

LA VERITAT

(www.amics21.com)

Cómo empezar a intentar construir un sencillo generador eólico

por Manuel Franquesa¹

Índice

Introducción.....	1
1. El señor Betz, la energía del viento y la potencia de un aerogenerador	1
2. Velocidad de giro de una eólica	2
3. Un poco de aerodinámica.....	3
4. Construcción de la eólica	4
5. Molino de Creta	12

Introducción

“Piensa globalmente, actúa localmente”

Tarde o temprano, el calentamiento global y la escasez del petróleo nos obligarán a buscar energías más respetuosas con la naturaleza.

Este breve manual te dará una idea de cómo se puede construir un pequeño aerogenerador con materiales sencillos.

¡Pero ojo: como toda máquina que gira, un aerogenerador es un artefacto bastante peligroso!

¡Hay que utilizar piezas MUY ROBUSTAS!

1. El señor Betz, la energía del viento y la potencia de un aerogenerador

La **máxima potencia** que le podemos “sacar” al viento, ya sea con un molino de viento “quijotesco” o un aerogenerador de última generación (en lo siguiente “eólica”), se calcula con la siguiente fórmula aproximada, que tiene en cuenta todas las pérdidas (aerodinámicas, mecánicas y eléctricas) de la máquina:

$$P = 0,15 \cdot D^2 \cdot v^3$$

¹ Autor de “Kleine Windräder : Berechnung u. Konstruktion” - Wiesbaden ; Berlin : Bauverlag, 1989. ISBN 3-7625-2700-8

- ***P*** es la potencia expresada en **vatios [W]**
- ***D*** es el diámetro del rotor en **metros [m]**
- ***v*** es la velocidad del viento en **metros por segundo [m/s]**.

Esta sencilla fórmula es fruto del señor **Betz**, un sabio alemán que en 1926 publicó el primer tratado sobre la teoría aerodinámica aplicada a las turbinas eólicas.

Lo primero que nos dice esta fórmula es que la potencia aumenta con el cubo de la velocidad del viento, o, expresado de otro modo, “a más viento, **mucha** más energía”.

Ejemplo:

¿Qué potencia máxima podría generar una eólica cuyo rotor tiene un diámetro de 6 metros?

Si el viento sopla a 10 m/s (= 36 km/h), la potencia del molino será
 $P = 0,15 \cdot 36 \cdot 10^3 = 5400 \text{ [W]} = \mathbf{5,40 \text{ [kW]}}$ (1 kW = 1000 W)

Pero si sopla a 20 m/s = 72 km/h (¡un viento “peligroso” para una eólica casera!), la potencia será
 $P = 0,15 \cdot 36 \cdot 20^3 = 43200 \text{ [W]} = \mathbf{43,20 \text{ [kW]}}$

Conclusión: a doble velocidad del viento, la eólica desarrollará **8 veces** más potencia.

2. Velocidad de giro de una eólica

La velocidad de giro de una eólica se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$n = (60 \cdot \lambda \cdot v) / (\pi \cdot D)$$

- ***n*** es el **número de revoluciones por minuto [rpm]**
- **λ** se llama velocidad específica. Este factor depende del tipo de eólica (rápida o lenta). Puede tener un valor comprendido entre aprox. 1 y 14. En la eólica que vamos a construir, este factor será de aprox. 4.
- ***v*** es la velocidad del viento en **metros por segundo [m/s]**.
- ***D*** es el diámetro de la eólica en **metros [m]**

Para hacerse una idea:

En un aerogenerador moderno de 20 metros de diámetro (los que se utilizan en los controvertidos parques eólicos), la velocidad específica es del orden de $\lambda = 8$.

Calculemos con esta fórmula su velocidad de giro bajo un viento de 10 m/s (= 36 km/h):

$$n = (60 \cdot 8 \cdot 10) / (\pi \cdot 20) = 76,4 \text{ rpm}$$

No parece mucho, ¡pero las puntas de las palas giran a 288 km/h! Esto produce bastante ruido y es un grave peligro para las aves.

Reglas generales:

- a más diámetro, menor velocidad de giro
- un mayor número de palas no aumenta necesariamente la velocidad de giro, pero sí el rendimiento de la eólica.

3. Un poco de aerodinámica

Las palas de un eólica no son otra cosa que alas de avión girando alrededor de un eje.

