

# IMPACTO PRODUCIDO POR LA ENERGÍA EÓLICA EN LA GENERACIÓN ELÉCTRICA

**Ricardo A. Bastianon**

Consultor Energía del Viento

e-mail: bastianon2001@yahoo.com.ar

## **Sinopsis**

Los molinos de viento se han venido desarrollando lentamente desde hace mucho tiempo pero, fue después de la crisis del petróleo de 1973, antes las exigencias de las circunstancias, que se advirtió la posibilidad concreta de generar electricidad con turbinas eólicas y desde entonces su crecimiento ha sido incesante y por momentos sorprendente.

Estados Unidos y Europa lideraron estos desarrollos, confiados en la posibilidad de poder competir económicamente con la generación eléctrica convencional. Los progresos tecnológicos realizados en las últimas décadas han confirmado estas expectativas. Las máquinas han crecido en tamaño y potencia con lo que se ha logrado disminuir notablemente el costo del KW instalado.

Simultáneamente, este crecimiento juntamente con el progreso de los equipos, permitieron un elevado nivel de disponibilidad de las máquinas reduciéndose el costo de la energía eléctrica generada.

Con estos aspectos positivos, también aparecen algunas dudas sobre el gigantismo de las mayores turbinas actuales y surgen interrogantes que cuestionan las posibilidades de que sigan aumentando su tamaño.

En este trabajo se evalúan turbinas de elevada potencia y se analiza cómo podrían colaborar en la solución del problema energético nacional. Además, se discute el factor de penetración posible, la superficie de territorio que se necesita para las instalaciones y el costo de desarrollo y construcción de turbinas de una potencia del orden del MW.

## **Introducción**

La crisis energética que se avecina es cada vez más evidente y al parecer, inevitable. Los cálculos sobre las reservas de petróleo y gas muestran con claridad que la época de abundancia está llegando a su fin. El agotamiento de los combustibles fósiles, el crecimiento de la demanda energética y la ausencia de los desarrollos necesarios para poder satisfacer el mayor consumo, nos están conduciendo a la crisis.

Estudios de diferente naturaleza permiten comparar los costos de la energía eléctrica generada en centrales térmicas, hidráulicas, nucleares y también la generada con fuentes renovables. Se puede observar que con el transcurso del tiempo existen variaciones del precio relativo de la electricidad según la fuente utilizada y la conveniencia de usar una más que otra.

El biocombustible, por ejemplo, muy indicado para alimentar el transporte pues sólo requiere modificaciones menores en los motores, hoy es caro. Pero, ¿qué sucederá en el futuro?

En muy poco tiempo la comparación económica quedará totalmente superada por la cruda realidad. El crecimiento incesante de la demanda en un mundo ávido de más energía nos llevará muy pronto a requerir el uso de toda fuente energética posible. Nada será suficiente. Los cortes de electricidad aparecen como un espectro latente para el corto plazo y, si las medidas necesarias no llegan a tiempo, habrá que lamentar las imprevisiones.

Frente a esta situación, ¿a qué otras posibilidades podemos recurrir para mejorar el pronóstico?

## **Nuevas alternativas**

En este contexto, es oportuno preguntarse sobre las nuevas alternativas que pueden estar disponibles en el corto plazo. Es aquí donde las turbinas eólicas están demostrando posibilidades reales, ref. 1. En lugares con buenos vientos se puede generar electricidad a un costo aproximado de 0,04 U\$/KWh, ref. 2. Este precio compite con la generación convencional y es por esta razón, y por su

condición de ser limpia, que esta energía renovable se está desarrollando formidablemente en todo el planeta.

En este aspecto, se percibe con fuerza que no hay tiempo que perder y así lo están viviendo en particular los fabricantes de turbinas eólicas de gran potencia. Turbinas de 1 MW y de 1,5 MW están ya disponibles comercialmente en el mercado. Son máquinas probadas, que funcionan adecuadamente conectadas a la red de electricidad, lo mismo que una central térmica, hidráulica u otras. Como ejemplo, en la Fig. 1 se muestra una turbina eólica americana de 1,5 MW. Su hélice tiene un diámetro de 70 a 80 m y está montada sobre una torre de 65 a 80 m.



