

LA VERITAT

(www.amics21.com)

Cómo construir un generador eólico con un barril de petróleo de 200 litros para producir energía sin el contenido del mismo **(generador Savonius)**

dedicado a mi hija Claudia el 19 de agosto de 2008

por Manuel Franquesa¹

Índice

1. Introducción	1
2. Unas palabras sobre la energía eólica en general	2
2.1 El señor Betz, la energía del viento y la potencia de un aerogenerador... 2	
2.2 Velocidad de giro de una eólica.....	3
3. Construcción del generador Savonius	3
3.1 Generalidades	3
3.2 Descripción	4
3.3 Potencia de un generador Savonius.....	5
3.4 Factor de multiplicación	7
3.5 Sistema eléctrico	12
3.6 Conclusión	13

1. Introducción

“Piensa globalmente, actúa localmente”

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

Este breve manual te dará una idea de cómo se puede construir un aerogenerador con uno (o dos) barril(es) de acero de 200 litros, de esos que se utilizan para transportar petróleo.

Esta sencilla máquina se llama “generador Savonius”, en honor a su inventor.

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

Su potencia es bastante modesta, pero es una máquina muy bella, económica y relativamente fácil de construir. Otra gran ventaja es que al tener el eje vertical, la dirección del viento no importa.

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

¡Hay que utilizar piezas **MUY ROBUSTAS** y mantenerse alejado del rotor en movimiento!

2. Unas palabras sobre la energía eólica en general

2.1 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 (mecánicas y aerodinámicas) de la máquina:

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

- **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 salta a la vista 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), la potencia será
 $P = 0,15 \cdot 36 \cdot 20^3 = 43200 \text{ [W]} = \mathbf{43,20 \text{ [kW]}}$

Conclusión: a **dobles** velocidad del viento, obtendremos **8 veces** más energía.

2.2 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]**
- El factor λ se llama velocidad específica del rotor eólico y depende de la anchura y del ángulo de calado de las palas. Puede tener un valor nominal comprendido entre aprox. 1 y 14. En el rotor Savonius que vamos a construir, este factor tiene un valor comprendido entre 0,9 y 1,1.
- **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), este factor 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 alas giran a 288 km/h! Esto produce mucho ruido y es un grave peligro para las aves.

Reglas generales:

- a más diámetro, menor velocidad de giro
- un mayor número de aspas o palas no aumenta necesariamente la velocidad de giro, pero aumenta el rendimiento del rotor eólico.

3. Construcción del generador Savonius

3.1 Generalidades

La siguiente imagen te dará una idea de la construcción y el funcionamiento de un generador Savonius:

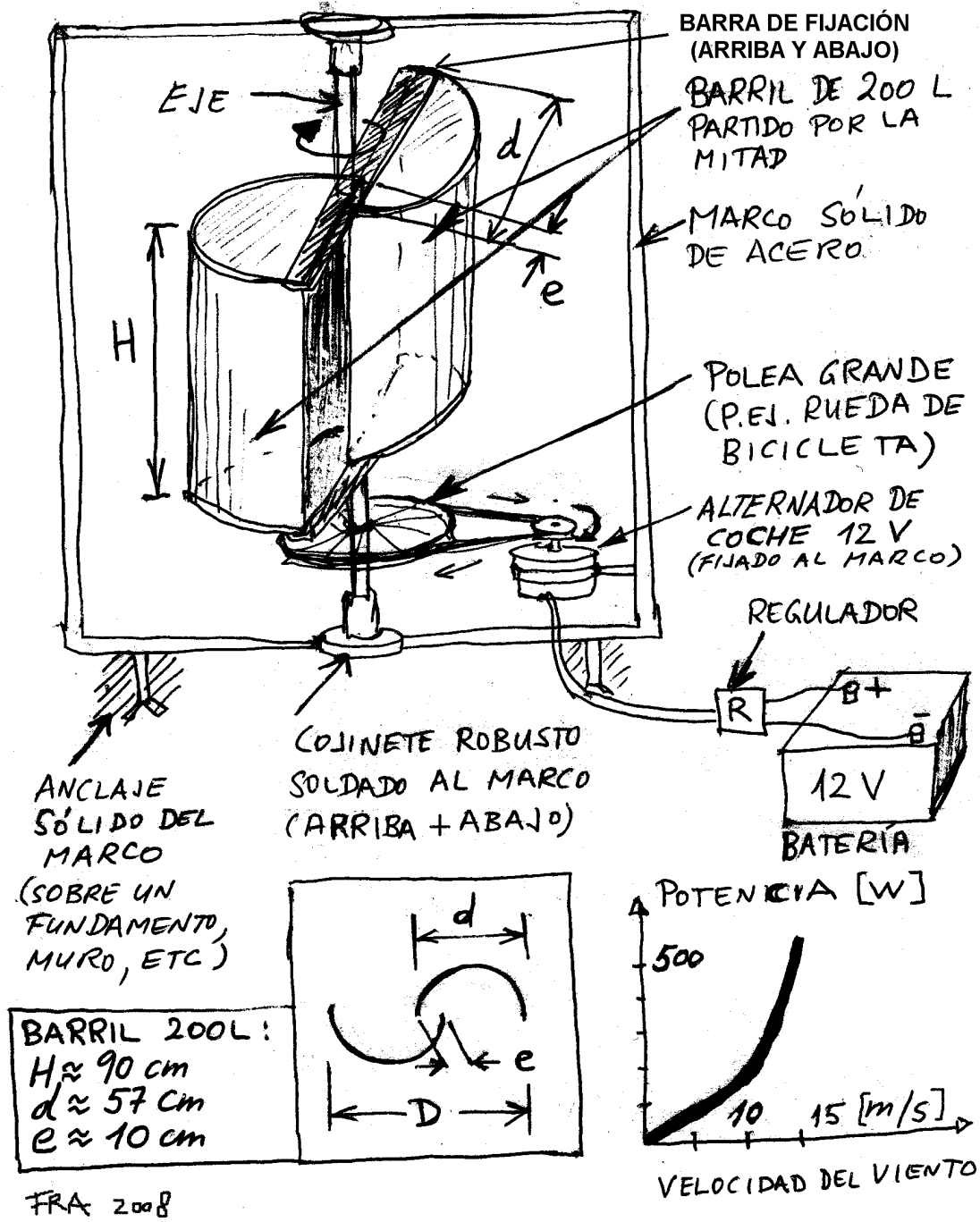


Fig. 3.1 Principio de un aerogenerador Savonius

3.2 Descripción

El rotor consta de las dos mitades de un barril de 200 litros, unidas abajo y arriba por sendas barras de refuerzo, que a su vez irán fijadas al eje. Las dos mitades del barril se pueden fijar a estas barras mediante remaches o tornillos. El eje del rotor se soldará a estas barras. Debido a la gran resistencia que este rotor ofrece al viento, es conveniente utilizar cojinetes en ambos extremos del eje. Estos cojinetes se fijarán a un marco de acero robusto, que deberá tener la suficiente anchura para dar cabida al rotor, a la polea de transmisión y el

alternador o dinamo (generador eléctrico). El marco deberá anclarse sólidamente a una base lo más elevada posible (columnas, torreta), en un lugar donde el viento pueda circular libremente (a cierta distancia de la casa o de otros obstáculos (muros, árboles etc.). Los pequeños montículos o elevaciones del terreno siempre ofrecen mejores condiciones para el viento. No es conveniente montar el rotor Savonius sobre un muro, ya que éste disturbará la libre circulación del viento.

Las dos mitades del barril deberán fijarse a las mencionadas barras dejando una ranura o espacio entre ellas (distancia e en el dibujo). Para un barril estándar (altura $H = 90 \text{ cm}$, diámetro $d = 57 \text{ cm}$, aproximadamente), la ranura deberá tener una anchura de $e = 10 \text{ cm}$. (para otros rotores Savonius $e_{\text{opt}} = d/6$)

(Esta ranura es bastante importante, ya que a través de ella puede pasar el aire, aumentando así el rendimiento de rotor).