Al despegar, el motor empuja el avión hacia delante y las alas comienzan a “cortar” el aire. Al estar perfiladas y ligeramente inclinadas (ángulo de ataque), la circulación del aire alrededor de las alas crea una sobrepresión en la parte inferior de las mismas. Esta presión “empuja” las alas hacia arriba y, por consiguiente, el avión “vuela”.

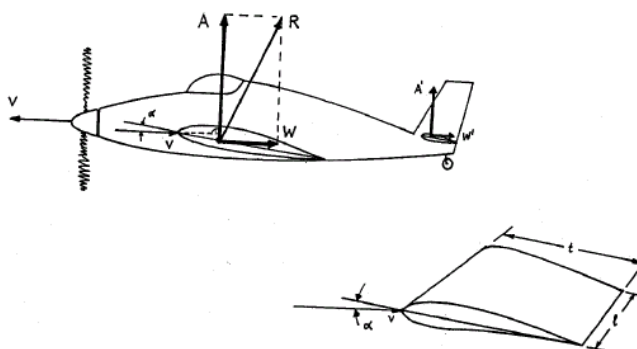


Fig. 3.1 A fuerza de sustentación, W fuerza de resistencia del ala (R resultante)

Como todo invento humano, las alas no son ideales: ofrecen resistencia al aire, a costa del consumo de combustible del avión.

La hélice del avión también tiene unas alas más pequeñas, que giran alrededor del eje del motor, “enroscándose” en el aire como un sacacorchos. En este contexto hay que decir que los aviones a hélice tienen un mejor rendimiento que los aviones a chorro, pero son más lentos. Desde el punto de vista medioambiental, los motores de propulsión a chorro son máquinas prehistóricas. Lo que genera su descomunal potencia no es otra cosa que un chorro de gases de escape mal quemados, cuya composición no se conoce con exactitud, que dejan en nuestra delgada atmósfera² miles de billones de partículas de todos los tamaños altamente nocivas.

² La atmósfera tiene una altura entre 30 y 50 km. Si comparamos esta distancia con los aprox. 12000 km de diámetro que tiene la Tierra, la atmósfera es como una capa de látex de 1,5 mm de espesor aplicada a un balón de fútbol de 30 cm de diámetro.

La sección de un ala moderna tiene un perfil en forma de gota alargada. Esta forma aumenta el empuje y disminuye la resistencia. Las alas largas, estrechas y delgadas tienen un rendimiento mucho más elevado que las cortas, anchas y gruesas. Un buen ejemplo son los albatros, que pueden volar durante días sin apenas mover las alas, o los planeadores en los Alpes suizos, que tienen alas extremadamente largas y estilizadas, gracias a las cuales pueden permanecer en el aire durante horas a pesar de no tener motor.

La ventaja de las eólicas (pequeñas) es que gracias a que el viento es (sigue siendo) gratuito, las palas no necesitan ser tan sofisticadas. ¡Las aspas de los viejos molinos a menudo eran simples tablas inclinadas de madera! El menor rendimiento de las palas más sencillas puede ser compensado aumentando ligeramente el diámetro del rotor.

4. Construcción de la eólica

4.1 Descripción de la máquina

Vamos a construir una eólica de velocidad específica nominal $\lambda_d = 4$ y un rotor de 2 metros de diámetro. Como generador de electricidad utilizaremos un alternador de automóvil con su correspondiente regulador.

Las palas rectangulares y ligeramente curvadas ("flecha" = 5% de la anchura de las palas) las haremos de chapa metálica, preferentemente aluminio. El grosor de la chapa debería ser aprox. un 1,5% de la anchura de las palas (ver más abajo).

