

## SITUACION ACTUAL DE LA ENERGIA EOLICA

Ricardo A. Bastianón \*

Servicio Naval de Investigación y Desarrollo

### Resumen

En este trabajo, se explican las razones que han motivado los estudios y desarrollos de los últimos tiempos para generar energía a partir del viento. Se demuestra que en la actualidad el problema no reside en las posibilidades de la energía eólica, que son reales y conocidas, sino en lograr que los costos resultantes sean comparables con los de origen convencional.

Para lograr este objetivo se consideran dos aspectos fundamentales:

1. Diseño simple y eficiente de los aerogeneradores. Para ello se analizan los proyectos de avanzada más significativos, con turbinas de eje horizontal y vertical, con sus ventajas y desventajas.
2. Exploración cuidadosa de las zonas de vientos intensos y persistentes, para la instalación de los aerogeneradores en el sitio óptimo. Esta exploración es realizada con modelos numéricos que tienen en cuenta la forma del terreno, la variación del perfil de velocidades con la altura y los datos provistos por unas pocas centrales de medición.

## PRESENT STATE OF WIND ENERGY

### Abstract

This paper explains the reasons for the effort devoted during the last years to exploit wind energy. It is shown that the present problem is not to demonstrate the wind energy possibilities but to improve its cost to make it comparable with those obtained for other sources.

To accomplish this purpose, two basic aspects have to be considered:

1. Simple and efficient design of wind generators. The most important projects are analyzed including horizontal and vertical axis turbines. Their advantages and disadvantages are considered.
2. Careful exploration of regions with high and persistent winds in order to install the generators at optimum places. This exploration is made by using numerical models that take into account the ground shape, variation of wind profile with height and the data provided by a few meteorological stations.

\* Director Científico del Servicio Naval de Inv. y Desarrollo.

## Introducción

La reciente crisis energética mundial ha forzado a muchos países a explotar las posibilidades de obtener energía a partir de recursos naturales no convencionales. Entre éstos, resultan sumamente atractivos los no agotables por estar liberados de la escasez temporal o permanente que pueden sufrir los tradicionales. Un sistema que cumple con estos requisitos es el que aprovecha la energía del viento para producir energía mecánica o eléctrica y que, adicionalmente, realiza esta conversión energética, sin producir contaminación.

La utilización de molinos de vientos para la extracción de aguas subterráneas o para la molienda de granos es muy antigua y, en la mayoría de los casos, eran instalaciones de poca potencia. Sin embargo, esta forma de obtener energía llegó, en algunas oportunidades, a proporciones considerables como en el caso de Dinamarca que en 1910 tenía tal cantidad de molinos en funcionamiento que totalizaban una potencia instalada de aproximadamente 200 MW (Ref.1). En esta época, varios desarrollos fueron llevados a cabo principalmente en Europa y Estados Unidos, motivados por la posibilidad de aprovechar la energía que gratuitamente estaba al alcance de todos. Se pensó entonces en equipos de alta potencia, pero, desafortunadamente, los intentos realizados demostraron que si bien el viento era gratis, las instalaciones requeridas eran costosas y económicamente no podrían competir con las centrales térmicas de la época.

Estudios realizados en Estados Unidos en 1940 (Ref.2), indicaron que el costo aproximado era de 200 u\$s/KW de potencia instalada mientras que, para plantas hidro o termoeléctricas, era de 125 u\$s/KW, es decir que el KW instalado en energía eólica era 60% más caro que el convencional. Estos hechos produjeron un desaliento temporario. Sin embargo, a medida que transcurría el tiempo la tecnología seguía progresando y, con ello, favoreciendo la relación costo/potencia. Finalmente, la crisis petrolera motivó las investigaciones y nuevos desarrollos para la extracción de energía de fuentes no convencionales.

La energía eólica comenzó entonces a ser observada con un renovado entusiasmo ya que complejos problemas técnicos habían sido aceptablemente resueltos y, por otro lado, se hallaron nuevas y promisorias alternativas para captar este tipo de energía (Ref. 3).

En la actualidad, el problema ya no es demostrar las posibilidades, que son reales y conocidas, sino demostrar que el costo del KW obtenido es comparable con el producido a partir de otras fuentes. Para complementar este objetivo se actúa sobre dos aspectos fundamentales:

1. Diseño más simple y eficiente de los aerogeneradores.
  2. Exploración cuidadosa de la zona de vientos para la instalación de los aerogeneradores en el sitio óptimo. Esta exploración se realiza utilizando métodos numéricos experimentales para evaluar el potencial energético disponible.
- Ambos aspectos y posibilidades son analizados a continuación.