Figura 1. TURBINA EÓLICA DE 1,5 MW

Origen: Estados Unidos

Diámetro de la hélice = 70,5 – 77 – 82,5 m

En nuestro país, se están desarrollando dos turbinas de estas potencias y es posible que próximamente estén funcionando los primeros prototipos.

En forma experimental, en Europa, ya están operando máquinas de 3 MW y 5 MW. Estas máquinas son de dimensiones extraordinarias. La Fig. 2 muestra la turbina alemana de 5 MW cuya hélice de 126 m de diámetro está montada sobre una torre de 120 m de altura. La hélice pesa 18 ton. mientras que el peso de la barquilla más la hélice alcanza las 400 ton. Es capaz de generar 17 GWh/año con los que pueden abastecer a 4.500 hogares.

### **Límite del crecimiento**

Si bien la tecnología progresa notablemente es muy problemático plantearse hasta qué tamaño podrán crecer las turbinas. ¿Será viable una turbina de 10 MW o de 100 MW? Es difícil prever el límite pero este gigantismo puede asustar. Una turbina eólica de 10 MW tendría una hélice de aproximadamente 178 m de diámetro y una de 100 MW tendría una hélice de 563 m.

La altura de la torre también tiene sus límites. A mayor altura, el viento es más fuerte, más constante y con menor turbulencia pero en las torres altas el costo crece rápidamente con el incremento de la altura, no pudiendo compensar el aumento de la velocidad del viento. Para torres tubulares de acero, el óptimo se ubica entre los 90 y 100 m, ref 3, sin embargo, se debe tener presente que pueden existir serias limitaciones locales en el lugar donde se instalan las turbinas por

la necesidad de contar con grúas muy grandes, no siempre disponibles. También debe tenerse en cuenta que las torres de acero de diámetros mayores de 4 m son muy difíciles de transportar. Para ilustrar el significado del crecimiento de tamaño, veamos qué sucede en la naturaleza si se pudiera aumentar a escala las dimensiones de un insecto. Veremos que su cuerpo que es un volumen aumenta como el cubo de una longitud mientras que la sección de sus patas que debe soportar el peso del cuerpo crece como el cuadrado de la longitud. Esto significa que en las patas, la tensión = peso / superficie, aumenta proporcionalmente con la longitud y muy pronto el aumento de tamaño del insecto producirá el colapso de las patas. La sección de éstas debería crecer como el cubo de la longitud y en este caso, nos quedaría un cuerpo grande con patas enormemente gruesas. Algo similar les sucede a las turbinas eólicas muy grandes.

En estas máquinas se viene cumpliendo que a mayor tamaño, menor costo de generación pero, la fuerza de la gravedad impone ciertas limitaciones que deberíamos respetar. Respetar, a pesar de la tendencia de ver como mejor, lo más grande, y considerar que el tamaño de una turbina no debería apartarse mucho de la escala humana.

Las turbinas de 1,5 MW funcionan bien y ya son bastante grandes. Tal vez deberíamos detenernos aquí. El tiempo lo dirá.