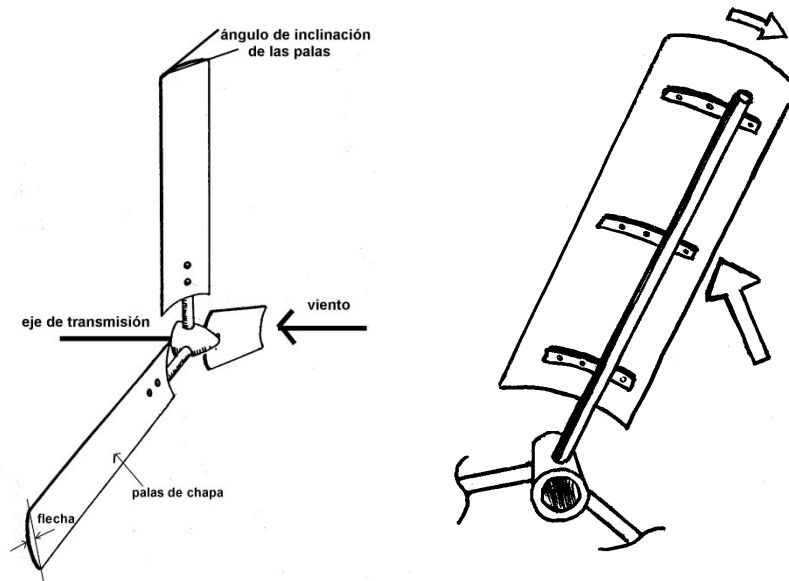


Fig. 4.1

Izquierda: rotor eólico con palas de chapa curvada

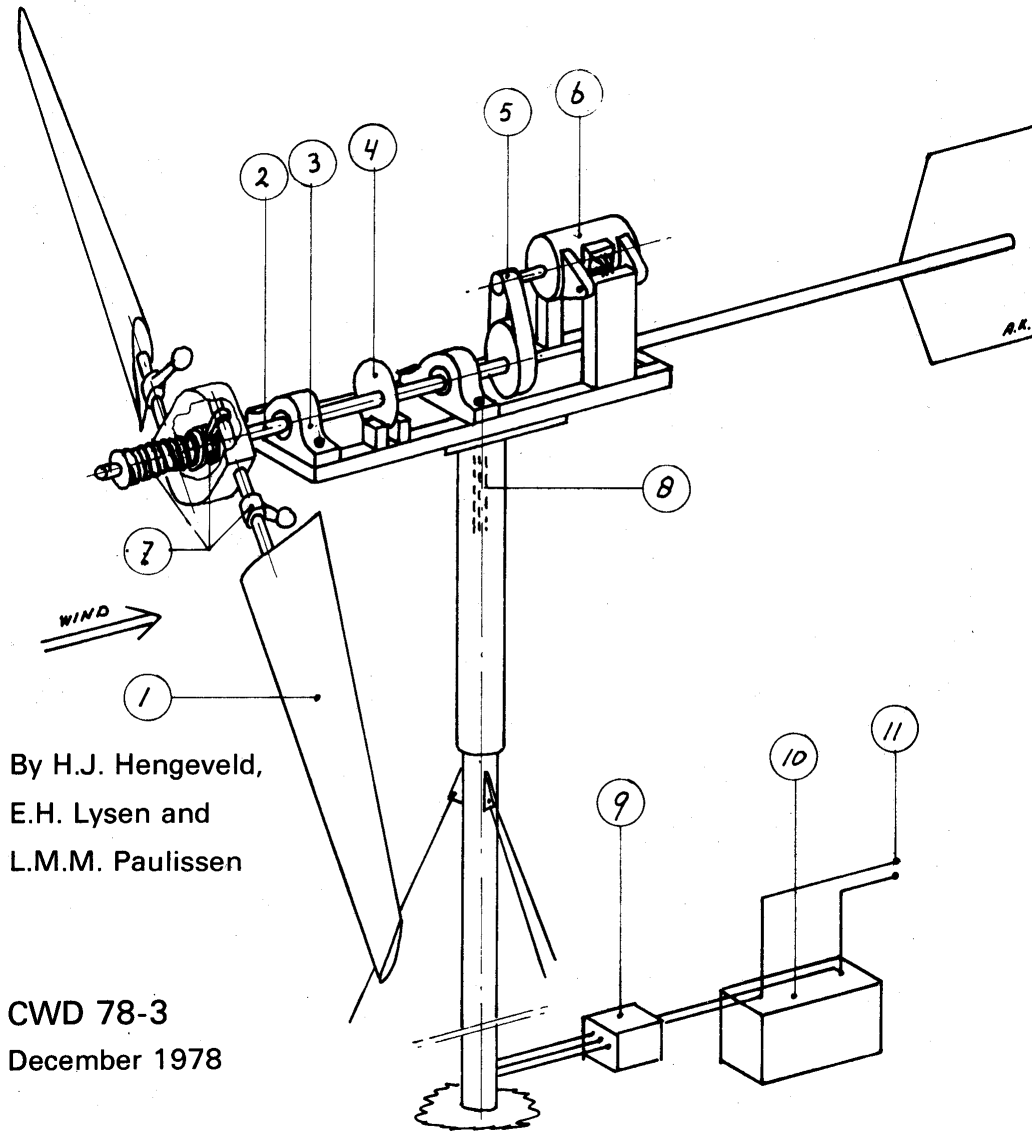
Derecha: una posibilidad de fijar las palas (por razones aerodinámicas es importante que la barra se encuentre en el intradós de las palas (la cara atacada por el viento), de lo contrario su rendimiento aerodinámico será considerablemente inferior.

