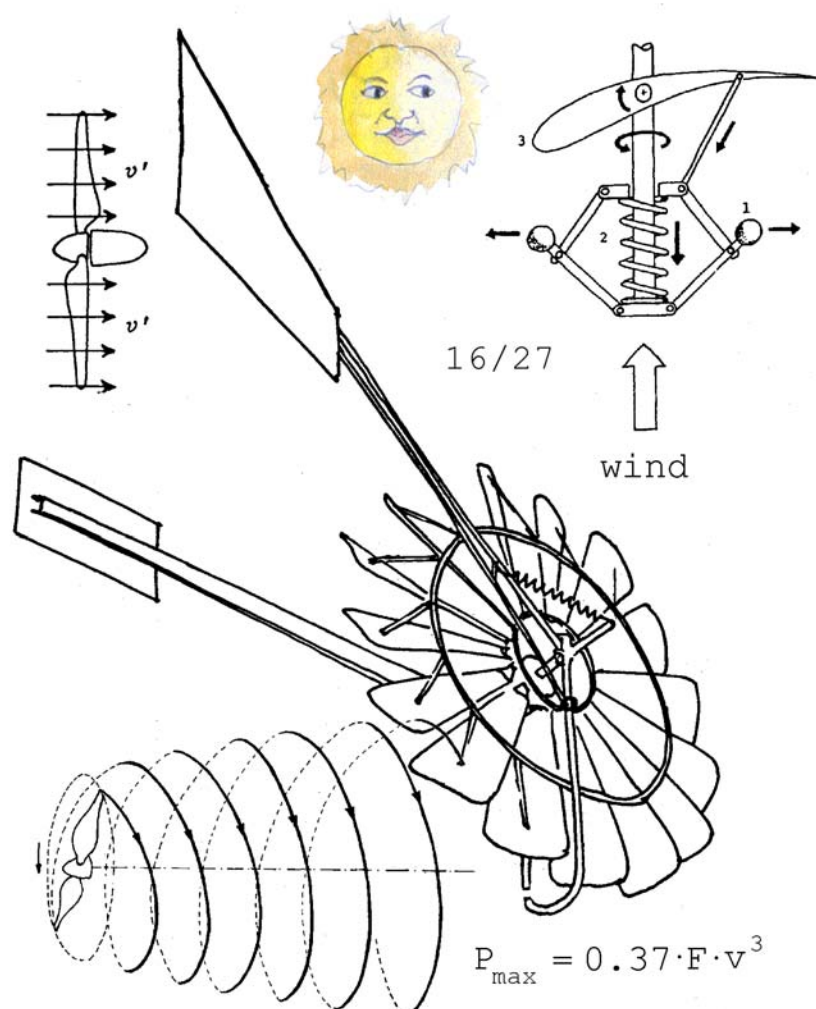


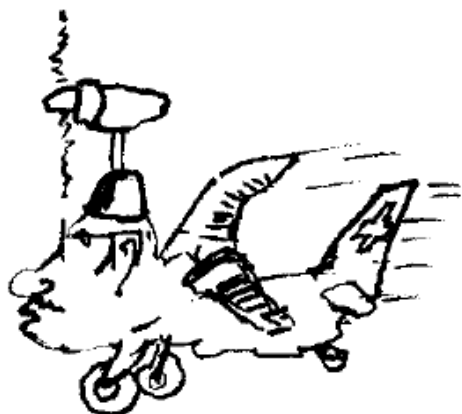
# Nociones de energía eólica para alumnos y profesores novatos en la materia

por Manuel Franquesa Voneschen



## Índice

A modo de prólogo .....	3
Unas palabras sobre la diferencia entre potencia y energía.....	5
¿Cuánta energía podemos sacarle al viento? .....	6
¿A cuántas revoluciones por minuto gira la hélice de una eólica? .....	10
Distinción entre eólicas lentas y rápidas .....	12
¿Cuánta energía al año puede producir una eólica?.....	13
Conclusiones.....	14
Links .....	14



El autor visto por Fra Noël

### Importante nota preliminar

Quisiera dejar bien claro que a pesar de la pasión que siento por la energía del viento, por muchas razones no soy partidario de construir enormes parques eólicos.

A continuación voy a exponer una de ellas:

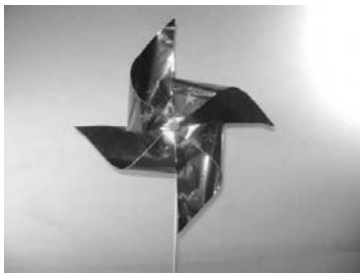
Un automóvil moderno tiene una potencia nominal media de 100 kW. Según el “padre” de la termodinámica - Sadi Carnot (1796 – 1832) - en un motor de combustión más de 2/3 de la energía contenida en el combustible se pierden en calor, de modo que la cantidad de gasolina que necesita el motor teóricamente podría producir una potencia de 300 kW o más. Una eólica con la una potencia nominal de 100 kW requiere un diámetro de más de 25 metros, potencia que además sólo suministrará durante relativamente pocas horas al año (dependiendo de su ubicación), porque el viento sopla como sopla. De modo que para "ahorrar" la energía fósil que consumen mil coches de 100 kW de potencia circulando a todas horas, se requieren muchísimas eólicas de esta envergadura. Y si a esto le sumamos la energía que se requiere para construir las, muy pronto llegaremos al cuento de la lechera.