### Turbinas y Otros Captadores de Energía

La potencia que se encuentra disponible en el viento está dada por:

$$P_v = \frac{1}{2} \rho V_v^3 A \quad (1)$$

donde  $\rho$  es la densidad del aire,  $V_v$  la velocidad del viento y  $A$  el área considerada. Esta potencia no es totalmente aprovechada debido a las distintas pérdidas que tienen las hélices.

Se puede apreciar que siendo proporcional el área para obtener grandes potencias se requieren grandes superficies de captación, resultando económicamente ventajoso tener un sistema de gran potencia. Estas observaciones han conducido al diseño y construcción de unidades gigantescas como la realizada en Estados Unidos por la NASA (Figura 1), cuyo diámetro de la hélice es de 37,5 m. y es capaz de producir entre 100 y 200 KW. En el mismo tipo de turbinas para potencias de 1,5 MW, el diámetro es de 61 m.

Estas dimensiones son realmente considerables si se tiene en cuenta que son elementos móviles que originan múltiples problemas estructurales, aerodinámicos y de resistencia de materiales. Entre ellos podemos mencionar que cuando el enorme peso correspondiente a una de estas palas sube y baja en cada vuelta, produce una severa carga alternativa sobre la estructura de la hélice que se superpone a la fuerza centrífuga por rotación.

Además, como el viento aumenta su velocidad con la altura, por el efecto de la capa límite sobre la tierra, produce una presión dinámica mayor que en la parte superior del disco de la hélice y menor en la inferior, sometiendo las palas a un esfuerzo de flexión alternativa.

Para estas dimensiones la hélice debe girar detrás de la torre que la soporta y, como esta torre también enfrenta al viento, produce una estela turbulenta de magnitud que perturba a las palas en su pasaje, originando una fuerza impulsiva sobre las mismas a cada revolución.

Por otro lado, una turbina debe estar diseñada para arrancar con baja velocidad de viento y funcionar eficientemente para altas y bajas velocidades. Esto se obtiene con una hélice de paso variable, ya sea por medios mecánicos o diseñándola de tal modo que la misma presión del viento produzca una rotación automática de la pala alrededor de su eje longitudinal. Este mecanismo también debe contemplar que con vientos huracanados la hélice deberá colo-