Lo más difícil será encontrar el “cuerpo” de la eólica, es decir, el cojinete que transmitirá la rotación de las palas al generador (¡en los desguaces hay infinidad de piezas de coche o camión que podrían servir!).

- debe ser sólido
- debe tener un eje, que en un lado tenga un disco o similar para fijar las palas y en el otro extremo la posibilidad de fijar la polea de transmisión para el alternador

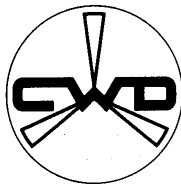
A continuación reproducimos la portada del excelente libro de Hengeveld, Lysen et Paulissen sobre la adaptación de rotores eólicos a generadores eléctricos de baja potencia. El dibujo es sumamente inspirador.

Matching of wind rotors to low power electrical generators



By H.J. Hengeveld,
E.H. Lysen and
L.M.M. Paulissen

CWD 78-3
December 1978



CONSULTANCY SERVICES
WIND ENERGY
DEVELOPING COUNTRIES

P.O. BOX 85
3800 AB AMERSFOORT
THE NETHERLANDS

Fig. 4.2

1 rotor, 2 eje, 3 cojinete, 4 freno de disco, 5 poleas de transmisión, 6 generador eléctrico (por ejemplo alternador de coche), 7 mecanismo centrífugo para modificar el ángulo de calado de las palas (regulación de la velocidad de giro del rotor), 8 cables, 9 regulador, 10 batería, 11 cables hacia el consumidor

4.2 Datos más importantes de la eólica

4.2.1 Anchura, ángulo y flecha de las palas rectangulares curvadas (5%) / grosor mínimo de la chapa

Diámetro del rotor	2 metros				
Número de palas*	2	3	4	5	6
Anchura de las palas	31,4 cm	21 cm	15,7	12,6	10,5
Ángulo de inclinación de las palas**	10°	10°	10°	10°	10°
Flecha de las palas	16 mm	11 mm	8mm	6 mm	5 mm
Grosor mínimo de la chapa	4 mm	3 mm	2 mm	2 mm	2 mm

* Nota: cuántas más palas, mayor será el rendimiento de la eólica

** Ángulo que las palas forman con el plano del rotor (perpendicular a la dirección del viento)

4.2.2 Velocidad óptima de giro y potencia de la eólica en función de la velocidad del viento

Velocidad del viento	8 m/s	10 m/s	12 m/s
Velocidad óptima de giro	305 rpm	380 rpm	460 rpm
Potencia (aprox.)	300 W	600 W	1000 W

4.2.3 Factor de multiplicación entre el rotor eólico y el alternador

Es importante decir aquí **que un alternador de coche no es la mejor elección para un aerogenerador**. Tienen un pésimo rendimiento (probablemente un efecto secundario de los bajos precios del petróleo de antaño): **raramente superará el 50%!** Sin embargo, tienen algunas ventajas: son muy robustos y baratos (chatarreros). Si no necesitamos que nuestro aerogenerador tenga un alto rendimiento, podemos empezar tranquilamente con un alternador de coche.

Un alternador de coche requiere una determinada velocidad de giro para empezar a suministrar corriente (como mínimo 750 rpm). Teniendo en cuenta que el rotor eólico gira mucho más lentamente, tendremos que prever un sistema de transmisión. La solución más simple es fijar al eje del rotor eólico una polea grande (por ejemplo la llanta de una rueda de bicicleta o la polea de transmisión del tambor de una vieja máquina de lavar), que uniremos a la polea del alternador mediante una correa o similar (ver Fig 4.2, Ref. 5).