Este humilde manual está siempre disponible (mientras viva Internet y/o el mundo) en:  
[www.amics21.com/laveritat/nociones\\_de\\_energia\\_eolica.pdf](http://www.amics21.com/laveritat/nociones_de_energia_eolica.pdf)

## A modo de prólogo

Hoy en día, a los molinos de viento los llamamos “eólicas”, porque ya no “muelen” trigo, sino que producen electricidad o bombean agua de una balsa o pozo, por ejemplo para regar campos de cultivo.

Aunque no lo parezca, todo el mundo ha jugado alguna vez con una eólica cuando era niño. Estos juguetes, que se vendían en parques y ferias, se llaman molinetes. ¿Os acordáis?



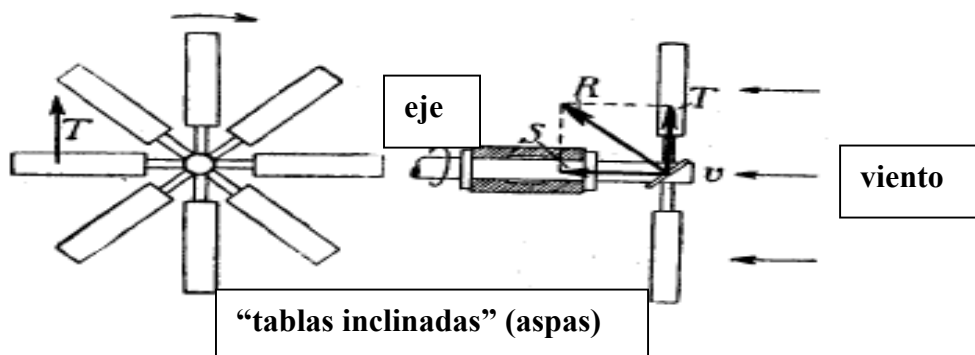
Cuando no había viento el molinete no se movía, pero si nos poníamos a correr sus aspas empezaban a girar. Es cómo cuando vas en moto: aunque no haya viento, “sientes” el viento en la cara. Porque en el fondo es lo mismo que tú estés parado y el viento sople en tu cara o que no haya viento pero tú te muevas “cortando” el aire quieto.

### ¿Qué es lo que hace mover las aspas de un molino de viento?

Cuando pones una tabla de madera de cara al viento, notarás que la tabla ejerce una fuerza hacia ti. Si la tabla es lo suficientemente grande y el viento lo suficientemente fuerte, esta fuerza será capaz de tumbarte. Y si inclinas la tabla hacia un lado, notarás que se quiere “escapar” hacia el lado opuesto. Porque ahora hay dos fuerzas en escena: una que te empuja hacia atrás y otra que empuja tus brazos hacia un lado.

Las eólicas con hélice **siempre** tienen las aspas inclinadas con respecto a la dirección del viento. Como tienen varias “tablas” inclinadas (aspas) unidas mediante barras a un cojinete común, no hay nada ni nadie que les impida moverse hacia un lado y, por lo tanto, empiezan a girar alrededor de dicho cojinete. Como en un tiovivo.

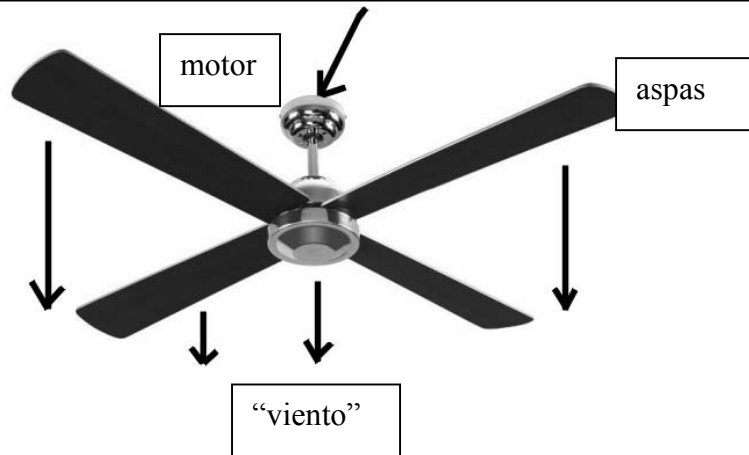
En el siguiente dibujo podéis ver la fuerza “T” que actúa sobre las aspas y las obliga a girar alrededor del eje de la eólica. La fuerza “S” es la que empuja las aspas hacia atrás.