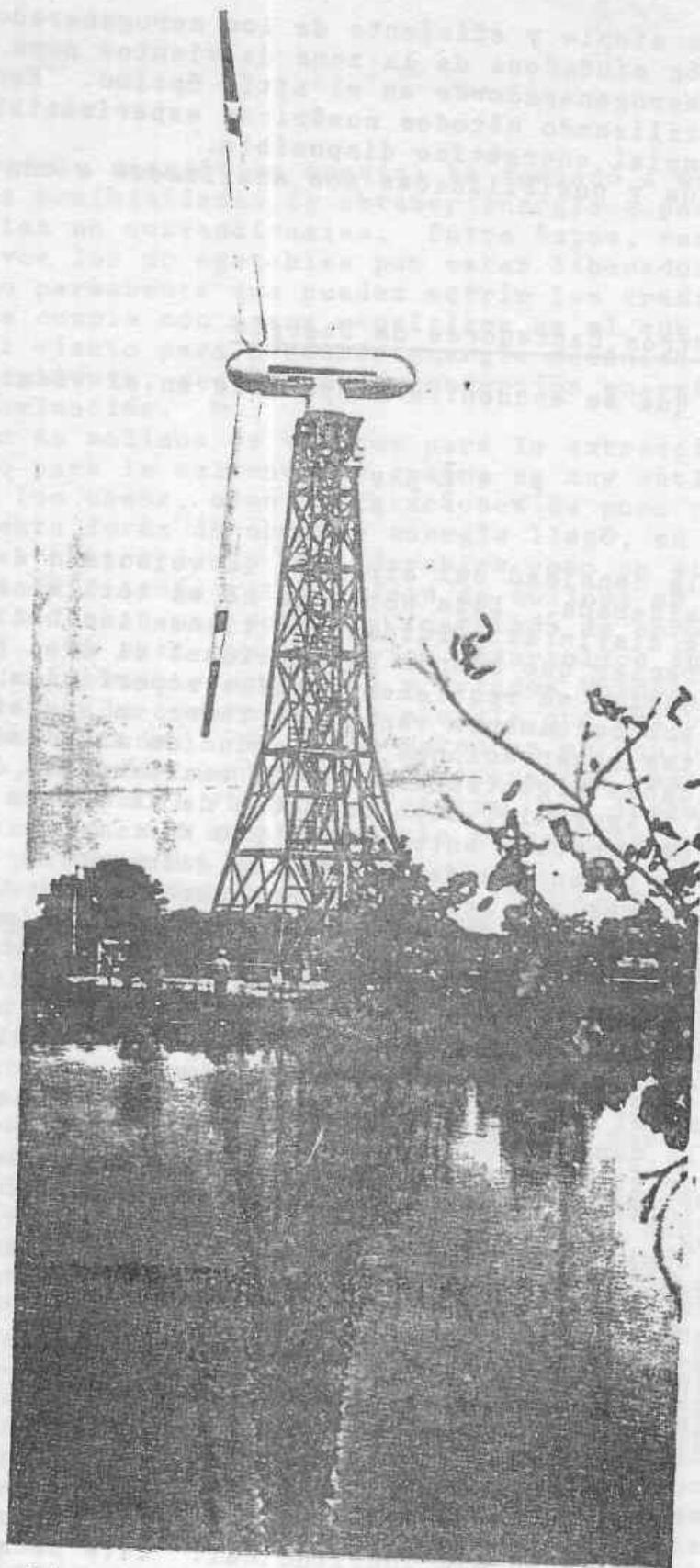


Figura 1. Turbina de 37,5 m. de diámetro, construida por la NASA en Sandusky, Ohio.

carse en bandera, evitando la destrucción del equipo. Estos fenómenos exigen la resolución de delicados problemas de ingeniería, la utilización de métodos de cálculo aerodinámicos y estructurales muy precisos y materiales altamente resistentes. En este aspecto, la última palabra tecnológica es requerida para po-

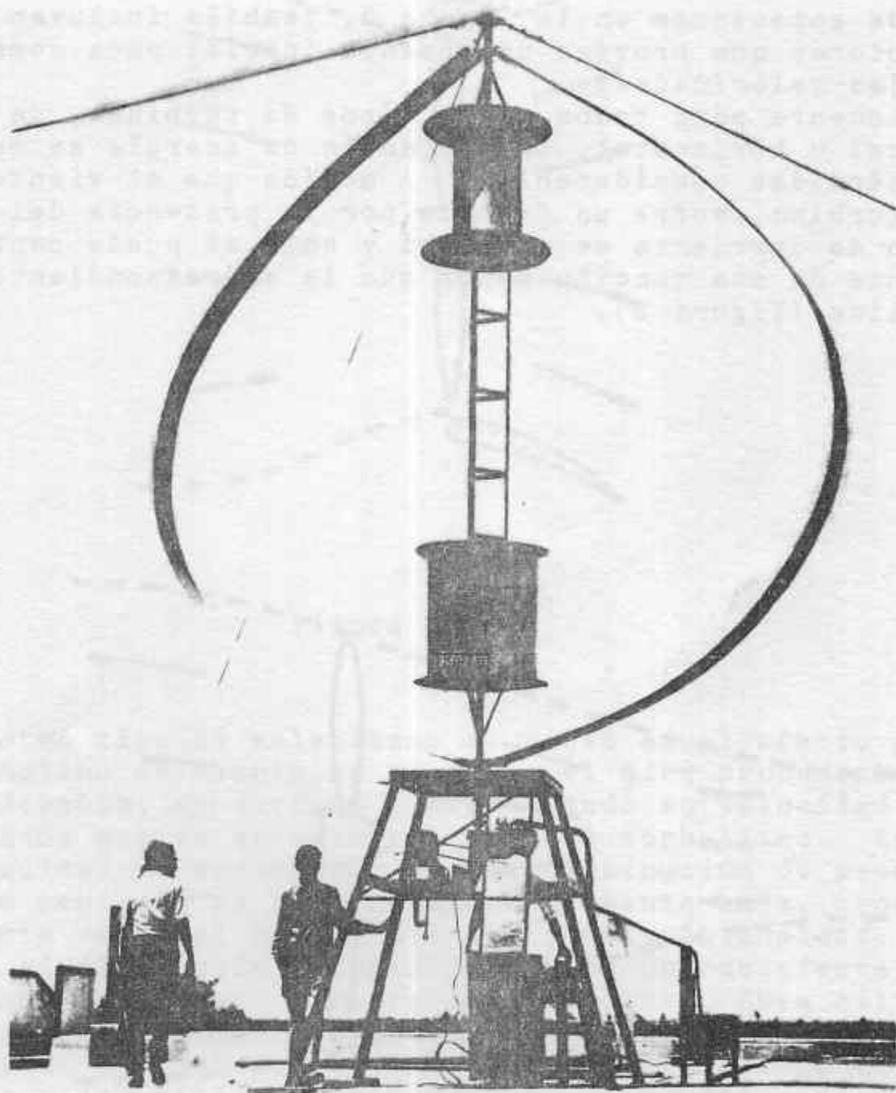


Figura 2. Turbina tipo Darrieus.

