



ENERGÍA DEL VIENTO

Introducción

La energía del viento ha sido utilizada por cientos de años para bombear agua y para la molienda de granos. La energía del viento se ha utilizado recientemente para la generación de electricidad. Las Turbinas de Viento se utilizan actualmente para la generación de energía eléctrica a gran escala y además puede aplicarse de manera efectiva para la generación de electricidad a pequeña escala para aplicaciones en áreas remotas.

Los países en desarrollo pueden aprovechar las ventajas de la energía del viento, a pequeña escala se puede aprovechar para irrigación (Bombas de viento) y para la generación de electricidad (Generadores Eólicos). Estas opciones se describen en las Hojas Técnicas *Energía del Viento para Generación de Electricidad y Bombeo de Agua*. Estas hojas técnicas presentan un panorama general de este recurso y como puede explotarse.

Energía en el Viento

La potencia disponible en el viento es proporcional al cubo de su velocidad. Si se duplica la velocidad del viento, entonces la potencia se incrementará ocho veces

La fórmula general para la potencia del viento es:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{densidad del aire} \times \text{area barrida} \times \text{velocidad al cubo}}{2}$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Si la velocidad (v) está en m/s, entonces, al nivel del mar (donde la densidad el aire es de 1.2 kg/m³), la potencia del viento será:

$$\text{Potencia} = 0.6 \times v^3 \text{ Watts por m}^2 \text{ de área barrida por el rotor}$$

Es decir, que la potencia del viento estará en el intervalo de 10W/m² a 2.5m/s (una brisa ligera) a 41,000W/m² a 40m/s (un huracán). La variabilidad del viento afecta a casi todos los aspectos relacionados con el diseño de los sistemas de energía eólica, su construcción, localización, su utilización y economía.

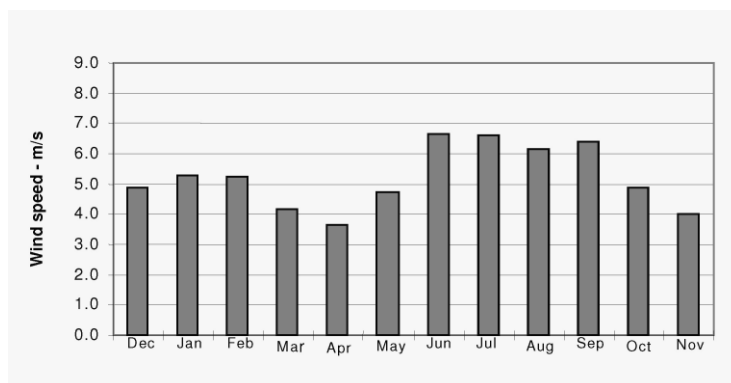


Figura 1: Patrón mensual del viento en Hambantota, Sri Lanka, una localidad donde Soluciones Prácticas ha instalado turbinas de viento a pequeña escala para generación de electricidad.

Viento

La velocidad del viento cambia constantemente debido a varios factores como: la topografía del terreno; la altitud; y la cercanía de zonas arboladas, Todos estos factores influyen en la turbulencia del viento, y por tanto, en su velocidad. Una zona con árboles o edificios producirá una mayor turbulencia que una superficie lisa como un lago. Los árboles y los edificios modifican el flujo de aire, reduciendo la energía que puede ser capturada por la turbina. Un aumento el nivel de turbulencia del viento ocasiona que la velocidad del viento cambie de segundo a segundo. Además de los constantes cambios en la velocidad del viento, los patrones del viento cambian diariamente y estacionalmente.

Selección del Sitio

La turbina deberá ubicarse en donde sea posible captar el viento que constantemente tenga la mayor velocidad, además que tenga la menor turbulencia que sea posible. Con un incremento en la velocidad promedio del viento de un 25% en un determinado sitio, casi se puede duplicar la producción de potencia de la turbina. Se presentan diferencias considerables en la duración o vida útil de los componentes de la turbina para diferentes ubicaciones. Las rachas de viento pueden ocasionar grandes esfuerzos sobre las aspas de las turbinas.