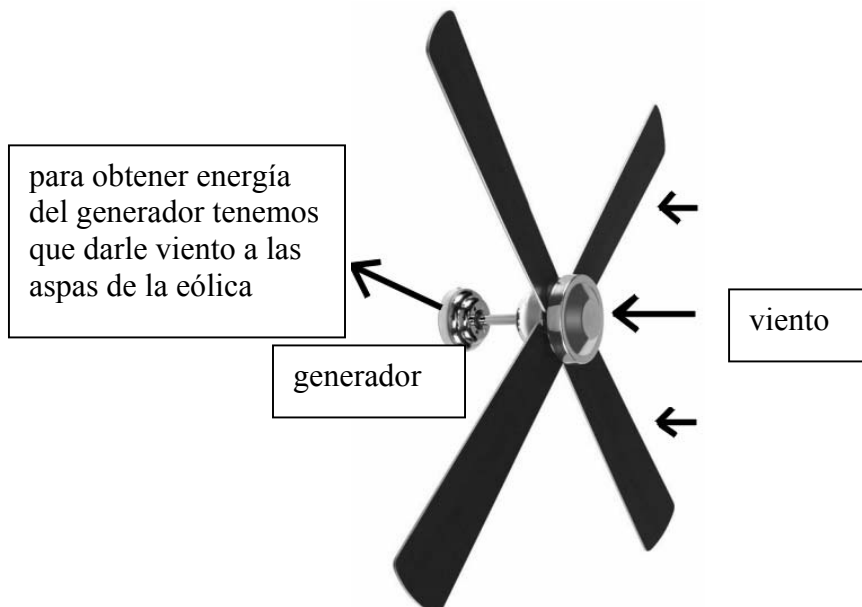
Por cierto, un ventilador que nos refresca con aire cuando hace calor también es una eólica, pero “al revés”. En lugar generar electricidad con energía del viento, el ventilador genera viento con energía eléctrica. Si lo enchufamos a la corriente, el motor hará girar las aspas y éstas producirán la corriente de aire que sentiremos en la cara. Si girásemos el ventilador 90 grados, en principio lo podríamos utilizar para generar energía.

Ventilador de techo → genera “viento”:

para obtener “viento” de las aspas, tenemos que darle energía al motor del ventilador



Si giramos el ventilador 90° y lo ponemos de cara al viento → produce energía:



Desgraciadamente, en la vida real esto no es tan fácil, porque los motores eléctricos que funcionan con corriente alterna generalmente no sirven como generadores. Sólo los de corriente continua (dinamos) pueden utilizarse indiscriminadamente como motor o generador.

## Unas palabras sobre la diferencia entre potencia y energía

Un poco más abajo os presentaré una fórmula matemática con la que podréis calcular aproximadamente la potencia de una eólica conociendo el diámetro de su hélice y la velocidad del viento.

Esta fórmula es hija del sabio alemán Albert Betz, que en 1926 publicó el primer libro de la historia sobre la teoría de las eólicas. Incluso en la actualidad se le sigue considerando “el padre de la energía eólica”.

### Nota:

Si queréis leer la obra de Albert Betz traducida a castellano, ahí os dejo un link:

[www.amics21.com/laveritat/betz\\_energia\\_eolica.pdf](http://www.amics21.com/laveritat/betz_energia_eolica.pdf)

Y si queréis ver una copia de la bella obra original de Albert Betz en alemán:

[http://www.amics21.com/laveritat/albert\\_betz\\_wind\\_energie.pdf](http://www.amics21.com/laveritat/albert_betz_wind_energie.pdf)

Pero antes de proseguir, dediquemos unos minutos a los conceptos de “**potencia**” y “**energía**”.

La **potencia** de una máquina, aparato, moto, coche, estufa, bombilla, etc. nos indica la energía que este objeto en potencia (de ahí su nombre) sería capaz de suministrarnos **si estuviera enchufado o en marcha**. Su unidad es el **vatio**, que se abrevia como “**W**”, en honor al físico británico James **Watt** (1736 – 1819).

Si por ejemplo compramos una bombilla de 60 W (vatios) en la tienda de un chino, obviamente la bombilla no nos suministrará ninguna energía mientras esté en una estantería de la tienda o en un cajón de casa. Pero si la enchufamos a la corriente, esa bombilla producirá energía en forma de luz y, sobre todo, de calor (¡ojo que quema!, nos decían cuando éramos pequeños). Lo mismo ocurre con un coche: el propietario puede alardear de que su todoterreno tiene una potencia de 250 kilovatios, pero si no tiene dinero para repostar gasolina, su carroza no se moverá del sitio ni a palos.