Nota: Buscar también imágenes de “generador Savonius” en Internet. Hay muchas que os darán una idea de cómo construir el vuestro. Ejemplo:

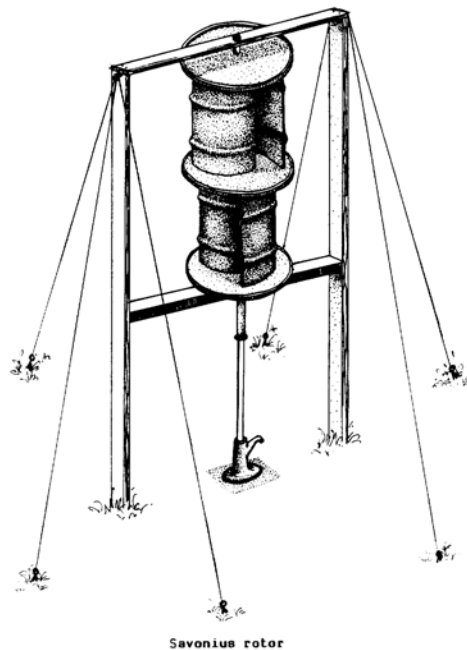


Fig. 3.2 Generador Savonius con dos “barriles” superpuestos = doble potencia

3.3 Potencia de un generador Savonius

Según mediciones realizadas en un túnel de viento², la potencia máxima que un rotor Savonius construido con un barril puede desarrollar es:

² Le Gourières, D.: Énergie Eolienne. Théorie, conception et calcul pratique des installations. Paris, Editions Eyrolles, 1980

$$P_{max} = 0,18 \cdot H \cdot D \cdot v^3 \text{ [W]}$$

Sin embargo, teniendo en cuenta todos los rendimientos del conjunto (rotor (50%, sistema de transmisión (90%), alternador de coche (50%)), la potencia máxima de un aerogenerador construido con **1 barril** será de aproximadamente ($H \cdot D = 0,94 \text{ m}^2$):

$$P_{max} = 0,08 \cdot v^3 \text{ [W]}$$

Nota: para obtener la potencia en **watios [W]**, la velocidad del viento **v** deberá introducirse en metros por segundo [**m/s**] y la altura **H** y el diámetro **D** en metros [**m**].

De modo que para un viento de 10 m/s (= 36 km/h), nuestro generador Savonius (**1 barril**) desarrollará una potencia máxima $P_{max} = 80 \text{ W}$.

Si viviéramos en un lugar con un viento constante³, que soplara durante las 24 horas del día a una velocidad media de 10 m/s, la energía diaria que podríamos acumular en baterías de coche de 12 voltios sería:

$$E = 80 \text{ W} \cdot 24 \text{ horas} = 1920 \text{ Wh} = 1,92 \text{ kWh}$$

lo que equivale a cargar las baterías con aprox. 190 Ah (amperios-hora).

En los *modern times* que nos han tocado (sobre)vivir, esto parece poco (un aparato de aire acondicionado consume esta energía en poco más de una hora), pero como por narices tendremos que ir a menos, con 2 kWh se puede iluminar modestamente una casa y hacer funcionar algunos aparatos pequeños (radio, TV) durante un tiempo aceptable...

Si además tenemos montados unos paneles solares sobre el tejado, esta energía puede incrementarse bastante.