Curva del alternador tomando como ejemplo el 12V/130A

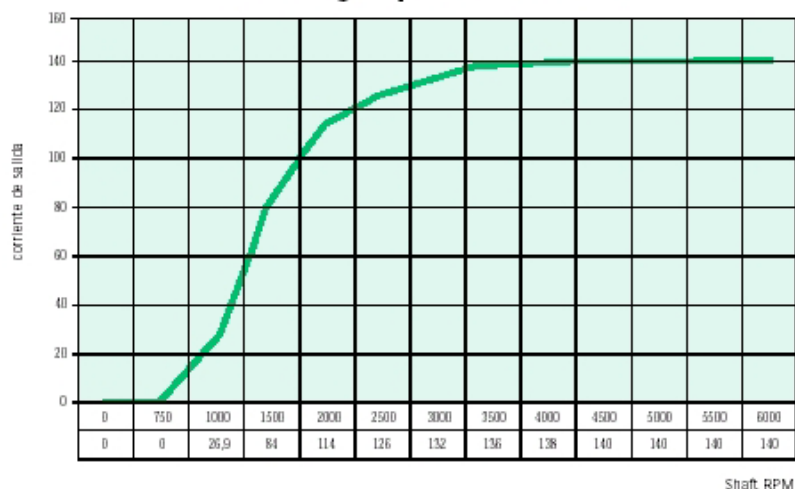


Fig. 4.2.3 Característica corriente / velocidad de giro de un típico alternador de coche

Vemos que este alternador empieza a suministrar corriente a aprox. 750 rpm. A aprox. 1000 rpm, la corriente es de unos 25 amperios.

La siguiente tabla indica el factor de multiplicación en función de la velocidad de giro bajo la cual el alternador que tengamos a mano suministra una corriente de carga aceptable (entre 15 y 30 amperios):

Velocidad de giro del alternador (rpm)	1000	1200	1400	1600
Factor de multiplicación	2,6	3,2	3,7	4,2

Una vez determinados el factor de multiplicación, el diámetro de la rueda de transmisión solidaria al eje del rotor eólico dependerá del diámetro de la polea del alternador y de la velocidad de giro requerida por éste:

Velocidad de giro del alternador 1000 rpm

Diámetro de la polea del alternador	4 cm	6 cm	8 cm
Diámetro aprox. de la rueda de transmisión de la eólica	10 cm	15 cm	20 cm

Velocidad de giro del alternador 1200 rpm

Diámetro de la polea del alternador	4 cm	6 cm	8 cm
Diámetro de la rueda de transmisión de la eólica	12 cm	20 cm	19 cm

Velocidad de giro del alternador 1400 rpm

Diámetro de la polea del alternador	4 cm	6 cm	8 cm
Diámetro de la rueda de transmisión de la eólica	15 cm	22 cm	30 cm

Velocidad de giro del alternador 1600 rpm

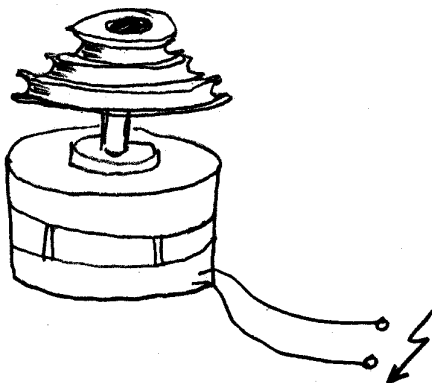
Diámetro de la polea del alternador	4 cm	6 cm	8 cm
Diámetro de la rueda de transmisión de la eólica	17 cm	25 cm	33 cm

Existen poleas de máquinas o motores de todos los tamaños. Quien busca (en los desguaces) encuentra.

Observaciones:

1. Como se desprende de estas tablas, conviene utilizar un alternador con una polea de menor diámetro, de lo contrario la polea grande necesitará tener un diámetro mayor.

De todos modos, el diámetro ideal deberá encontrarse probando. Los motores de las taladradoras de sobremesa tienen una pieza cónica, formada por una "torre" de poleas de diferente diámetro (polea múltiple). Esto permite "encontrar" más rápidamente la velocidad óptima de giro (prever un sistema para poder "subir y bajar" y tensar el alternador cada vez que se prueba otro diámetro).



Alternador con polea triple

Sobre el sistema eléctrico no diremos mucho. **Consultad con un buen mecánico o electricista de coches.** Es importante montar el alternador con su correspondiente **regulador**, que impide que la tensión suba demasiado, limita la corriente de carga y desconecta la batería cuando ésta está llena.

2. Cuanto mayor el factor de multiplicación, tanto menor será el par de arranque del conjunto rotor eólico-generator, es decir, a la eólica le cuesta arrancar, sobre todo si el generador está excitado. Por este motivo es importante prever un sistema de regulación (en algunos casos puede servir el que el generador tenía en el automóvil (→ consultar con el mecánico), que por un lado limita la corriente y por el otro mantiene interrumpida la corriente de excitación hasta que el generador haya alcanzado una determinada velocidad de giro.