der obtener una eficiencia global del sistema que resulte en un costo de energía competitivo con el obtenible por otros recursos. En la búsqueda de sistemas más eficientes o de concepción más simple, que pudieran de algún modo evitar los difíciles problemas descritos, se idearon diversos diseños entre los que se destacan las turbinas del tipo Darrieus de eje vertical (Figura 2). Tiene la ventaja de que es independiente de la dirección del viento y, al tener su eje de rotación vertical, desaparecen muchos de los problemas alternativos producidos por efecto de la gravedad. Este modelo fue patentado en 1931 incluyendo también una configuración de palas rectas verticales que giraban cambiando su ángulo de ataque cíclicamente.

Como puede apreciarse en la Figura 2, también incluyen sobre el eje dos rotores que proveen un momento inicial para comenzar a girar a bajas velocidades.

Lamentablemente para todos estos tipos de turbinas, ya sean de eje vertical u horizontal, la captación de energía se realiza sufriendo pérdidas considerables. A medida que el viento se aproxima a la turbina, sufre un frenado por la presencia del obstáculo y el tubo de corriente se ensancha y sólo se puede captar el aire proveniente de una sección menor que la correspondiente al disco de la hélice (Figura 3).

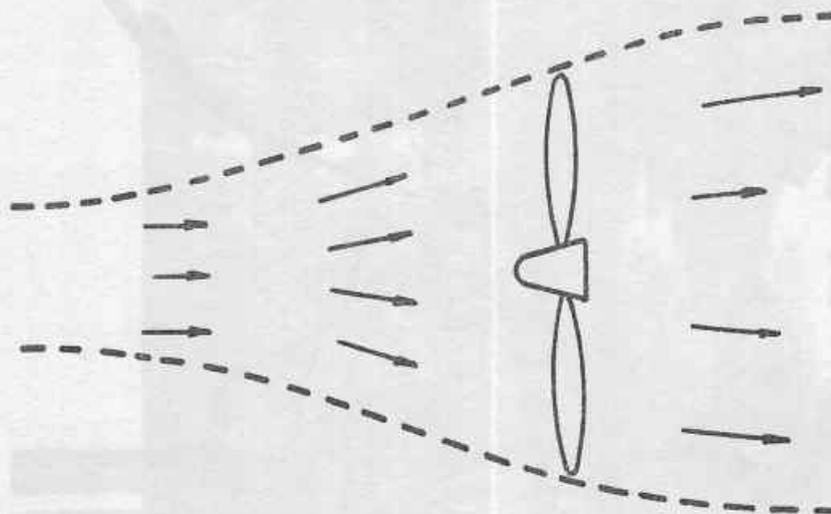


Figura 3

Tratando de evitar este fenómeno se diseñaron carenados de hélice, que produce en el plano de salida una depresión que succiona el aire a través de la hélice (Ref.4). Esta aspiración acelera el flujo produciendo una contracción del tubo de corriente, lo cual permite captar energía de una sección mucho mayor que la correspondiente a la dimensión de la turbina. De este modo la misma potencia puede obtenerse con un equipo de menor tamaño. (Figura 4).

