino de viento previo al mecanismo de la maquinaria que permite molienda se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times V^3$$

Donde:

P = Potencia en vatios (W)

ρ = Densidad del aire (kg/m³)

S = Superficie del rotor (m²)

V = Velocidad del viento (m/s)

La velocidad del viento más apropiada para estos molinos harineros es de 5 m/s (18 km/h). Si la velocidad del viento no pasa de 2 m/s (7,2 km/h), el rotor de aspas de este tipo de molino de viento no se mueve y cuando excede de 7 m/s (25,2 km/h) hay que reducir la velocidad del rotor retirando segmentos de fajas de madera en las aspas para evitar la rotura del rotor y de la maquinaria.

Por lo tanto, la potencia mecánica máxima obtenida a partir del diámetro del rotor de aspas y de la velocidad del viento se indica en la tabla 6.

Densidad (kg/m ³)	Diámetro (m)	Superficie πr^2 (m ²)	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/h)	Potencia (W)	Potencia (kW)
1,225	8,80	60,80	2	7,2	152,73	0,15
			3	10,8	515,43	0,51
			4	14,4	1.221,76	1,22
			5	18	2.386,25	2,38
			6	21,6	4.123,44	4,12
			7	25,2	6.547,87	6,54

Tabla 6. Potencia máxima de un molino harinero sistema Ortega (elaboración propia).

Sin embargo, se deben asumir pérdidas mecánicas, y no se conocen estudios detallados que cuantifiquen las pérdidas de eficiencia en cuanto a la potencia mecánica máxima que se podría obtener en este tipo de molino de viento tradicional.

Molino de viento harinero la Molina

La morfología y las dimensiones del edificio del molino de viento la Molina, al igual que los molinos de viento sistema Ortega, son de naturaleza variable. La torre de la Molina es el elemento intermedio entre el rotor y la maquinaria de molturación. La torre de madera está dividida en dos partes. Una de ellas es exterior al edificio y sobresale del mismo con una altura que oscila entre los 3,50 metros y los 5 metros. La otra parte es interior al edificio y tiene una altura que oscila entre los 3 y los 4,50 metros; su altura total va de los 7 a los 10 metros.

El rotor de aspas de este tipo de molino de viento tiene un diámetro entre 5 y 7 metros. Las aspas de la Molina tienen forma trapezoidal, al igual que las aspas del molino de viento tipo torre. La estructura de cada aspa está compuesta por una serie de palos largos denominados largueros y un conjunto de palos más pequeños llamados teleros o traviesas que son las que sostienen las lonas de tela. Las aspas tienen una longitud aproximada entre los 2,50 y los 3,50 metros y una anchura de 1,60 metros. Para hacer frente a las variaciones de la velocidad del viento es necesario modificar la superficie del aspa, plegando o desplegando las lonas según la fuerza del viento.

La potencia mecánica máxima obtenida en el eje del rotor de aspas del



Figura 3. Molino de viento harinero la Molina. Tefía, TM de Puerto del Rosario. Fuerteventura. Foto: Víctor M. Cabrera García.

molino de viento previo al mecanismo de la maquinaria que permite molienda se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times V^3$$

Donde:

P = Potencia en vatios (W)

ρ = Densidad del aire (kg/m³)

S = Superficie del rotor (m²)

V = Velocidad del viento (m/s)

La velocidad del viento más apropiada para estos molinos harineros es de 5 m/s (18 km/h). Si la velocidad del viento no pasa de 2 m/s (7,2 km/h), el rotor aspas de este tipo de molino de viento no se mueve; cuando excede de 7 m/s (25,2 km/h), hay que reducir la

velocidad del rotor recogiendo velas para evitar la rotura del rotor y de la maquinaria.

Por lo tanto, la potencia mecánica máxima obtenida a partir del diámetro del rotor de aspas y de la velocidad del viento se indica en la tabla 7.

Sin embargo, se deben asumir pérdidas mecánicas, y no se conocen estudios detallados que cuantifiquen las pérdidas de la eficiencia en este tipo de molino de viento tradicional.

Molino de viento harinero sistema Romero

La morfología y las dimensiones del edificio del molino de viento del sistema Romero, al igual que la Molina, son de naturaleza variable. La torre es el elemento intermedio entre el rotor de aspas y la maquinaria de moltura-

Densidad (kg/m ³)	Diámetro (m)	Superficie πr^2 (m ²)	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/h)	Potencia (W)	Potencia (kW)
1,225	6,30	31,17	2	7,2	152,72	0,15
			3	10,8	515,43	0,51
			4	14,4	1.221,76	1,22
			5	18	2.386,25	2,38
			6	21,6	4.123,44	4,12
			7	25,2	6.547,87	6,55

Tabla 7. Potencia máxima de un molino harinero la Molina (elaboración propia).