La **energía** es lo que la máquina, aparato, moto, coche, bombilla etc. nos regala de modo palpable (movimiento de un vehículo, calor de una estufa, aire de un ventilador) **cuando está enchufado o en marcha**. Instintivamente ya podemos sentir que cuánto más tiempo el objeto en cuestión esté enchufado o en marcha, más energía nos suministrará, generalmente a cambio de dinero (por ejemplo: hay que pasar por la gasolinera y a continuación por caja para repostar *potencia* en forma de gasolina, o pagarle a la compañía eléctrica la energía que consumimos en casa).

De ahí se desprende una fórmula tan sencilla como importante, que dice: **la energía (E) es igual a la potencia (P) del objeto en cuestión multiplicada por el tiempo (t) durante el cual dicho objeto está enchufado o en marcha**.

$$E = P \cdot t$$

La unidad de la energía eléctrica (que hay que pagar) es el **kWh (kilovatio-hora)**.

Por este motivo, cuando nos llega la factura de la luz, el importe a pagar es por los kWh (kilovatios-hora) consumidos en la casa, es decir, por la potencia de todos los aparatos

del hogar que **han estado enchufados durante t horas**, incluyendo el ordenador que nunca apagamos.

**Ejemplo:** Supongamos que el precio de la energía eléctrica es de 0,25 euros (25 céntimos) por cada kWh consumido. ¿Cuánto le costará a tu bolsillo tener encendida una estufa eléctrica de 1000 vatios durante las 24 horas del día?

Energía consumida por la estufa:

$$E_{\text{estufa}} = 1000 \text{ vatios} \times 24 \text{ horas} = 24000 \text{ vatios-hora} = 24 \text{ kilovatios-hora (kWh)}$$

Gasto en moneda cantante y sonante:

Regla de tres al canto: “Si 1 kWh cuesta 0,25 euros, ¿cuánto tendré que pagar por los 24 kWh gastados por la estufita?”

Solución: 24 kWh multiplicado por 0,25 euros/kWh = 6 euros al día (= 180 euros al mes).

## ¿Cuánta energía podemos sacarle al viento?

El arriba mencionado señor Betz encontró que la máxima potencia teórica que una eólica **podría tener** puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$P_{\text{teórica}} = 0,29 \cdot D^2 \cdot v^3$$

En palabras: **la potencia máxima que una eólica podría tener si el mundo fuera perfecto es igual a 0,29 multiplicado por el cuadrado del diámetro de su hélice multiplicado por el cubo de la velocidad del viento que está soplando.**

Esta fórmula nos revela algo muy importante: la potencia de una eólica aumenta con el cubo de la velocidad del viento. Si por ejemplo la velocidad del viento se duplica, la potencia de la eólica será ocho veces más grande. Duplicar la velocidad del viento significa introducir en la fórmula de arriba 2 veces v en lugar de la v sola:

$$\begin{aligned} P_{\text{teórica a doble velocidad del viento}} &= 0,29 \cdot D^2 \cdot (2 \cdot v)^3 \\ &= 0,29 \cdot D^2 \cdot 2^3 \cdot v^3 = 8 \cdot 0,29 \cdot D^2 \cdot v^3 = 8 \cdot P_{\text{teórica}} \end{aligned}$$

Este factor **8** significa que la potencia se ha multiplicado por ocho.

**Por este motivo es importante montar una eólica en sitios con buenos vientos**, pero sabiendo que un viento muy fuerte puede destruir una eólica en pocos segundos, y las piezas que salen disparadas pueden ser muy peligrosas para las personas y los animales y/o para el tejado de tu casa.

Lo importante en esta fórmula - como en todas las fórmulas de la física - es introducir en ella los valores en las unidades físicas correctas.

Si con esta fórmula para  $P_{\text{teórica}}$  queremos obtener **vatios (W)**, para el diámetro de la eólica tendremos que utilizar **metros (m)** y para la velocidad del viento **metros por segundo (m/s)**.

Como humanos motorizados modernos que somos, estamos acostumbrados a indicar la velocidad en kilómetros por hora (km/h).

### **Recordatorio: ¿Cómo se pasan los kilómetros por hora a metros por segundo?**

Una hora tiene 60 minutos y un minuto 60 segundos. Por lo tanto, una hora tiene  $60 \times 60 = 3600$  segundos. Y un kilómetro tiene 1000 metros.

**Ejemplo:** Si un día sin viento circulamos en moto a 40 km/h. ¿cuál será la velocidad del viento en metros por segundo (m/s) que nos da en la cara?