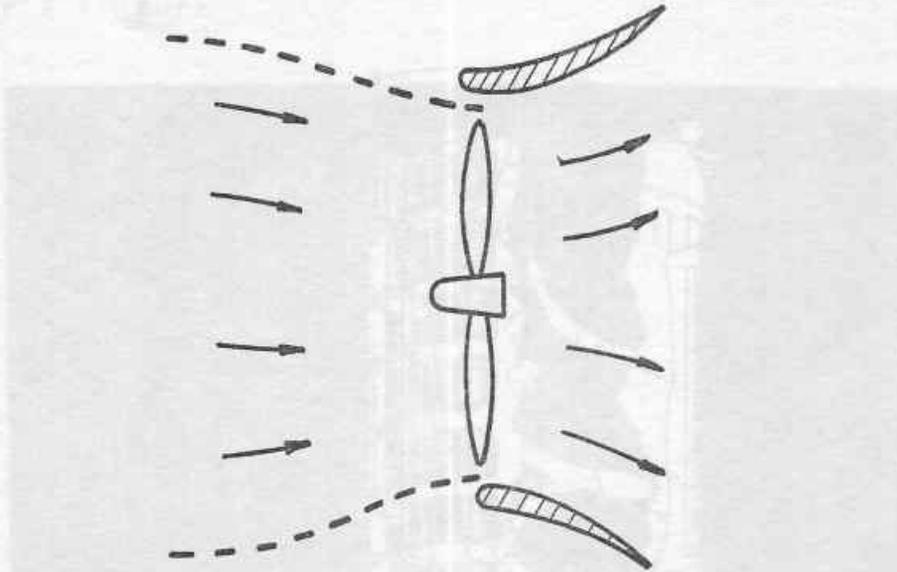


Figura 4

Buscando otro tipo de soluciones se pensó en el efecto producido por un remolino de viento en el cual, el aire procedente de un área considerable, se enrosca incrementando su velocidad tangencial a medida que se aproxima al ojo del torbellino. Este aumento de velocidad va acompañado de una disminución de presión que, en la zona central, se hace considerablemente baja, produciendo una corriente vertical ascendente de notable intensidad.

Un efecto similar puede materializarse en un recipiente cilíndrico en el que se inyecta aire tangencialmente. Este cilindro, conocido como tubo vorticoso y que produce el vórtice confinado, fue patentado en 1930 por G.J. Ranque y, a partir de entonces, esta idea ha sido utilizada en un sinnúmero de aplicaciones (Ref.5). Entre los principales, pueden mencionarse los correspondientes a propulsión nuclear, magnetohidrodinámica, combustión, y últimamente, J.T. Yen de Grumman lo aplicó para la obtención de energía eólica (Ref.6).

En este caso, el vórtice se encuentra confinado en una torre cilíndrica con ventanas longitudinales dispuestas de tal modo que

permiten la entrada del viento en forma tangencial y excitando de este modo al vórtice en su interior (Figura 5). En la parte inferior un convergente facilita la entrada del aire hacia el núcleo central, en cuya sección más estrecha va colocada la turbina. Como puede apreciarse, este sistema posee casi todas las ventajas de los descritos anteriormente y casi ninguno de sus inconvenientes.

Teniendo la turbina su eje vertical, está liberada de las cargas alternativas gravitatorias y, además, el generador eléctrico puede estar apoyado en la plataforma de base.

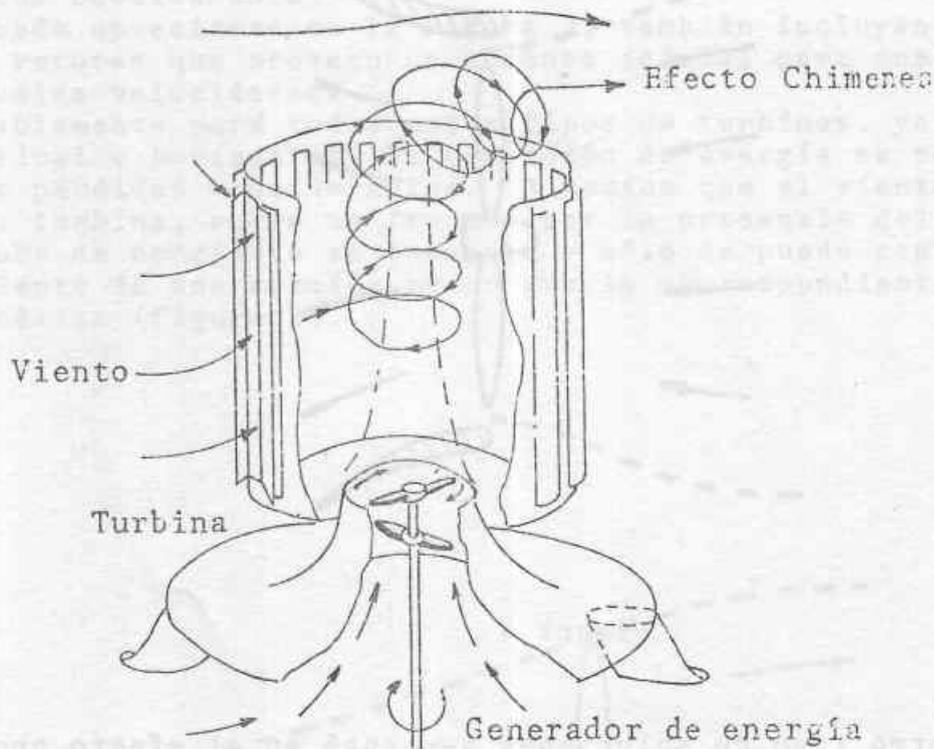


Figura 5

El vórtice en sí, es un centro de baja presión que aspira aire de un espacio mucho mayor que el representado por la torre, consiguiendo la ventaja de los aumentadores de área. La energía es concentrada en el centro que, con su baja presión, aspira el aire a velocidad considerable a través de la hélice. Este hecho es su mamente importante por cuanto la potencia aprovechable es función de la velocidad al cubo, con lo cual es posible obtener una determinada potencia con un área de turbina mucho menor. Siendo la turbina de tamaño reducido, los problemas dinámicos desaparecen. Este sistema se encuentra actualmente en desarrollo para determinar los parámetros fundamentales del mismo, que no son aún bien

entendidos. Sin embargo, es evidente que varios efectos interactúan favorablemente, como el efecto chimenea producido por el aire que pasa por encima de la torre y que se adiciona a los otros mencionados.