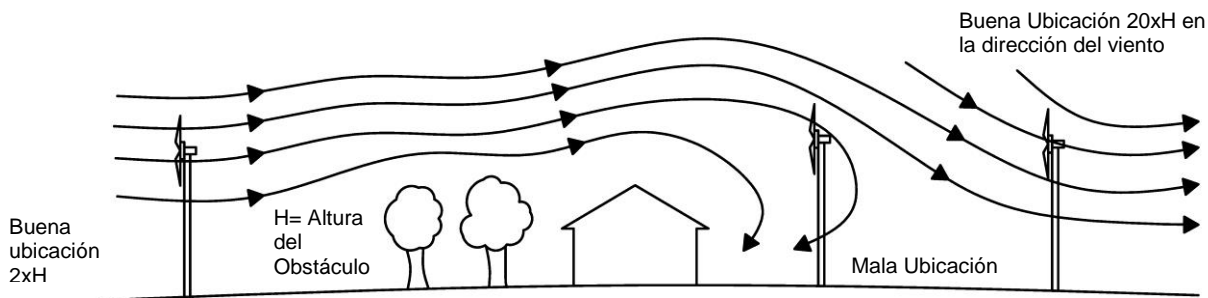


Figura 2.- La turbina de viento deberá localizarse lejos de obstáculos tales como árboles y edificaciones. Ilustración: Practical Action / Neil Noble

La aceleración del viento en la cima de lomas o promontorios se puede explotar con el objetivo de que la turbina genere una mayor potencia, aunque el perfil de las lomas o promontorios es importante. Una loma suave no producirá turbulencia, mientras que un cambio brusco en el terreno, ya sea un risco escarpado o despeñadero, si generará turbulencias.

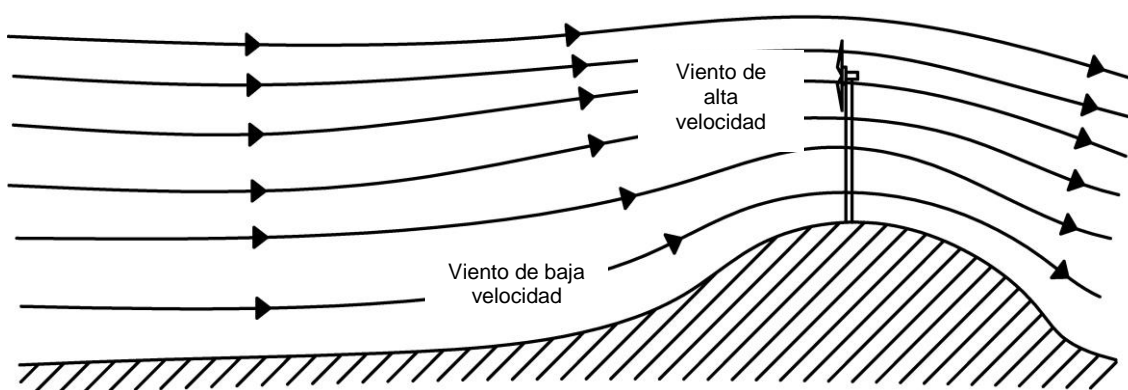


Figura 3: La velocidad del viento es mayor en la cima de los promontorios Ilustración Practical Action / Neil Noble

Es preferible localizar la turbina en un punto en donde la dirección del viento sea perpendicular (es decir en ángulo recto) al lado de la loma/promontorio, a aquella en la

cual el viento tenga una dirección en diagonal, ya que de esta manera será menos efectivo.