La siguiente tabla muestra la potencia y la velocidad de giro aproximadas que nuestro generador Savonius tendrá en función de la velocidad del viento:

Velocidad del viento [m/s]	Potencia máxima [W]		Velocidad de giro óptima [rpm] ⁴
	1 barril	2 barriles	
5 (= 18 km/h)	10	20	75
7 (= 25,2 km/h)	27	54	105
10 (= 36 km/h)	80	160	150
12 (= 43,2 km/h)	138	276	180
14 (= 50,4 km/h)	220	440	210
16 (= 57,6 km/h)	327	654	240
20 (= 72 km/h)	640	1280	300

Tabla 3.3.-1 Potencia máxima de un aerogenerador Savonius construido con 1 o 2 barriles de 200 litros en función de la velocidad del viento

En realidad, para vientos por encima de los 12 m/s, estas velocidades de giro serán algo inferiores, siempre y cuando las baterías se están cargando (sin carga, el rotor se embala)⁵.

³ Esto puede ocurrir a orillas del mar o en determinadas zonas montañosas (valles, mesetas etc.)

⁴ Revoluciones por minuto

La siguiente figura muestra las curvas características de un rotor Savonius en función de su velocidad de giro para cuatro velocidades del viento (8, 10, 12 y 14 m/s). Las curvas superiores corresponden a la potencia y las inferiores al par de giro desarrollados por el rotor.

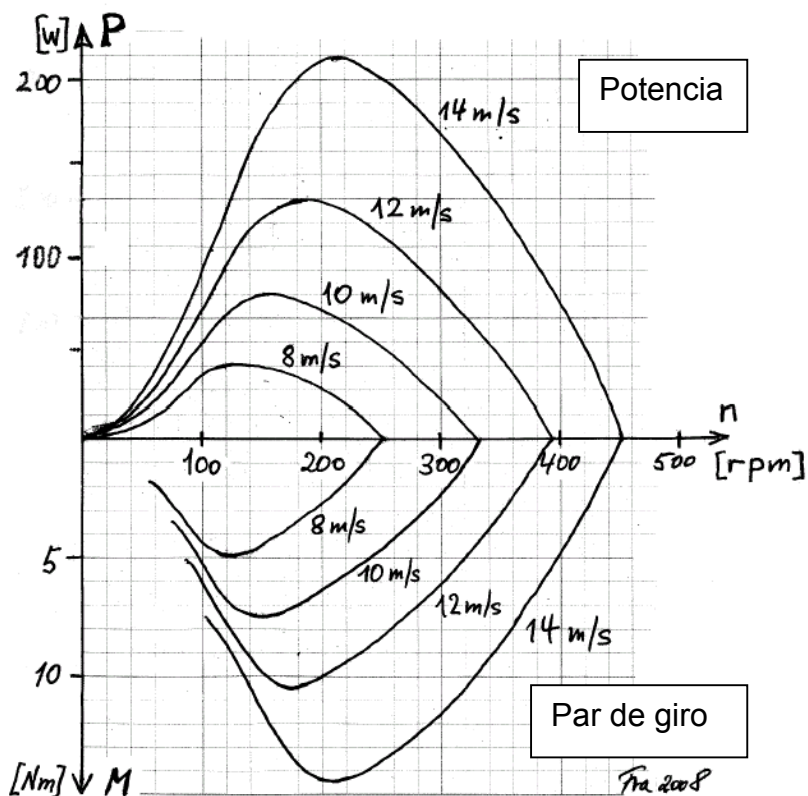


Fig. 3.3 Curvas características de un rotor Savonius (un barril de 200 litros, Fig. 3.1)

3.4 Factor de multiplicación

Antes de empezar, decir que un **alternador de coche no es la mejor elección para un aerogenerador**. El rendimiento de estas máquinas es pésimo (fruto del bajo precio del petróleo de antaño): **no suele pasar del 50%**. Sin embargo, la ventaja es que son robustos, baratos y fáciles de conseguir. Si no necesitamos urgentemente un mayor rendimiento de nuestro aerogenerador, podemos empezar con un alternador de coche.