40 km = 40000 metros  
1 h = 3600 segundos

Si dividimos 40000 metros por 3600 segundos, obtendremos la velocidad del viento que nos da en la cara en metros/segundo:

40000 metros divididos por 3600 segundos = **11,11 m/s**

En general, para pasar una velocidad expresada en kilómetros por hora (km/h) a metros por segundo (m/s), podéis utilizar esta sencilla fórmula:

$$\text{m/s} = 0,278 \times \text{km/h}$$

**Ejemplo:** ¿A cuántos m/s equivalen 75 km/h?

Solución:  $0,278 \times 75 = 20,85 \text{ m/s}$

Ahora podemos pasar a un ejemplo de cálculo de potencia y energía eólica:

Supongamos que un día sin viento colocamos (¡bien amarrada!) una pequeña eólica de 50 cm de diámetro sobre el techo de un coche y circulamos por una carretera desierta (para no poner en peligro a los peatones si la eólica se suelta → **guillotina rodante**) a una velocidad de 40 km/h. ¿Cuál es la potencia máxima que en teoría esta eólica podría tener?

Vayamos a la fórmula del señor Betz:

Diámetro de la eólica en metros:  $D = 0,5 \text{ m}$

Velocidad del coche = velocidad del viento = 40 km/h = (ver más arriba) = **11,11 m/s**

$P_{\text{teórica}} = 0,29 \cdot 0,5^2 \cdot 11,11^3 = 0,29 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 11,11 \cdot 11,11 \cdot 11,11 = 99,42 \text{ vatios}$

Si circularáramos ininterrumpidamente durante 10 horas a la misma velocidad con esta eólica sobre el techo del coche, la energía que teóricamente podríamos producir con nuestra pequeña eólica sería:

$$E_{\text{teórica}} = 99,42 \text{ vatios} \times 10 \text{ horas} = 994,4 \text{ Wh}$$

= (casi) 1 kWh o 25 céntimos de ahorro (ver más arriba).

Nota: Al precio que está la gasolina, este experimento no es muy recomendable.

Sin embargo, en la práctica jamás alcanzaremos esta potencia (o energía), porque todas las máquinas en este mundo (incluyendo nuestras vidas) **siempre van acompañadas de pérdidas**.

Como ya hemos mencionado anteriormente, cualquier motor de combustión (de coche, moto, tractor, avión, barco etc.) sólo puede convertir en energía neta (la que necesitas para trabajar y/o moverte) **como máximo un tercio de la energía que lleva la gasolina**. Dos tercios de esa energía que pagas “se pierden” en forma de calor. Es decir, si por un litro de gasolina pagas 1,50 euros, 1 euro se te esfumará en forma de calor, que tendrás que entregar al medio ambiente porque no puedes llevarte esa energía a casa para calentar la cama o hacerte unos huevos fritos con patatas.

Para describir estas pérdidas que toda máquina, aparato o ser humano tiene, en la física se utiliza el concepto de **rendimiento**, que se obtiene **dividiendo lo que tienes que meter por lo puedes sacar**.

Por ejemplo, cuando alguien te vende una máquina con un rendimiento del 50%, esto significa que esta máquina te suministrará la mitad de la energía que has tenido que invertir en ella.

Volviendo al tema que nos ocupa: una eólica raras veces tendrá un rendimiento superior al 50% <sup>1</sup>, de modo que para no sobreestimar la potencia máxima dividiremos la fórmula del señor Betz por dos (rendimiento 50%):

$$P_{\text{máxima}} \approx 0,15 \cdot D^2 \cdot v^3$$

### Ejemplo:

Las eólicas que se utilizan en los controvertidos “parques eólicos” son enormes. Sus hélices llegan a tener un diámetro de hasta 100 metros. Calculemos la potencia máxima que tiene uno de estos colosos cuando el viento sopla a una velocidad de 10 m/s (= 36 km/h, ver más arriba):

Supongamos que una de estas súper eólicas tiene un diámetro **D = 50** metros.

---

<sup>1</sup> Los modernos aerogeneradores de alta tecnología pueden alcanzar rendimientos de hasta 70 %



Aplicando la fórmula que os acabo de dar:

$$P_{\text{máxima}} = 0,15 \cdot 50^2 \cdot 10^3 = 0,15 \cdot 50 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = 375000 \text{ vatios} = \mathbf{375 \text{ kilovatios}}$$

(1 kilovatio = 1000 vatios).

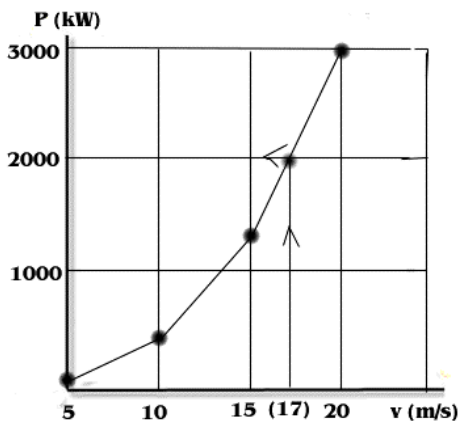
Suena bien, pero lo malo es que el viento no va a soplar a esta velocidad **todo el tiempo**, sino que lo hará cuando le da la gana. Este es el principal inconveniente del viento como fuente de energía con respecto al petróleo: el viento es **aleatorio**, es decir, **aparece cuando quiere**, y, por lo tanto, así también lo hará la energía que nos puede ofrecer. El viento es muy caprichoso. No sopla cuando **nosotros** queremos. Valga la redundancia: el viento sopla a su aire.