Este sistema parece tener un futuro promisorio pues no requiere ninguna tecnología sofisticada y puede aún pensarse que llegará a ser el sistema para las grandes potencias, pues su construcción sería similar a un edificio. La torre cilíndrica sería de hormigón y, en este caso, podría resultar realmente competitivo desde el punto de vista económico, con otros generadores convencionales de energía (Figura 6).

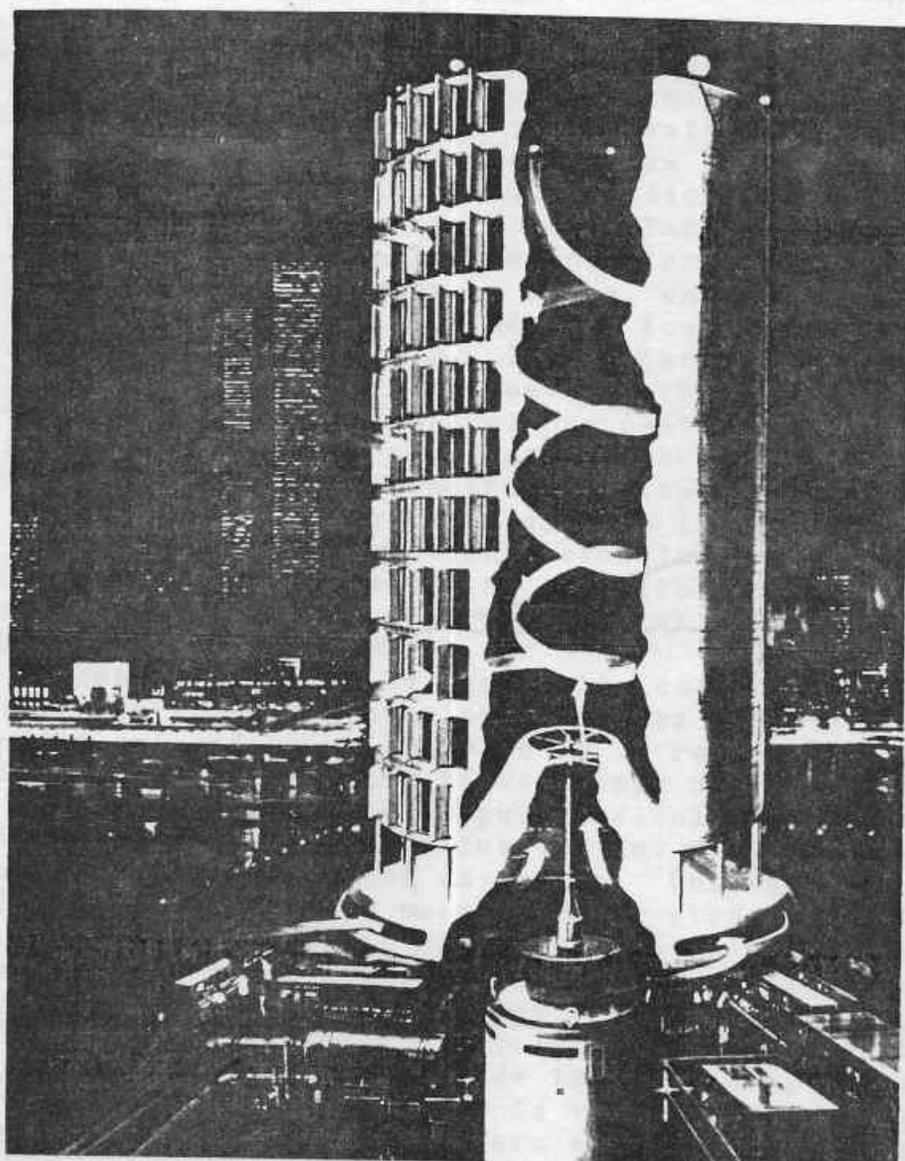


Figura 6

## Exploración de la Zona de Vientos

La ubicación de aerogeneradores debe efectuarse en lugares de vientos intensos y persistentes para poder extraer la mayor potencia posible de una determinada instalación.