Medición del Viento

Al evaluar la factibilidad de un sitio, puede ser de utilidad el contar con registros de velocidad el viento en el área seleccionada, idealmente por un período de al menos los últimos doce meses. Existe una gran variedad de instrumentos de medición que puede utilizarse. Algunos instrumentos cuentan con almacenamiento de datos, los cuales registran las velocidades del viento durante períodos de tiempo muy largos. El dispositivo de medición más comúnmente utilizado es el anemómetro de copa, aunque hay otros equipos, instrumentos, indicadores y métodos como los siguientes:

- Anemómetros de hélice
- Dispositivos de arrastre – Anemómetros para rachas de viento ERA
- Dispositivos de presión de viento – Tubos pitot
- Dispositivos Doppler – Láser y sonar
- Cometas (papalotes o barriletes) calibrados
- Bandera a media asta
- Árboles y otras plantas

Es importante hacer énfasis en la importancia que tiene el desarrollar evaluaciones detalladas para las grandes instalaciones de turbinas de viento. Sin embargo, para las máquinas pequeñas como las de Soluciones Prácticas, una evaluación exhaustiva es muy costosa e impráctica. Por lo tanto es necesario obtener otras claves que nos indiquen sobre la velocidad del viento, por medio del análisis de los datos disponibles (en caso de contar con ellos), a través de entrevistas con los residentes de la localidad, haciendo preguntas sobre experiencias pasadas, y aún observando cuanto y en qué dirección se inclinan los árboles

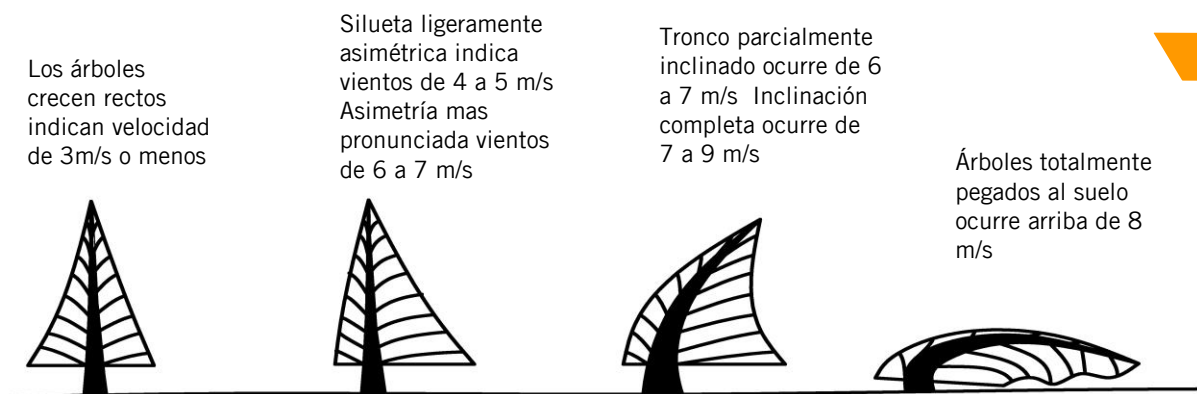


Figura 4.- La fuerza del viento se puede estimar de acuerdo con la forma de los árboles en el área.

Ilustración Practical Action / Neil Noble

Los datos de la velocidad promedio del viento a veces se encuentra disponible a partir de fuentes existentes, como mapas de vientos, oficinas de meteorología, aunque los regímenes de viento están muy localizados, de tal modo que los datos pueden dar información equivocada. Los anemómetros por lo general se instalan a una altura estándar de 10 m: Esta altura es muy baja para las turbinas de viento y se ubican en lugares no adecuados para las turbinas de viento. Los datos de la velocidad del viento utilizados en los aeropuertos, no proporcionan información adecuada para su aplicación en turbinas de viento.

Los registros existentes muestran que áreas muy extensas en el mundo tienen una velocidad media del viento por debajo de 3 m/s, y por lo tanto no son adecuadas para instalar grandes sistemas de potencia con turbinas de viento. Otras áreas tienen velocidades de viento en el área intermedia de 3 a 4,5 m/s, en donde la instalación de grandes parques de turbinas de viento puede o no ser una opción atractiva. Pero en el caso de las pequeñas turbinas de viento que son promovidas por Soluciones Prácticas, se ha encontrado que pueden ser adecuadas para velocidades del viento tan bajas como 3 m/s.

Principios de la conversión de la energía del viento

La energía del viento se puede extraer de dos maneras: a través de la fuerza de arrastre, o de la fuerza de sustentación (o una combinación de ambas).