Ahora calcularemos una curva con la que podremos ver de inmediato la potencia que la eólica de nuestro ejemplo tendrá para cualquier velocidad del viento. Para calcular una curva así, lo mejor es utilizar una tabla como la siguiente:

Diámetro de la eólica  $D = 50 \text{ m}$

Velocidad del viento en metros por segundo (m/s)	Velocidad del viento en kilómetros por hora (km/h)	Potencia de la eólica en vatios (W) Recuerda: $P_{\text{máxima}} = 0,15 \cdot D^2 \cdot v^3$	Potencia de la eólica en kilovatios (kW) Recuerda: 1 kW = 1000 W
5	18	46875	46,875
10	36	375000	375,0
15	54	1265625	1265,625
20	72	3000000	3000,0

Si en un eje de coordenadas dibujamos los puntos calculados y los unimos por trazos, obtendremos la llamada curva de potencia de la eólica de nuestro ejemplo:



Si por ejemplo queremos saber la potencia que tendrá nuestra eólica bajo un viento de 17 m/s, en lugar de calcular la potencia con la fórmula sólo tenemos que buscar el punto de la curva que corresponde a esta velocidad → aproximadamente 2000 kW (seguir las flechas dibujadas)

Intentemos ahora responder a otra pregunta que se hace mucha gente interesada en la energía eólica:

## ¿A cuántas revoluciones por minuto gira la hélice de una eólica?

La velocidad de giro (revoluciones por minuto o – abreviado – **rpm**) no es tan fácil de calcular como la potencia, porque depende de dos factores que en una eólica no podemos ver a simple vista: **la anchura y la inclinación de las aspas** (también se les llama palas). Pero además depende de otra cosa muy importante: **de la energía producida por la eólica que estamos consumiendo en el momento que queremos saber su velocidad de giro**. Es como cuando subes una cuesta con la moto: el motor gira más lentamente, porque al tener que llevar cuesta arriba el peso de la moto y el tuyo, no le queda más remedio que hacerlo más despacito. Por cierto, al levantar una piedra pasa lo mismo: puedes levantar una chinita en un segundo, pero si se trata de una roca pesada no te quedará más remedio que hacerlo muy lentamente. Es ley de vida. De modo que si alguien de repente consume la mayor parte de la energía producida por la eólica, la velocidad de giro de su hélice se ralentizará de inmediato.

Sin embargo, existe la posibilidad de calcular un valor orientativo: En las eólicas modernas, que generalmente tienen 3 palas relativamente delgadas, **el valor de velocidad de giro en revoluciones por minuto oscila entre 130 y 170 veces la velocidad del viento (v) en metros por segundo dividido por el diámetro de la hélice (D) en metros**.

Si llamamos **n** a la velocidad de giro, podemos escribir esta frase como fórmula:

$$n = (130 \dots 170) \cdot v/D$$

Para un cálculo aproximado, podemos utilizar el valor medio de ambos límites (150):

$n = 150 \cdot v / D$
-----------------------

**Nota importante:** ¡para obtener la velocidad de giro de revoluciones por minuto, es obligatorio que introduzcas la velocidad del viento en metros por segundo (m/s) y el diámetro de la eólica en metros (m)!

Supongamos que hemos construido una pequeña eólica moderna de 2 metros de diámetro al lado de nuestra masía. Calculemos su velocidad de giro aproximada para diferentes velocidades del viento. Para ello volveremos a utilizar una tabla:

Diámetro de la eólica **D = 2 m**

Velocidad del viento en metros por segundo (m/s)	Velocidad del viento en kilómetros por hora (km/h)	Factor v/D	Velocidad de giro de la eólica en revoluciones por minuto (rpm) Recuerda: $n = 130 \cdot v / D$
5	18	2,5	375
10	36	5,0	750
15	54	7,5	1125
20	72	10,0	1500

A una velocidad del viento de 54 kilómetros por hora (= 15 m/s), su velocidad de giro es de 1125 rpm. A esta velocidad de giro, la eólica hará bastante ruido ya que las puntas de sus palas giran a una **velocidad vertiginosa**. Calculemos esa velocidad con un poco de matemáticas elementales<sup>2</sup>:

Durante cada vuelta de la hélice, en un minuto las puntas de las palas tienen que recorrer la circunferencia de un círculo de 2 metros de diámetro.