En nuestro país la zona patagónica es conocida por sus constantes vientos, lo que la hace sumamente apta para la extracción de este tipo de energía. Tomando los datos registrados en Puerto Madryn por el Servicio Meteorológico Nacional sobre intensidad y frecuencia de los vientos durante el período 1963-1972, se ha construido el gráfico velocidad-frecuencia de la Figura 7. Un cierto porcentaje, por ejemplo el 65% del tiempo, la velocidad del viento es igual o superior a 5 m/s.

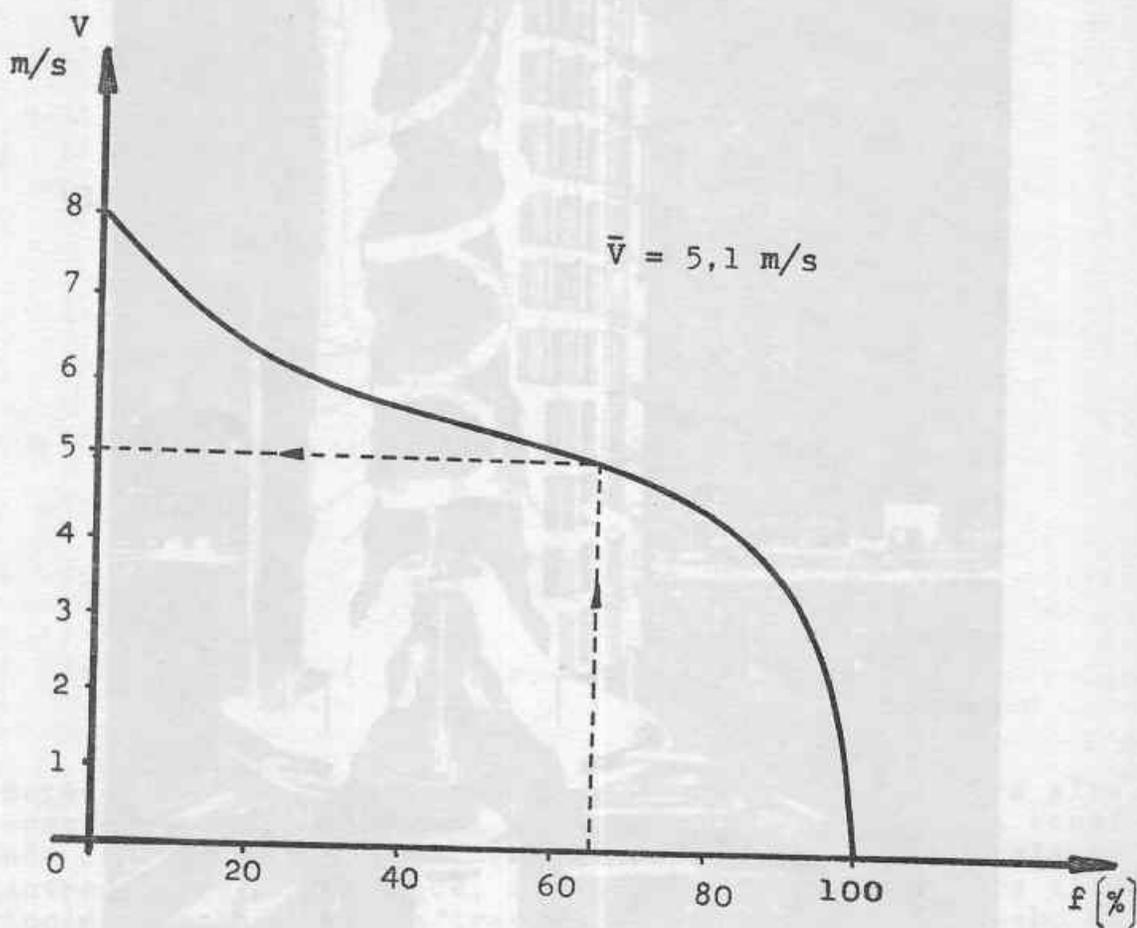


Figura 7

Este estudio es útil para el lugar especificado pero, lo que en realidad se desea, es la evaluación de toda la región patagónica para poder determinar las zonas más aptas y, en particular, conocer si existe algún punto especialmente favorecido.

Como el régimen de vientos es sumamente afectado por las irregularidades del terreno, tales como montañas, costas y valles, deberán explorarse estas zonas con mayor cuidado ya que las condiciones varían considerablemente en poca distancia y es precisamente donde puede encontrarse el punto más favorecido que estamos buscando. La cima de una montaña, por ejemplo, puede ser el lugar adecuado, pero deberá verificarse si no sufre la perturbación de otra montaña próxima o, en el caso de soplar vientos huracanados, qué partes resultan menos expuestas.