4.2.4 La cola o timón de la eólica (veleta)

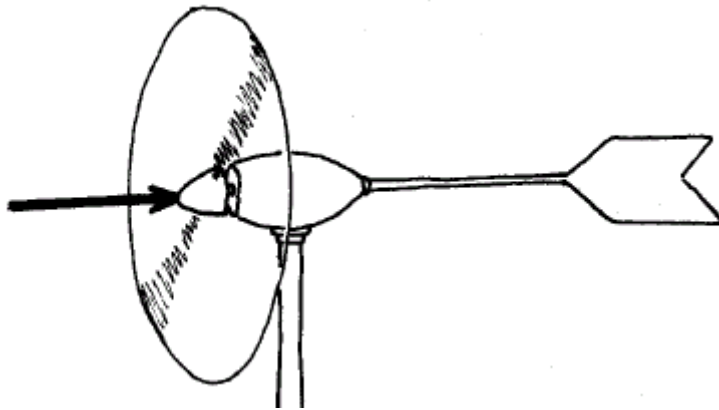


Fig. 4.2.4 El timón de una eólica

El timón sirve para orientar la eólica en la dirección del viento. Es una chapa, cuya forma no tiene demasiada relevancia (excepto la estética) fijada a una barra de una longitud comprendida entre el 60 y el 100% del diámetro de la eólica.

Deberá tener una superficie mínima, que se indica en la siguiente tabla:

Longitud de la barra de la cola*	1,2 m	2 m
Superficie mínima de la chapa de la cola	0,40 m² (por ejemplo chapa rectangular de 80 x 50 cm)	0,25 m² (por ejemplo chapa rectangular de 63 x 40 cm)

*Distancia entre el eje del mástil y el centro de gravedad de la chapa de la cola

4.2.5 Mástil o torre de la eólica

Como mástil de la eólica puede servir cualquier tubo lo sólido o incluso un poste de teléfonos de madera reciclado.

Deberá anclarse debidamente en el suelo (con hormigón) y eventualmente asegurarse con tres cables de acero también anclados en el suelo.

Tened en cuenta que el mástil no sólo debe aguantar el peso de la eólica, sino también el par de giro que genera la fuerza del viento sobre las palas en movimiento. Es como si uno empuja la punta de un palillo clavado en un

corcho: si ejercemos demasiada fuerza, el palillo se partirá por la base o cerca de ella.

4.2.6 Sencillo sistema de seguridad contra los vientos excesivos

Recuerda que la energía del viento –y con ello las fuerzas- crece con el cubo de su velocidad. ¡Una ventolera puede destrozar tu eólica en cuestión de minutos, causando graves daños personales y/o materiales!

Se puede montar un freno de disco (ver Fig. 4.2), sobre cuyo sistema de activación desde el pie del mástil tendrás que hacerte algunos pensamientos.

Existe un método muy “primitivo” para “sacar” la eólica de los vientos excesivos:

Si vives al “pie del cañón”, es decir, si eres un agricultor que **jamás** puede abandonar su casa a causa de los animales, puedes atar dos sogas a la cola de la eólica, que dejarás “colgando” de un modo adecuado cuando la eólica trabaja con normalidad. En cuanto el viento empieza a ponerse bravo, tira de las sogas y “saca” la eólica del río, es decir, ponla en sentido perpendicular a la dirección del viento y ata los cabos de las sogas a sendos anclajes sólidos distanciados entre sí. Pero ten en cuenta que el viento es el protagonista principal de toda tormenta, y que no puedes saber por anticipado la jugada que te tiene preparada.

Pero si no vas a estar siempre al “pie del cañón”, puedes añadir a tu eólica un dispositivo mecánico relativamente sencillo que ofrece cierta seguridad.

Consiste en fijar solidariamente a la “caja” de la eólica un timón transversal, es decir, perpendicular a la dirección del viento. En este caso, el timón o cola principal deberá estar unido a la “caja” a través de una “bisagra” (que tendrás que inventar) y de un muelle (que tendrás que encontrar y probar³). La Fig. 4.2.7 muestra muy esquemáticamente el principio.

Funcionamiento: Cuando el viento sobrepasa una cierta velocidad prudente, el timón transversal es “empujado” hasta que el muelle cede, “sacando” la eólica del viento (las palas dejan de girar o lo hacen lentamente).