Para que un alternador de coche empiece a suministrar amperios, su velocidad de giro debe ser bastante elevada (mínimo aprox. 750 rpm). Como hemos

⁵ Para nuestros lectores técnicamente más avanzados: bajo grandes vientos, las baterías se pueden cargar en un tiempo relativamente corto. Una vez llenas, el regulador del alternador las desconecta automáticamente, de modo que el rotor –al no tener trabajo– se puede embalar peligrosamente (¡vibraciones!). Hay quien “quema” la corriente sobrante en una resistencia para “frenar” el rotor. Recuerde que un generador Savonius no se puede “sacar” del viento, y aunque se pueda bloquear con un “freno” mecánico, siempre ofrecerá al viento una superficie relativamente grande,

visto más arriba, el rotor gira a bastante menos velocidad, de modo que tendremos que multiplicarla. El método más simple y económico es utilizar dos poleas de diferente diámetro y una correa de transmisión (ver dibujo). El alternador de coche ya lleva su correspondiente polea, cuyo diámetro generalmente oscila entre 4 y 8 cm.

A continuación, la característica corriente versus velocidad de giro de un alternador de coche:

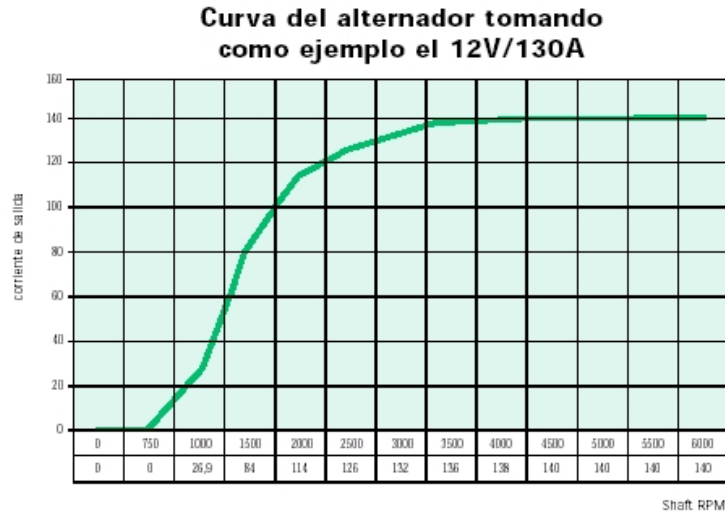


Fig. 3.4-0 Característica corriente-velocidad de un alternador de coche

Vemos que el alternador empieza a suministrar corriente a aprox. 750 rpm. A unos 1000 rpm, la corriente es de aprox. 27 amperios.

Si la tensión de carga es de 14 voltios, la potencia suministrada por el alternador a 1000 rpm será aproximadamente $14 \text{ V} \cdot 27 \text{ A} = 378 \text{ W}$:

De modo que entre 750 y 1000 rpm, la corriente aumenta de modo prácticamente lineal. A continuación, la curva de potencia del alternador contemplado:

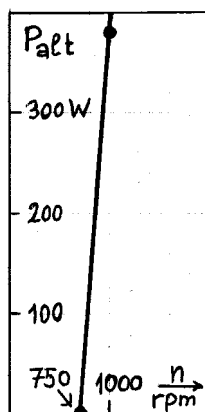


Fig. 3.4-1 Curva de potencia del alternador

Traslademos ahora esta curva al campo de características del rotor Savonius (Fig. 3.3), respetando su inclinación:

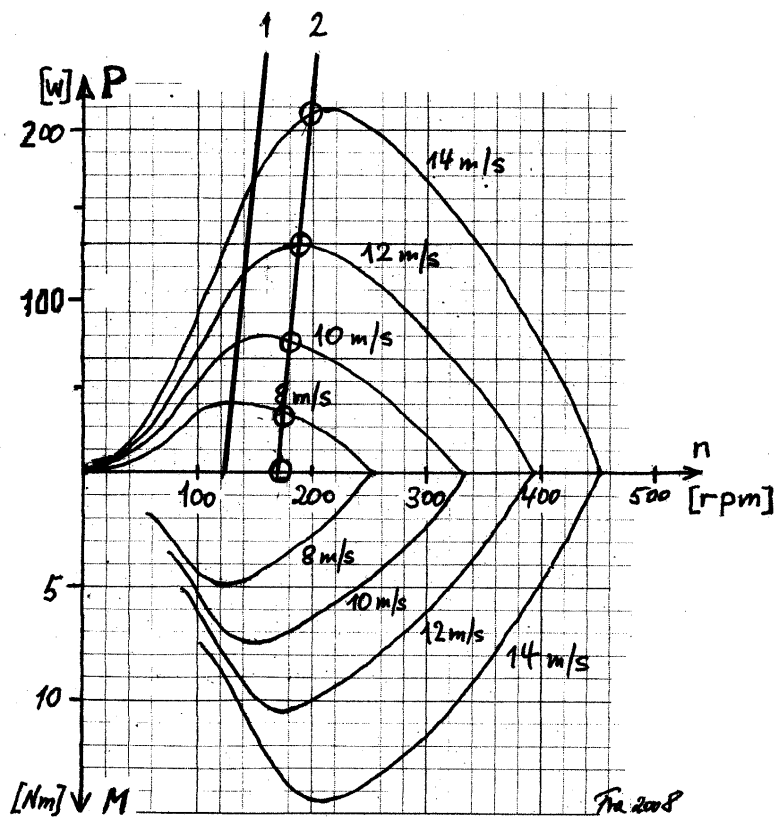


Fig. 3.4-2 La curva de potencia del alternador trasladada al campo de curvas del rotor Savonius construido con **un barril** de 200 litros

Posicionaremos la curva del alternador de tal modo, que corte las curvas del rotor Savonius lo más cerca posible de sus respectivos máximos:

En la posibilidad “1” de la Fig. 3.4-2, la curva del alternador corta la curva del rotor correspondiente a un viento de 8 m/s en su punto máximo, pero para las demás velocidades del viento se aleja considerablemente de los respectivos máximos.

La posibilidad “2” es mejor, puesto que pasa cerca de los máximos de todas las curvas del rotor correspondientes a los vientos más frecuentes (entre 8 y 14 m/s).

Para determinar el factor de multiplicación correspondiente haremos lo siguiente: la recta “2” corta el eje horizontal aproximadamente en el punto 170 rpm, que equivale a las 750 rpm del alternador. Por lo tanto, el factor de multiplicación será:

$$k = 750 : 170 = 4,4$$

En la Fig. 3.3 vemos que bajo un viento de 14 m/s el rotor Savonius desarrolla una potencia máxima de aprox. 210 W, lo que equivale a una corriente aproximada del alternador de $210 \text{ W} : 14 \text{ V} = 15$ amperios.

Para calcular el factor de multiplicación de cualquier alternador, necesitaremos conocer dos puntos de trabajo de su característica de corriente:

- n_0 = velocidad de giro bajo la cual empieza a suministrar corriente y, por ejemplo
- n_{15} = velocidad de giro bajo la cual suministra aprox. 15 amperios.

Con estos dos puntos de trabajo podremos dibujar la característica de la corriente del alternador (una recta) y –multiplicándola por la tensión de carga (14 voltios)- la característica de potencia del alternador, tal como hemos hecho en la Fig. 3.4-1.

Si sólo conocemos el valor n_0 , podemos hacer un primer intento con el siguiente factor de multiplicación:

$$k = n_0 : 170$$

Para $n_0 = 1000$ rpm, el factor de multiplicación sería aproximadamente $k = 1000 : 170 = 5,9$

Para calcular el diámetro de la polea fijada al eje del rotor Savonius (polea grande, Fig. 3.1), tendremos que multiplicar el diámetro de la polea del alternador por el factor de multiplicación k estimado:

$$\text{diámetro de la polea grande} = k \cdot \text{diámetro de la polea del alternador}$$