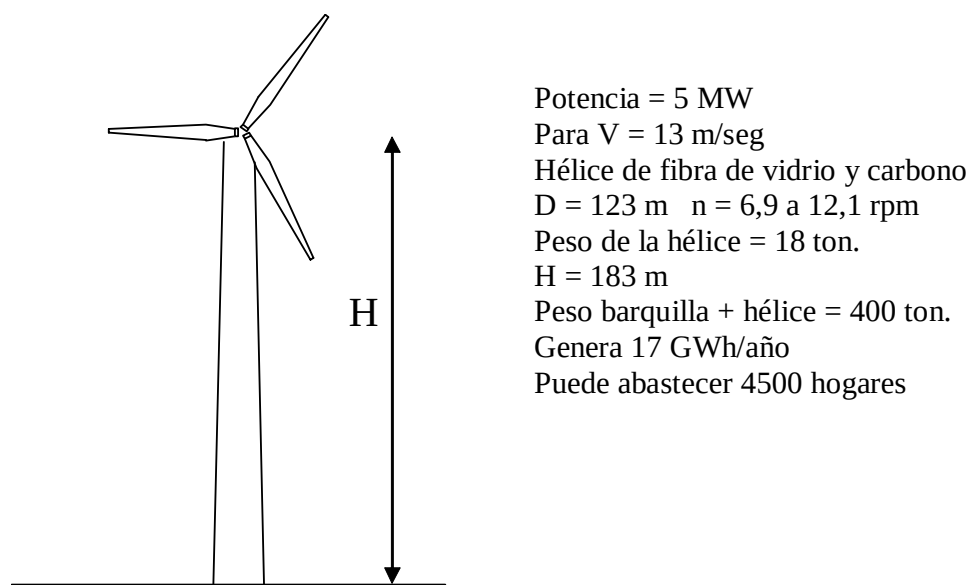


Figura 2. Turbina Eólica Alemana  
RE Power System AG – 5 M Offshore

### Toda la energía con turbinas eólicas

Las centrales eólicas, compuestas por numerosas turbinas de viento, están conectadas a la red eléctrica. Actualmente, aún en los países entusiastas por estas energías limpias la generación eólica es una pequeña proporción de la convencional que en general no alcanza al 20%.

El grado de penetración de potencia eólica se mide como la relación entre la potencia eólica instalada y la potencia instalada total considerando todas las fuentes. También se considera según los casos el grado de penetración energética que es la relación entre la energía eólica realmente entregada a la red eléctrica y la energía total entregada por todas las fuentes.

Poder entregar energía eólica con elevado grado de penetración significa haber podido resolver una serie de problemas técnicos a un costo razonable. Los avances tecnológicos de los últimos tiempos están solucionando progresivamente estos problemas y existen ejemplos con elevadísimos niveles de penetración. Pero, ¿sería permisible una penetración total? Si en nuestro país fuese posible generar toda la energía demandada con turbinas eólicas, ¿la superficie ocupada por las turbinas

tendría una extensión razonable o sería necesario cubrir todo el territorio argentino con estas turbinas?.

Hagamos un cálculo simple para contestar esta pregunta.

Inicialmente veamos como ha evolucionado la potencia total instalada para la generación de electricidad con fuente térmicas, hidráulicas y nuclear en la Argentina. La Fig. 3 muestra esta evolución donde la energía para el año 2005 ha sido extrapolada a fin de completar los valores de la tabla..

Si quisiéramos satisfacer la generación actual de aproximadamente 77545 GWh/año, totalmente con turbinas eólicas de una potencia de 1,5 MW, ¿cuántas turbinas serán necesarias? ¿qué superficie cubrirían todas estas turbina?

| Año                           | Potencia instalada (MW) | Generación (GWh/año) |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1960                          | 2300                    | 7800                 |
| 1970                          | 4800                    | 17000                |
| 1980                          | 10000                   | 36000                |
| 1990                          | 15000                   | 47250                |
| 1995                          | 18148                   | 64601                |
| Fuente: Secretaría de Energía |                         |                      |
| 2005                          | 22490                   | 77545                |