Lamentablemente, en terrenos irregulares y extensos las mediciones son difíciles y costosas, por lo que deberá aprovecharse toda la información proveniente de estaciones meteorológicas existentes. Estas pueden contener información valiosa aunque pueden no poseer algunas por haber sido establecidas para otros fines. Esto puede suceder por la ubicación, periodicidad de las mediciones o métodos usados en las observaciones. También hay que incluir los registros efectuados en los aeropuertos, teniendo en cuenta que la ubicación de los mismos es hecha, en general, evitando zonas ventosas y por lo tanto alejadas de los puntos que más interesan para extracción de energía. Dichos datos pueden ser muy útiles para decidir dónde instalar nuevas estaciones de mediciones que provean la información para el propósito perseguido.

Si la elaboración de datos existente es correcta, las nuevas estaciones resultarán inteligentemente distribuidas. Sin embargo, es difícil que estas centrales coincidan con los puntos óptimos buscados y es imposible colocar muchas estaciones de medidas por el costo que representan los equipos. La situación es realmente crítica cuando el área que se debe explorar es extensa como en el caso de la Patagonia.

Se hace necesario entonces el desarrollo de un modelo numérico que, utilizando los datos provistos por las estaciones, calcule la velocidad del viento en el resto de la región, teniendo en cuenta la forma del terreno y la variación del perfil de velocidades con la altura. Este modelo puede calcular los vientos en zonas rectangulares del orden de los 100 Km. de lado, que incluyan en su interior las estaciones de medida. Una vez desarrollado este modelo, puede utilizarse para calcular otras regiones con sólo cambiar los datos de entrada correspondientes a las nuevas irregularidades del terreno y los vientos medidos en las estaciones que se encuentran dentro de la nueva región.

Finalmente, la determinación del potencial energético deberá contemplar las limitaciones propias de las turbinas, que son capaces de operar sólo en un cierto rango de velocidades. El viento debe sobrepasar una velocidad mínima para el arranque y no tiene que exceder una velocidad máxima de seguridad de funcionamiento. Además, la zona debe estar libre de huracanes, que podrían llegar a destruir las instalaciones.

Una vez conocidos los lugares privilegiados por su potencial energético, podrá elegirse uno de ellos en base a su proximidad a cen

tros de consumo o tener en cuenta otros factores que intervengan en la elección del sitio.

En síntesis, para elegir el punto más adecuado para instalar los captadores de energía, se deben efectuar los siguientes pasos:

1. Recopilación y análisis de toda la información disponible proveniente de las estaciones de medidas existentes.
2. Instalación de estaciones de mediciones en lugares apropiados que produzcan conformación específica, sobre todo en lo que se refiere a periodicidad de las mediciones.
3. Obtención de las curvas de nivel del terreno.
4. Desarrollo de un modelo numérico apropiado para calcular la velocidad del viento en regiones extensas a partir de unas pocas mediciones.
5. Determinación del potencial energético.

### Conclusión

Con el nivel tecnológico actual se pueden construir aerogeneradores capaces de captar la energía del viento y transformarla en energía eléctrica a precios competitivos con los que pueden obtenerse a partir de fuentes convencionales. Sin embargo, debe cumplirse con la condición de que las instalaciones estén ubicadas en sitios de elevada densidad de vientos.

El crecimiento del consumo energético producido por el aumento de la población y las exigencias de los complejos industriales, pronostican para el futuro una demanda creciente de energía. Simultáneamente, la aplicación de la energía eólica es una realidad presente que irá mejorando día a día, debido a que los adelantos tecnológicos harán cada vez más factible la obtención energética por estos medios, sin la necesidad de combustibles escasos y costosos.

Estos dos hechos, aumento de la demanda energética y creciente conveniencia en el aprovechamiento de los vientos, revelan un futuro muy promisorio para la energía eólica.

### Referencias

1. Puthoff, R.L. y Sirocky, P.J., "Preliminary Design of a 100 KW Wind Turbine Generator". NASA IM X-71585, 1974.
2. NASA - Lewis Research Center, "Wind Energy Conversion Program", 1974.
3. Erramuspe, H., "Energía Eólica". Ciclo de Conferencias del Servicio Naval de Investigación y Desarrollo. Buenos Aires, Junio 1977.
4. Oman, R.A., Foreman, K.M. y Gilbert, B.L., "A Progress Report on the Diffusser Augmented Wind Turbine". Grumman Aerospace Co., 1977.

5. Smithson, I.K., "Some Pressure Characteristics of Confined Vortex Flow". Journal of the Institute of Fuel., pp.147-152, March 1972.
6. Yen, J.T., "Tornado-Type Wind Energy System". Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, 1975.