La diferencia entre arrastre y sustentación se ilustra a través de la diferencia de la vela tipo globo (Spinnaker), la cual se infla como un paracaídas y hala al velero en la dirección del viento, y la conocida vela triangular (Bermuda) que se desvía con el viento y permite que el velero se desplace lateralmente al viento o ligeramente hacia el viento (ver Figura 5).

Las fuerzas de arrastre proporcionan los medios más obvios de propulsión, las cuales son las fuerzas que sienten las personas (u objetos) que están expuestos al viento.

Las fuerzas de sustentación son los medios más eficientes de propulsión, pero al ser más sutiles, son menos comprendidas.

Las características básicas de las fuerzas de arrastre y de sustentación son:

- El arrastre es en la dirección del flujo del aire
- La sustentación es perpendicular a la dirección del flujo del aire
- La generación de la sustentación por lo general desarrolla una cierta cantidad de arrastre
- Un buen diseño de la superficie de sustentación (aerofoil), la fuerza de sustentación puede ser hasta 30 veces mayor que la fuerza de arrastre
- Los dispositivos que usan la fuerza de sustentación por lo general son más eficientes que las que usan la fuerza de arrastre

Tipos de rotores y sus características

Aunque existen varios diseños, la mayoría de las turbinas de viento son máquinas de eje horizontal. Éstas utilizan tanto las fuerzas de

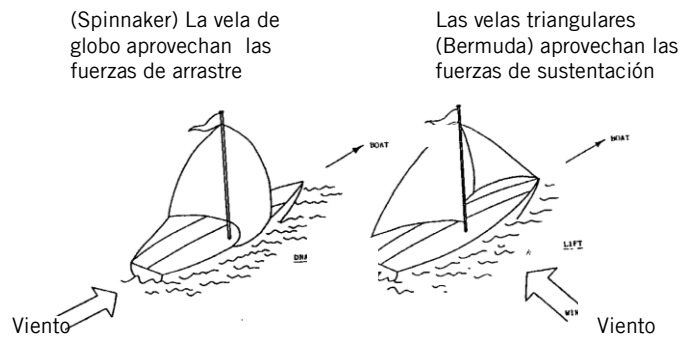


Figura 5: Fuerzas de arrastre y sustentación

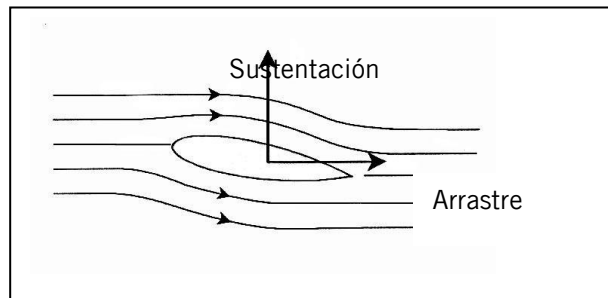


Figura 6: Superficie de Sustentación (Aerofoil)

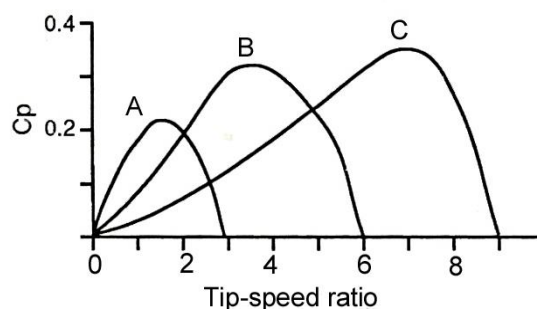


Figura 7: Relación de Velocidad de Punta contra coeficiente de potencia

- A = Rotor de alta solidez
- B = Solidez intermedia
- C = Solidez baja

arrastre como de sustentación para aprovechar las fuerzas del viento.

Se utilizan diversos parámetros técnicos para caracterizar los rotores de las turbinas:

La relación de velocidad de punta se define como la velocidad del punto más alejado del asa de la turbina relativa a la velocidad del viento libre. Es una medida de la relación de reducción del rotor. Los dispositivos de arrastre siempre tienen relaciones de velocidad de punta menores de la unidad, y por lo tanto giran lentamente, mientras que los dispositivos de sustentación pueden tener relaciones de velocidad de punta altas y por tanto giran más rápidamente con relación al viento.