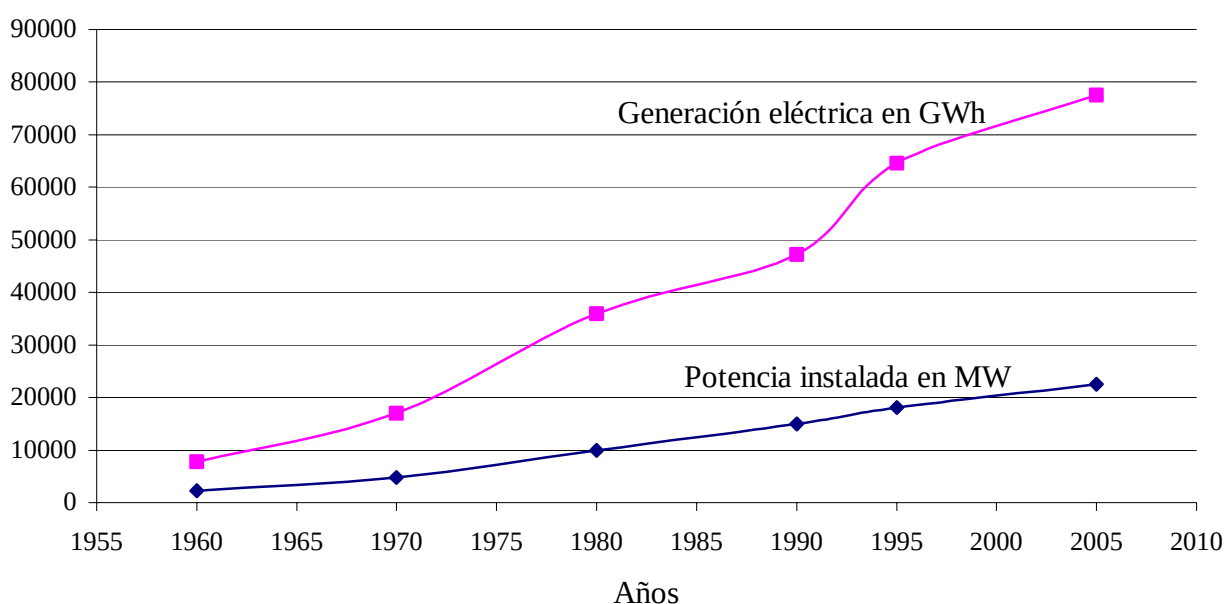


Figura 3. POTENCIA INSTALADA Y GENERACIÓN (República Argentina)

Para evaluar la producción de energía de una turbina se utiliza el factor de capacidad que se define como la relación entre la energía realmente generada en un cierto período de tiempo, que podría ser un año y el producto de la potencia nominal de la turbina por el intervalo de tiempo considerado.

$$F_c = \frac{E_a}{P_n \cdot 8760}$$

El factor de capacidad depende de la calidad y diseño de la turbina y del viento de la zona. Para una turbina de avanzada tecnología operando en una zona con buenos vientos, el factor de capacidad se puede estimar en 0,40.

Con estos datos se puede calcular la energía generada por una turbina.

$$E_a = F_c P_n 8760$$

Para una máquina con una potencia nominal de 1,5 MW = 1500 KW, con una hélice de 70,4 m de diámetro, se obtiene

$$E_a = 0,40 \cdot 1500 \text{ KW} \cdot 8760 \text{ hs/año} = 5,256 \cdot 10^6 \text{ KWh/año}$$

Las turbinas en una central eólica deben estar separadas entre ellas, para evitar perturbaciones mutuas, por una distancia de unos 10 diámetros de la hélice. Fig. 4.

Entonces, la superficie ocupada por cada turbina será

$$S = 704^2 \text{ m}^2 = 0,704^2 \text{ Km}^2 = 0,496 \text{ Km}^2.$$

Entonces, una turbina de 1,5 MW genera una energía

$$E_a = 5,256 \cdot 10^6 \text{ KWh/año y ocupa una superficie } S = 0,496 \text{ Km}^2.$$

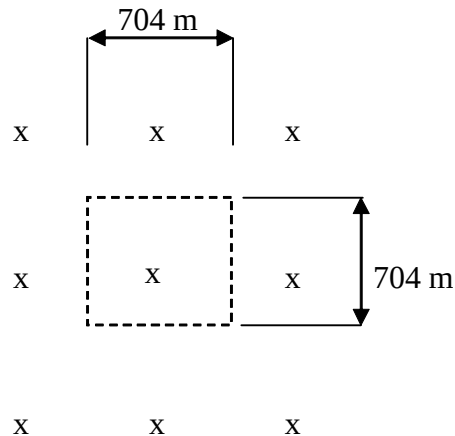


Figura 4. Distribución de turbinas

Como habíamos visto, la generación actual total en la Argentina es de 77545 GWh/año

$$E_T = 77545 \cdot 10^6 \text{ KWh/año}$$

Para generar toda esta energía con turbinas eólicas de 1,5 MW nos harían falta

$$N = \frac{E_T}{E_a} = \frac{77545 \cdot 10^6 \text{ KWh/año}}{5,256 \cdot 10^6 \text{ KWh/año}} = 14754 \text{ turbinas}$$