Densidad (kg/m ³)	Diámetro (m)	Superficie πr^2 (m ²)	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/h)	Potencia (W)	Potencia (kW)
1,225	7	38,48	2	7,2	188,56	0,19
			3	10,8	636,39	0,63
			4	14,4	1.508,48	1,50
			5	18	2.946,25	2,94
			6	21,6	5.091,12	5,09
			7	25,2	8.084,51	8,08

Tabla 8. Potencia máxima de un molino harinero sistema Romero (elaboración propia).



Figura 4. Molino de viento harinero sistema Romero. TM de La Aldea. Gran Canaria. Foto: Víctor M. Cabrera García.

ción y está dividida en dos partes: una de ellas es exterior al edificio y sobresale del mismo con una altura entre los 3,50 y los 4,50 metros. La otra parte está en el interior del edificio y tiene una altura que oscila entre los 3 y los 4,50 metros. La altura total va entre los 6 y los 9 metros.

El rotor de aspas de este tipo de molino de viento tiene un diámetro que oscila entre 6 y 8 metros y está formado generalmente por seis aspas. Las aspas tienen forma trapezoidal y la estructura inicial de cada aspa está compuesta por una serie de palos largos denominados largueros, de una longitud aproximada entre los 3 y los 4 metros y una serie de palas de madera denominadas fajas de 1,70 metros de anchas. Con el paso del tiempo, se cambia la estructura de las fajas, sustituyendo la configuración de las velas de madera por velas de lonas de tela, lo que facilita la recogida de las mismas ante los fuertes vientos (figura 4).

La velocidad del viento más apropiada para estos molinos harineros es

de 5 m/s (18 km/h). Si la velocidad del viento no pasa de 2 m/s (7,2 Km/h) el rotor aspas de este tipo de molino de viento no se mueve; cuando excede de 7 m/s (25,2 km/h) hay que reducir la velocidad del rotor y recoger velas para evitar la rotura del rotor y de la maquinaria.

Por lo tanto, la potencia mecánica máxima obtenida a partir del diámetro del rotor de aspas y de la velocidad del viento se indica en la tabla 8.

Sin embargo, se deben asumir pérdidas mecánicas, y no se conocen estudios detallados que cuantifiquen las pérdidas de la eficiencia en este tipo de molino de viento tradicional, al igual que ocurre con los molinos de viento harineros sistema Ortega y la Molina.

Conclusiones

Los tradicionales molinos de viento que han sobrevivido al paso del tiempo en las islas Canarias ofrecen datos sobre la economía y las técnicas que empleaban los habitantes canarios en épocas pasadas. La solución clásica de

restauración y rehabilitación consiste en crear numerosos centros de interpretación para garantizar la conservación de la mayor parte de las construcciones de la arquitectura tradicional popular como recuerdos históricos de las antiguas técnicas artesanales, agrícolas o industriales por su gran valor didáctico y para incentivar el estudio de la evolución de la sociedad en el curso del tiempo. Sin embargo, solo se limitan a conservar las edificaciones tradicionales como documentos etnográficos estáticos, asumiendo la pérdida de la forma de vida a las que daban origen.

La posibilidad de dotar a los tradicionales molinos de viento de las islas Canarias de una tecnología adecuada para obtener energía eléctrica permitiría dar una respuesta a la inoperatividad actual de los diversos tipos de molinos de viento tradicionales incorporándoles un nuevo uso (producir energía eléctrica), y que es perfectamente compatible con estas construcciones singulares de la arquitectura tradicional. La energía eléctrica obtenida se podría utilizar para dar servicio a las instalaciones complementarias vinculadas a los molinos de viento tradicionales como son los diversos talleres artesanales y para dar servicio al alumbrado público, tanto para la red viaria como para los parques, jardines y plazas urbanas. La iniciativa planteada posibilitaría recuperar lo que aún no se ha perdido de estas construcciones tan singulares procedentes de la cultura industrial tradicional canaria, y que al mismo tiempo es compatible con las necesidades sociales actuales en el interés creciente por la obtención de energía eléctrica a través de las energías limpias y renovables, en aras de disminuir la obtención de energía a partir de los combustibles fósiles y contaminantes.

Las diversas actuaciones que realizar en los distintos tipos de molinos de viento tradicionales se plantearán caso por caso, por lo que en cuanto a la rehabilitación se refiere, tanto la sustitución de los elementos en estado ruinoso como la incorporación de nuevos elementos han de tener en cuenta los documentos de obligado cumplimiento como son las Cartas del Restauo de Venecia y de Cracovia, así como la legislación vigente en materia de patrimonio. Mayoritariamente, se trataría

de consolidar las fábricas resistentes y los acabados de los edificios, así como la sustitución de aquellos elementos deteriorados de la maquinaria, que están hechos de madera, diferenciándolos de los originales. En otro orden de cuestiones, se debe minimizar el rozamiento mecánico de los elementos de la maquinaria de los molinos de viento, evitando las elevadas pérdidas mecánicas que puedan producirse para obtener la máxima eficiencia de los molinos de viento tradicionales con la energía eléctrica a partir de la energía cinética del viento.