Relación de velocidad de punta = $\frac{\text{Velocidad de la punta del asa}}{\text{Velocidad del viento}}$

La cantidad de potencia que el rotor puede producir se denomina **Coefficiente de Desempeño** (o coeficiente de potencia o eficiencia, símbolo C_p). Su variación es una función de la relación de velocidad de la punta y se utiliza para caracterizar los diferentes tipos de rotor.

No es posible extraer toda la energía del viento, ya que esto haría que el viento atrás del rotor se detendría. Consecuentemente existe un valor máximo para el C_p de 59% (conocido como el límite de Betz), aunque en la práctica los rotores de las turbinas de viento tienen valores máximos de C_p de en el rango de 25% a 45%.

Solidez es la relación de la suma del área proyectada de las aspas al área de la circunferencia del rotor que contenga material en vez de aire. Las máquinas de alta solidez tienen mucho material y tienen mayores ángulos de ataque. Generan un par de arranque mucho mayor que las máquinas de baja solidez, pero algunos las consideran menos eficientes que las de baja solidez. Las máquinas de baja solidez utilizan la sustentación como principal método para extraer energía. Estas tienen un par de arranque bajo, de tal modo que las aspas necesitan tener un cuidadoso acabado y balanceo.

Las máquinas de alta solidez se utilizan para bombeo de agua, ya que tienen un alto par a bajas velocidades, mientras que las máquinas de baja solidez se utilizan para la generación de energía, en las que las mayores velocidades de rotación son adecuadas para el generador



Figura 8: Rotor de alta solidez.
Foto: Practical Action.



Figura 9: Rotor de baja solidez
Foto: Practical Action

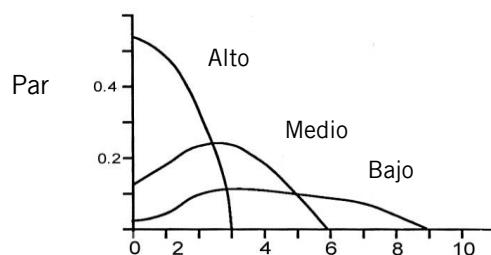


Figura 10: Relación de Velocidad de Punta

En la Tabla 1 se muestran algunos tipos comunes de rotores y sus características

TABLA 1 Comparación de Tipos de Rotores

Tipo	Velocidad	Par	Manufactura	C_p	Solidez %
Eje Horizontal					
Vela Cretan	Baja	Medio	Simple	0.05-.15	50
Ventilador de placa inclinada (Cambered)	Baja	Alto	Moderada	0.15-.30	50-80
Aero-generador de Velocidad Moderada	Moderada	Baja	Moderada	0.20-.35	5-10
Aero-generador de alta velocidad	Alta	Muy Bajo	Precisa	0.30-.45	< 5
Eje Vertical					
Panemone	Baja	Medio	Cruda	> .10	50
Savonius	Moderada	Medio	Moderada	.15	100
Darrieus	Moderada	Muy bajo	Precisa	> .25	10-20
Geometría Variable	Moderada	Muy Bajo	Precisa	.20-.35	15-40

Desempeño

Aunque la potencia disponible es proporcional al cubo de la velocidad del viento, la potencia obtenida por la turbina es menor. Esto se debe a la eficiencia total de la turbina de viento – que es el producto de C_p , la eficiencia de la transmisión, y la eficiencia de la bomba o el generador – que cambia con las variaciones en la velocidad del viento. Hay cuatro momentos característicos importantes de la velocidad del viento:

- **Velocidad del viento de corte (inicio)** – cuando la máquina comienza a producir potencia
- **Velocidad del viento de diseño** Cuando la turbina de viento alcanza su máxima eficiencia
- **Velocidad del viento nominal** – Cuando la máquina alcanza su máxima potencia de diseño
- **Velocidad del viento “Plegado”** – cuando la máquina se gira fuera de la dirección del viento para prevenir que se dañen las aspas debido a las altas velocidades del viento