Como cada turbina ocupa una superficie de 0,496 Km<sup>2</sup> sería necesaria una superficie de

$$S_T = 14754 \text{ turbinas} \cdot 0,496 \text{ Km}^2 = 7318 \text{ Km}^2$$

Esta superficie es equivalente a un cuadrado de 85,5 Km de lado.

Este resultado es muy alentador con posibilidades reales para el desarrollo de granjas eólicas en nuestro país.

Una observación adicional. Una turbina de 1,5 MW cuesta aproximadamente 1,2 millones de U\$S y por lo tanto las 14754 turbinas representan una inversión de casi 18 mil millones de U\$S.

## **Costo del desarrollo**

Para el diseño de una turbina eólica grande de una potencia de 1 MW ó 1,5 MW, que tiene un precio de venta de aproximadamente un millón de U\$, es necesario invertir para su desarrollo varias veces este valor. Cuando para el diseño y la construcción del prototipo se usa una tecnología conocida, este factor es pequeño pero si hablamos de tecnología de punta con la utilización de materiales y sistemas especiales los valores se incrementan.

Como ejemplo de esta relación para el desarrollo de máquinas muy avanzadas podemos citar los valores correspondientes al avión Airbus A380 que voló por primera vez en Abril de 2005. Este avión tiene una estructura con un 60% de aleación de aluminio, 20% de titanio y un 4% de un material nuevo compuesto por varias capas de aluminio de espesor entre 0,3 y 0,5 mm y entre ellas, fibra de vidrio impregnada en resina. El desarrollo de este avión costó más de 13.000 millones de U\$ y su precio de venta es de 225 a 260 millones de U\$ según la versión. Es decir que entre el costo de desarrollo y el de venta hay una relación mayor de 50.

En un estudio sobre los costos de turbinas eólicas americanas y europeas de una potencia de 100 a 500 KW se ha constatado que este factor varía entre 10 y 12. Por estas razones, teniendo en cuenta que para desarrollar una turbina eólica del orden del MW se necesitarán poner a punto técnicas nuevas con sus correspondientes ensayos y modificaciones, es posible que este factor pueda superar los 15.

Por lo tanto, para desarrollar una turbina de una potencia de 1,5 MW, que tiene un valor de venta aproximado de 1,2 millones de U\$, se requerirán unos 18 millones de U\$. Por supuesto, estos valores son orientativos y mucho depende de la capacidad industrial y el nivel tecnológico de la empresa que realice el desarrollo.

## **Conclusiones**

En este trabajo se han expuesto algunas dudas y las grandes posibilidades que presentan las turbinas eólicas. Las dudas se irán contestando progresivamente mediante nuevos desarrollos y experimentaciones, percibiéndose que el notable avance tecnológico de los últimos años es capaz de encontrar soluciones adecuadas a los problemas que se van presentando dentro de los límites que impone la naturaleza.

Por su parte, las posibilidades de la energía eólica presentan en la actualidad un grado de optimismo muy particular pues todo indica que se le reclamará toda la energía que pueda proveer y esa misma demanda motivará un mayor desarrollo.

## **Referencias**

1. The European Wind Energy Association (EWEA), the European Commission's Directorate General for Transport and Energy (DG TREN). "Wind Energy - The Facts", Diciembre 2003.
2. Bastianon, R.A., "Energía del viento y diseño de turbinas eólicas", Ed Tiempo de Cultura, Buenos Aires, Agosto 1994.
3. Brughuis, F.J., "Large wind turbines: how high can you go?", Advanced Tower Systems BV, the Netherlands, 2005.