Velocidad de giro bajo la cual el alternador empieza a suministrar corriente (n_0)	Diámetro aprox. de la polea grande		
	Diámetro de la polea del alternador 4 cm	Diámetro de la polea del alternador 6 cm	Diámetro de la polea del alternador 8 cm
800 rpm (factor de multiplicación = 4,7)	19	28	38
1000 rpm (factor de multiplicación = 5,9)	24	35	47
1200 rpm (factor de multiplicación = 7)	28	42	56
1400 rpm (factor de multiplicación = 8,2)	33	49	65

Tabla 3.4-1 Determinación del diámetro aprox. de la polea de transmisión del rotor Savonius (polea grande, Fig. 3.1)

Observaciones: 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, Fig. 3.4-3). Esto permite adaptar rápidamente la velocidad de giro óptima (prever un sistema para poder subir, bajar y tensar el alternador cada vez que se prueba otro diámetro.

Como vemos en la tabla, es conveniente elegir un alternador con una polea de menor diámetro, de lo contrario la polea del rotor Savonius deberá tener un diámetro bastante grande.

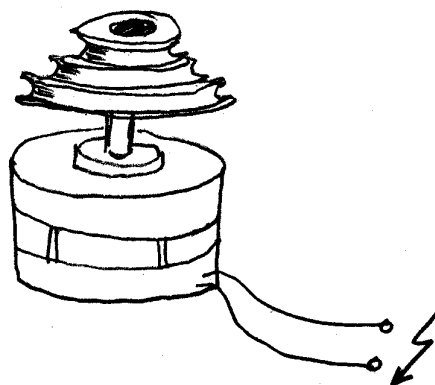


Fig. 3.4-3 Alternador con polea triple

Los puntos de intersección de la curva “2” (Fig. 3.4-2) con las curvas del rotor Savonius nos permiten calcular la característica corriente versus velocidad del viento del aerogenerador Savonius:

Velocidad del viento	Potencia aprox. desarrollada por el rotor Savonius	Corriente aprox. suministrada por el alternador (a 14 V)
8 m/s	40 W	2,5 A
10 m/s	75 W	5 A
12 m/s	125 W	9 A
14 m/s	200 W	14 A

Tabla 3.4-2 Corriente suministrada por un aerogenerador Savonius construido con **un barril** de 200 litros (ver Fig. 3.1) y el alternador con la característica representada en la Fig. 3.4-0 en función de la velocidad del viento

Si utilizamos **dos** rotores Savonius “superpuestos” (Fig. 3.2), la potencia y el par de giro del conjunta se duplicarán, es decir:

Velocidad del viento	Potencia aprox. desarrollada por los 2 rotores Savonius superpuestos	Corriente aprox. suministrada por el alternador (a 14 V)
8 m/s	80 W	5 A
10 m/s	150 W	10 A
12 m/s	250 W	18 A
14 m/s	400 W	28 A

Tabla 3.4-3 Corriente suministrada por un aerogenerador Savonius construido con **dos barriles** de 200 litros (ver Fig. 3.2) y el alternador con la característica representada en la Fig. 3.4-0 en función de la velocidad del viento