Para obtener energía eléctrica en los tradicionales molinos de viento del archipiélago canario es necesario acoplar un generador eléctrico y las baterías necesarias para almacenar la energía producida y así facilitar su acumulación y permitir el suministro eléctrico para cuando no esté presente el viento. Los generadores eléctricos pueden ser de corriente continua (dinamos), que se han ido abandonando, y los generadores de corriente alterna. En este último caso hay de dos tipos: generadores sincrónicos o alternadores y generadores asincrónicos o de inducción.

Para el caso concreto de los molinos de viento tradicionales resulta óptima la utilización de los generadores sincrónicos, que aunque tienen un mayor rendimiento potencial, deben operar a velocidad constante si se quiere mantener fija la frecuencia. Debido a la variabilidad de los vientos, es muy aconsejable en instalaciones aisladas de la red eléctrica acumular la energía obtenida en baterías y desde ellas alimentar la demanda de energía eléctrica. En estos casos la frecuencia no tiene importancia, ya que habrá rectificadores (inversores) que transformarán la corriente continua en corriente alterna y viceversa. Entre el rotor de aspas y el generador se dispondrá de una caja multiplicadora, que se encargará de elevar el número de revoluciones por minuto del eje mecánico del rotor de aspas, ya que en los molinos de viento harineros tradicionales se estima el número de vueltas del eje inclinado que proviene del rotor en torno a 12 rpm, y los generadores comerciales requieren girar a velocidades entre las 1.000 rpm y las 3.000 rpm, dependiendo de las características constructivas y la frecuencia que obtener.

Además, es necesario disponer de un regulador de la velocidad del giro del rotor de aspas para evitar que estas trabajen a altas velocidades que comprometan la resistencia de los materiales empleados o induzcan vibraciones perjudiciales para la maquinaria. El control del funcionamiento de esos molinos de viento tradicionales puede realizarse a través de la incorporación un anemómetro que permita determinar cuándo debe actuar el mecanismo de frenado de los molinos de viento, tanto para los valores máximos como para los valores mínimos del viento. Toda la adaptación mecánica se realizará fundamentalmente en los interiores de los edificios de los molinos de viento tradicionales, salvo el anemómetro, que se dispondrá en los exteriores de los mismos.

Bibliografía

- AAVV (2008). *Molinos de viento en la Región de Murcia*. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Consejería de Cultura, Juventud y Deportes. Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales y Servicio de Patrimonio Histórico. ISBN: 978-84-7564-390-8.
- Alemán, Gilberto. (1998). *Molinos de Viento*. Ediciones Idea. S/C de Tenerife. ISBN: 848910574X.
- Benthencourt Morales, Manuel (1988). *Los molinos de viento en La Palma*. Aguayo nº 178, pp. 16-18.
- Cabrera García, Victor Manuel (2009). *La arquitectura del viento en Canarias. Los molinos de viento. Clasificación, funcionalidad y aspectos constructivos*. Tesis doctoral, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Cabrera García, Victor Manuel. (2010). *Molinos de viento en las Islas Canarias*. Ediciones Idea SA. Colección: Territorio Canario. ISBN: 9788499413785.
- Cabrera García, Victor Manuel. (2016). *La revitalización de los molinos de viento mediante las energías renovables. Evolución de las máquinas edicas en las Islas Canarias*. Revista PH-Investigación, Nº 7, diciembre 2016, pp. 75-94. ISSN: 2340-9479.
- Lecuona Neuman, Antonio (2002). *La energía eólica: Principios básicos y tecnología*. Edita: Antonio Lecuona Neuman. Disponible en https://www.aegenergia.org/files/respourcesmodule/.../1234272455_eolica_ALecuona.pdf [Consultado el 15.01.2017]
- Quintana Andrés, Pedro C (2001). *Molinos y molinerías en las Canarias orientales durante los siglos XVI-XVIII*. El Pajar, Cuaderno de Etnografía Canaria, nº.10. La Orotava. ISSN: 1136-4467.
- Pogio Capote, M. Lorenzo Tena, A (2015). *Molinos de viento de las islas Canarias. El sistema Ortega y sus derivados (Molina y sistema Romero)*. Revista de Folklore nº 402, pp 31-48. Fundación Joaquín Díaz. ISSN: 0211-1810.
- Suárez Moreno, Francisco. (1994). *Ingenierías históricas de la aldea*. Ediciones el Cabildo Insular de Gran Canaria. ISBN 10: 8481030481.
- Valera Martínez-Santos, Francisco (2010). *Principios físicos y tecnología del molino de viento*. Disponible en <https://www.campondecriptana.info/.../Fisica-y-tecnologia-del-molino-de-viento.pdf>. [Consultado el 17.01.2017].