³ Prueba con un muelle con una constante de aprox. 20 N/cm (¡sin garantía!)

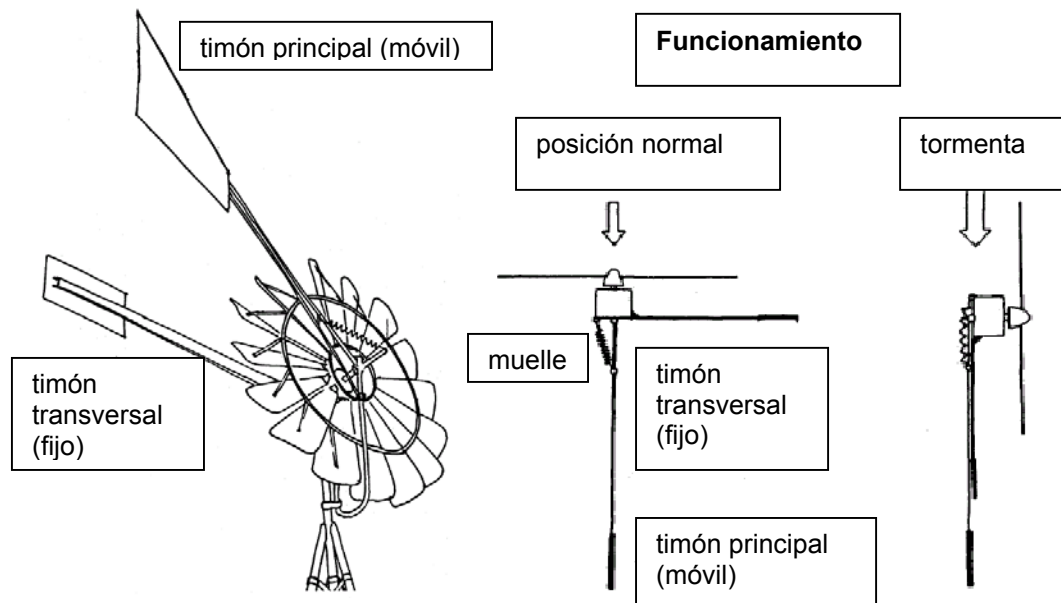


Fig. 4.2.7 Eólica con veleta transversal

5. Molino de Creta

El rotor de estas antiguas eólicas está construido con velas triangulares (Fig. 5.1).

Los "mástiles" de estas velas (= radios del rotor) pueden ser de madera, aunque en la actualidad se podrían utilizar tubos de aluminio.

Cada vela está unida al siguiente radio con una cuerda o cable. También se pueden utilizar muelles para mantenerlas debidamente tensadas. Los muelles también tienen la ventaja de que las velas pueden "ceder" ante la presión del viento, lo cual disminuye la tensión sobre las mismas.

Debido a que las velas ofrecen una considerable resistencia al viento, generalmente estas eólicas tienen el eje del rotor prolongado hacia delante (pasando por el centro del buje), cuyo extremo va unido a los diferentes radios con cables de acero, que impiden que la presión del viento sobre las velas pueda doblar los radios hacia atrás.