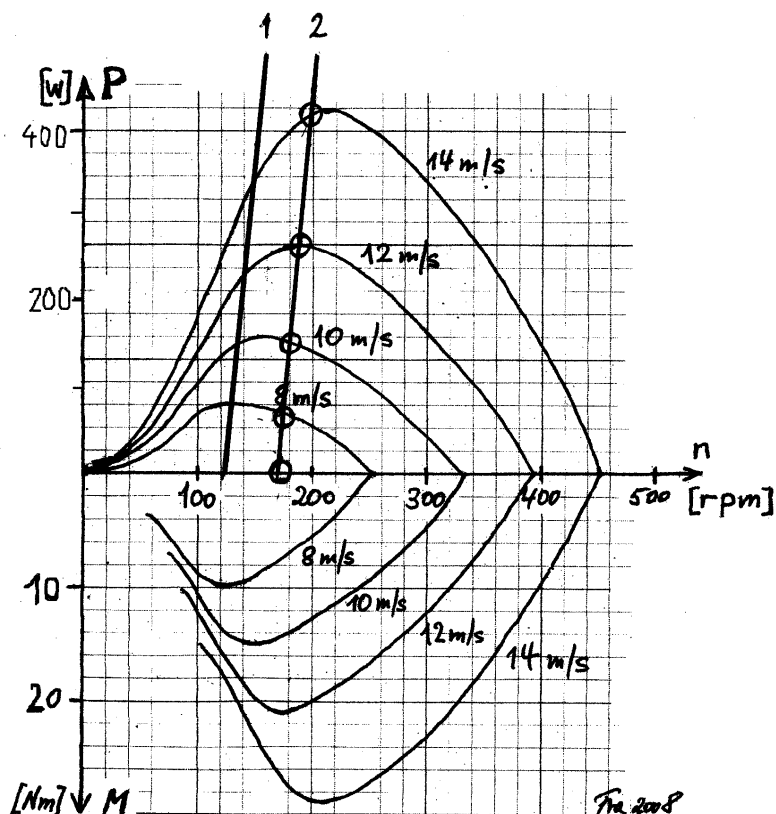


Fig. 3.4-4 Curvas características de un rotor Savonius construido con dos barriles de 200 litros superpuestos (ver Fig. 3.2)

3.5 Sistema eléctrico

Sobre el sistema eléctrico no diremos mucho. **Consultad con un buen mecánico o electricista de coches.** Es importante saber si el **regulador** que el alternador lleva incorporado (un dispositivo electrónico que impide que la tensión suba demasiado, limita la corriente de carga y desconecta la batería cuando está llena) puede servir para cargar la batería del aerogenerador Savonius.

Conviene utilizar el alternador de un coche pequeño (¿de motocicleta?), ya que con un solo rotor Savonius raramente obtendremos más de 10 amperios (20 amperios con un rotor de 2 barriles).

Nota importante

¡Tened también en cuenta que si el aerogenerador Savonius está muy lejos de la casa, para transportar la corriente a 12 voltios os harán falta unos cables con una sección tremenda, lo cual al precio que está el cobre no es nada reconfortante!

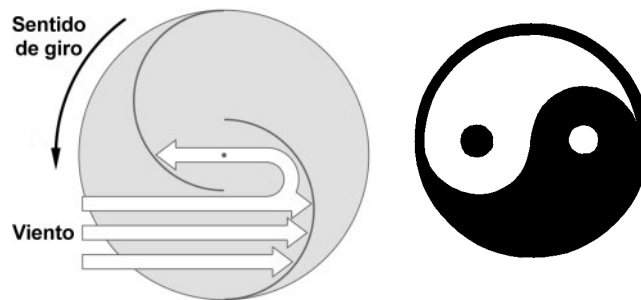
3.6 Conclusión

Debo confesar que personalmente nunca he construido un generador Savonius. Lo que os hemos presentado aquí es puramente teórico.

Sin embargo, estoy convencido de que al menos con respecto al factor de multiplicación he dado en la diana. En el peor de los casos, es decir, si vuestro Savonius construido con un barril no suministrara suficiente corriente, siempre podéis añadirle otro (Fig. 3.2). De este modo, llegaréis más rápidamente a la tercera línea del viejo proverbio chino, que reza así:

***“Lo que oigo (leo), me olvido,
lo que veo, me acuerdo,
lo que hago, entiendo”***

¡Os deseo mucha salud, mucho humor y suficiente viento!



Este humilde manual también está disponible en alemán:

http://www.amics21.com/laveritat/savonius_generator_deutsch.pdf

en inglés:

http://www.amics21.com/laveritat/savonius_generator_english.pdf

y en francés:

http://www.amics21.com/laveritat/aerogenerateur_savonius_francais.pdf

Ver también nuestro “manual” para construir un aerogenerador de eje horizontal con palas de chapa curvada en

http://www.amics21.com/laveritat/manual_generador_eolico.pdf