Los datos de desempeño pueden ser engañosos debido a pueden referirse a la eficiencia máxima (a la velocidad del viento de diseño) o bien la producción de potencia

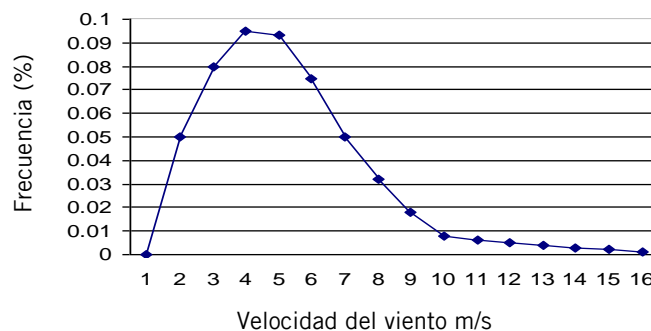


Figura 11 Gráfica de distribución de velocidad del viento

máxima (a la velocidad del viento de diseño) Los datos pueden referirse también a la producción promedio en un determinado período de tiempo (por ej. diaria o mensual).

Debido a que la producción de potencia varía con la velocidad del viento, la producción de potencia promedio dependerá de las variaciones locales hora por hora de la velocidad del viento. Para predecir la producción de potencia de una turbina dada, se requiere contar con cifras para la turbina y de la curva de distribución de la velocidad del viento para la localidad – por ej. La duración de las diferentes velocidades del viento. Multiplicando los valores de ambas gráficas para cada uno de los intervalos de las velocidades del viento, y después de sumar todos los resultados, se obtiene el total de la producción de energía de una turbina en particular.

Referencias y Bibliografía

- *Windpumping* Practical Action Technical Brief
- *Wind Power for Electricity Generation* Practical Action Technical Brief
- *Windpower Workshop, Building Your Own Wind Turbine* Hugh Piggott, Centre for Alternative Technology, 1997
- *A Wind Turbine Recipe Book: The Axial Flux Windmill Plans* Hugh Piggott, Scoraig Wind Electric, 2009
- *Wind Turbine Technology, Fundamental Concepts Of Wind Turbine Engineering* David, A. Spera: ASME Press, 1994
- *Wind Power: Renewable Energy for Home, Farm, and Business. Second Edition* Paul Gipe, Earthscan, 2004. <http://www.wind-works.org/>
- *How to Build a Cretan Sail Windpump* Bob Mann, Practical Action Publishing http://developmentbookshop.com/product_info.php?products_id=143
- *Construction Manual For A Cretan Windmill* Niek van de Ven, WOT, 1977 <http://www.wot.utwente.nl/knowledgecenter/publications/cretan.html>

Direcciones útiles

CAT (Centre for Alternative Technology)
Llwyngwern Quarry
Machynlleth, Powys SY20 9QZ.
Reino Unido
E-mail: info@cat.org.uk
Website: <http://www.cat.org.uk>

Hugh Piggott
Scoraig
Dundonnell
IV23 2RE
Reino Unido
E-mail: hugh@scoraigwind.co.uk
Website: <http://www.scoraigwind.com/>

Mayores informes:

Practical Action
The Schumacher Centre
Bourton-on-Dunsmore
Warwickshire, CV23 9QZ
Reino Unido
E-mail: infoserv@practicalaction.org.uk
Website: <http://practicalaction.org/practicalanswers/>

Soluciones Prácticas
Apartado Postal 18-0620
Lima 18
Perú
Teléfonos: (511) 447-5127, 444-7055, 446-7324
E-mail: info@solucionespracticas.org.pe
Website: www.solucionespracticas.org

Soluciones Prácticas es un organismo de cooperación técnica internacional que contribuye al desarrollo sostenible de la población de menores recursos, mediante la investigación, aplicación y difusión de tecnologías apropiadas.

No ponemos en primer lugar a la tecnología, sino a las personas. Las herramientas pueden ser simples o sofisticadas, pero proveen respuestas apropiadas, prácticas y de largo plazo; deben estar firmemente bajo el control de las poblaciones locales; son ellas quienes les dan forma y las utilizan para su propio beneficio.

ficha técnica