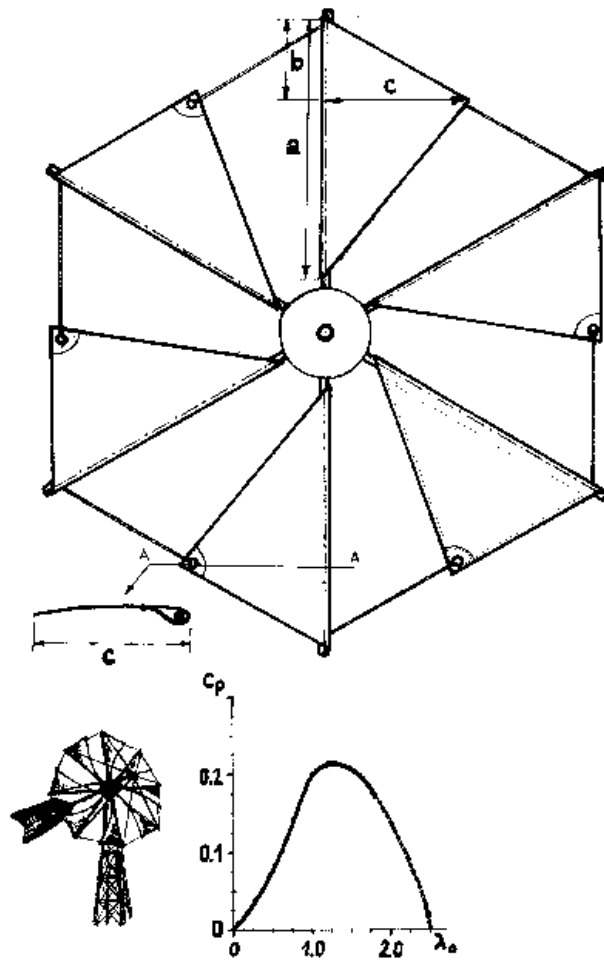


Fig. 5.1
 Molino de Creta de 6 palas ($a = 0,8 \cdot R$; $b = 0,25 \cdot R$; $c = 0,45 \cdot R$)

Estos rotores tienen una velocidad específica nominal $\lambda_d = 1,2 \dots 1,4$, por lo que sus velocidades de giro son bajas. Para propulsar un alternador de coche se precisa un factor de multiplicación importante ($k > 8$ para un rotor de $D = 2$ m (Fig. 5.2).

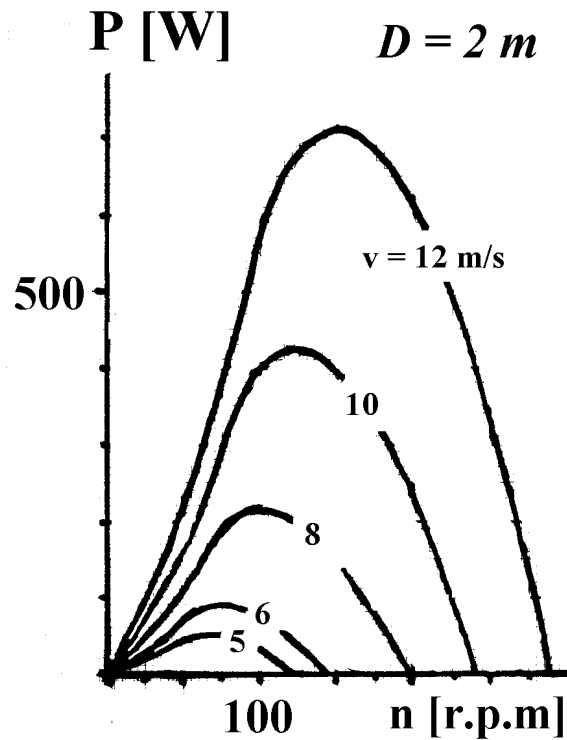


Fig. 5.2

Características P, n, v de un rotor de velas (molino de Creta) de 2 metros de diámetro y 6 palas (ver Fig. 5.1), medidas en un túnel de viento por [Smulders et al.]

Potencia máxima de un generador eólico construido con el rotor representado en la Fig. 5.1 (2 metros de diámetro) y un alternador de coche con un rendimiento de aprox. 50%:

Velocidad del viento	8 m/s	10 m/s	12 m/s
Velocidad óptima de giro (aprox.)	100 rpm	125 rpm	144 rpm
Potencia (aprox.)	100 W	200 W	350 W

Factor de multiplicación aproximado entre el rotor tipo “molino de Creta” de 2 metros de diámetro y el alternador:

Velocidad de giro del alternador (rpm)	1000	1200	1400	1600
Factor de multiplicación	8	10	12	14

Conclusión

Debo admitir que personalmente sólo he construido dos de estos generadores eólicos “caseros”. Lo que he expuesto aquí es la quintaesencia de mis modestas experiencias.

Sin embargo, estoy convencido de que este pequeño “manual” puede ser una valiosa ayuda para el principiante.

En el peor de los casos, es decir, si vuestro generador eólico casero no suministrara suficiente potencia, tendéis que mejorarlo por cuenta propia.

Esto le llevará más rápidamente a la tercera línea de este viejo proverbio chino:

**“Lo que oigo, me olvido;
Lo que veo, me acuerdo;
Lo que hago, entiendo.”**

Os deseo salud, humor y buen viento



Manuel Franquesa Voneschen, Castelldefels, España

Ver también nuestro “manual” para construir un aerogenerador “casero” con las dos mitades de un barril de 200 litros (generador *Savonius*) en www.amics21.com/laveritat/generador_savonius.pdf