La circunferencia de un círculo ya la sabían calcular los egipcios y los chinos hace más de siete mil años: es igual al diámetro del círculo multiplicado por el número divino “pi”, que honramos con letra griega<sup>3</sup>  $\pi$ , es decir:

**Longitud de la circunferencia =  $\pi \cdot D$**

Como todas y todos sabemos (o deberías saber):  $\pi \approx 3,14159265358979323846... etc.$

Como nuestra eólica tiene un diámetro de 2 metros, la longitud de su circunferencia es igual a 3,14 multiplicado por 2 metros = 6,28 metros.

Regla de tres al canto: Si en un minuto las puntas de la eólica tienen que recorrer 1125 veces los 6,28 metros de circunferencia, ¿cuál será su velocidad en metros por segundo?

Solución: un minuto tiene 60 segundos, de modo que tendremos que dividir 1125 x 6,28 metros = 7065 metros por 60 segundos (= 1 minuto) y obtendremos 117,75 metros por segundo o

**¡423,90 km/h! → ¡Ruido! → ¡Peligro!**

**Nota:** En los modernos parques eólicos, la gran velocidad de las puntas de las palas produce mucho ruido y representa un **grave peligro para las aves**.

**La velocidad de las puntas de las palas no depende del diámetro de la eólica**, sino sólo de la anchura y de la inclinación de las palas, es decir, del tipo de eólica (“lenta” o “rápida, ver más abajo).

En las eólicas modernas, con pocas (generalmente 3) palas esbeltas, la velocidad de las puntas de las mismas puede calcularse aproximadamente con la siguiente sencilla fórmula (v = velocidad del viento):

$$v_{\text{puntas}} \approx 8 \cdot v$$

---

<sup>2</sup> Las únicas que se necesitan para administrar bien cualquier negocio honrado (Wallstreet utiliza matemáticas abstractas)

<sup>3</sup> Hubo tiempos en los que los europeos todavía honrábamos a los griegos

## Distinción entre eólicas lentas y rápidas

En el campo de la energía eólica distinguimos entre eólicas “lentas” y eólicas “rápidas”. Esta distinción no es absoluta, sino relativa. Simplemente significa que si tenemos dos eólicas de idéntico diámetro, bajo la misma velocidad del viento la que llamamos “rápida” tendrá una velocidad de giro hasta 10 veces mayor que la de la eólica “lenta”.

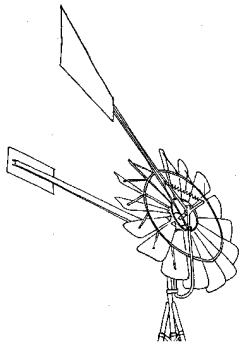
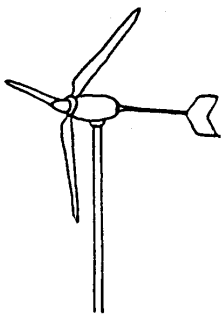
**Recuerda: Una eólica gira tanto más rápidamente cuanto más pequeño es su diámetro.**

Estos dos tipos de eólicas se distinguen a primera vista: las lentas tienen muchas (hasta 20 o más) palas anchas, que están bastante inclinadas con respecto a la dirección del viento (ángulo de hasta 35°). Las rápidas tienen pocas palas (generalmente 3) esbeltas y poco inclinadas (ángulo de hasta 3°).

Además de girar más lentamente, por motivos aerodinámicos las eólicas lentas tienen un menor rendimiento que las rápidas (hasta un 30 - 40 % menos), **pero tienen la ventaja de arrancar bajo vientos relativamente modestos, mientras que las rápidas requieren mayores velocidades del viento.**

Típicas eólicas lentas son las que se ven en los campos, que antaño se utilizaban primordialmente para bombear agua para los cultivos o el ganado. Típicas eólicas rápidas son las que vemos en los modernos parques móviles, que generalmente tienen tres palas relativamente esbeltas.

A continuación, una tabla que os permitirá estimar rápidamente la potencia máxima y la velocidad de giro óptima de estos dos tipos de eólica.

	Eólicas lentas	Eólicas rápidas
<b>Distinción a primera vista</b>		
<b>Características</b>	Muchas palas anchas y bastante inclinadas con respecto a la dirección del viento	Pocas palas esbeltas (generalmente tres) y poco inclinadas con respecto a la dirección del viento
<b>Potencia máxima* [W]</b>	$P_{\text{máx}} \approx 0.15 \cdot D^2 \cdot v^3$	$P_{\text{máx}} \approx 0.20 \cdot D^2 \cdot v^3$
<b>Velocidad de giro óptima* [rpm]</b>	$n_{\text{opt}} \approx 20 \cdot v/D$	$n_{\text{opt}} \approx 150 \cdot v/D$
<b>Velocidad de las puntas de las palas</b>	$v_{\text{puntas}} \approx v$	$v_{\text{puntas}} \approx 8 \cdot v$

\*) Recuerda que para obtener la potencia en **vatios** [W] y la velocidad de giro en revoluciones por minuto [rpm], en la fórmula tienes que introducir de diámetro de la eólica (D) en **metros** y la velocidad del viento (v) en **metros por segundo** [m/s].

## ¿Cuánta energía al año puede producir una eólica?

Los antiguos griegos postulaban que el viento era la respiración de nuestro planeta, que llamaban Gaia. Su energía sólo puede calcularse estadísticamente, ya que nunca podemos saber con certeza cuánto viento soplará mañana. Si en un lugar específico medimos la intensidad y dirección del viento durante años, lo máximo que obtendremos es cierta probabilidad de que el año que viene el viento tendrá un comportamiento similar. A estas estadísticas del viento se les llama **clima eólico**.

Sin embargo, muchos lugares tienen una temporada de viento más o menos regular. A estos vientos estacionales se les dan nombres muy bonitos, por ejemplo: *Abroholos, Blizzard, Cape Doctor, Dzhani, Elephanta, Föhn, Galerna, Haboob, Iseran, Jasna Bura, Kapalilua, Liberator, Mistral, Nowaki, Pampero, Scirocco, Tramontana, Varatraya, Witch, Xlokk, Yama Oroshi, Zefiro*.

Si conocemos la **media anual de la velocidad del viento de un determinado lugar**, con la siguiente tabla podremos **estimar aproximadamente la energía anual producida por una eólica** de potencia nominal  $P_r$  [kW], el porcentaje del tiempo durante el cual la eólica suministrará su potencia nominal  $P_r$  y el porcentaje del tiempo durante el cual la eólica no producirá energía alguna.

Media anual de la velocidad del viento [m/s]	5	6	7	8	9
Energía anual producida $E_{\text{anual}}$ [kWh]*	$1100 \cdot P_r$	$1850 \cdot P_r$	$2600 \cdot P_r$	$3350 \cdot P_r$	$4050 \cdot P_r$
Porcentaje del tiempo durante el cual la eólica suministra su potencia nominal [%]	15	24	33	42	50
Porcentaje del tiempo durante el cual la eólica no produce energía [%]	60	50	40	30	20

\*) Para obtener la energía anual en kWh hay que introducir la potencia nominal de la eólica en kW  
Observación: Estos valores son válidos para aerogeneradores rápidos de alta tecnología. Con una eólica “casera” probablemente se obtendrá un 30% menos de esta energía anual.

### Ejemplo:

¿Qué cantidad de energía se puede producir durante un año con una eólica de 2 metros de diámetro con una potencia nominal de 600 W en un lugar cuya velocidad media anual es de 6 m/s?

Solución:  $P_r = 600 \text{ W} = 0,6 \text{ kW}$ .

Para una velocidad media anual de 6 m/s la tabla nos suministra:

$$E_{\text{anual}} = 1850 \cdot P_r = 1850 \cdot 0,6 = \mathbf{1110 \text{ kWh/año}}$$

## Conclusiones

Creo que es el momento de dejaros en paz para reflexionar un poco sobre todo lo dicho.

Si algún día vivís en el campo - sin electricidad, pero con muchas gallinas - recordad que con una pequeña eólica y unos cuantos paneles solares podríais cubrir vuestras necesidades energéticas básicas, siempre que éstas no vayan acompañadas del peor de los pecados humanos: la codicia.

Y si he conseguido despertar vuestro interés por la física, os recomiendo calurosamente que sigáis en *youtube* una de las lecciones magistrales del profesor **Walter Lewin**, un hombre sabio que ha sabido despertar el interés por las ciencias físicas de cientos de miles de chavalas y chavales del mundo entero.

Y si algún día queréis poner os “manos a la obra”, recordad este viejo proverbio chino:

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

¡Qué el viento, la salud y el buen humor os acompañen!



Manuel Franquesa Voneschen

Castelldefels, primavera de 2012

## Links

Hace unos años publiqué en Internet algunos manuales prácticos para construir una eólica casera. Ahí os dejo los links:

[www.amics21.com/laveritat/generador\\_savonius.pdf](http://www.amics21.com/laveritat/generador_savonius.pdf)

[www.amics21.com/laveritat/manual\\_generador\\_eolico.pdf](http://www.amics21.com/laveritat/manual_generador_eolico.pdf)

[www.amics21.com/laveritat/introduccion\\_teoría\\_turbinas\\_eolicas.pdf](http://www.amics21.com/laveritat/introduccion_teoría_turbinas_eolicas.pdf)

[www.amics21.com/laveritat/introduccion\\_aerogenerador\\_darrieus.pdf](http://www.amics21.com/laveritat/introduccion_aerogenerador_darrieus.pdf)

Este humilde manual también está disponible en inglés:

[www.amics21.com/laveritat/notions\\_of\\_wind\\_energy\\_for\\_the\\_complete\\_idiot.pdf](http://www.amics21.com/laveritat/notions_of_wind_energy_for_the_complete_idiot.pdf)