INDICE

# LA REVISTA SOLAR

PUBLICACIÓN DE LA ASOCIACIÓN NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR (ANES) • NÚMERO 15 • INVIERNO DE 1988

SECCIÓN MEXICANA DE LA INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY (ISES)

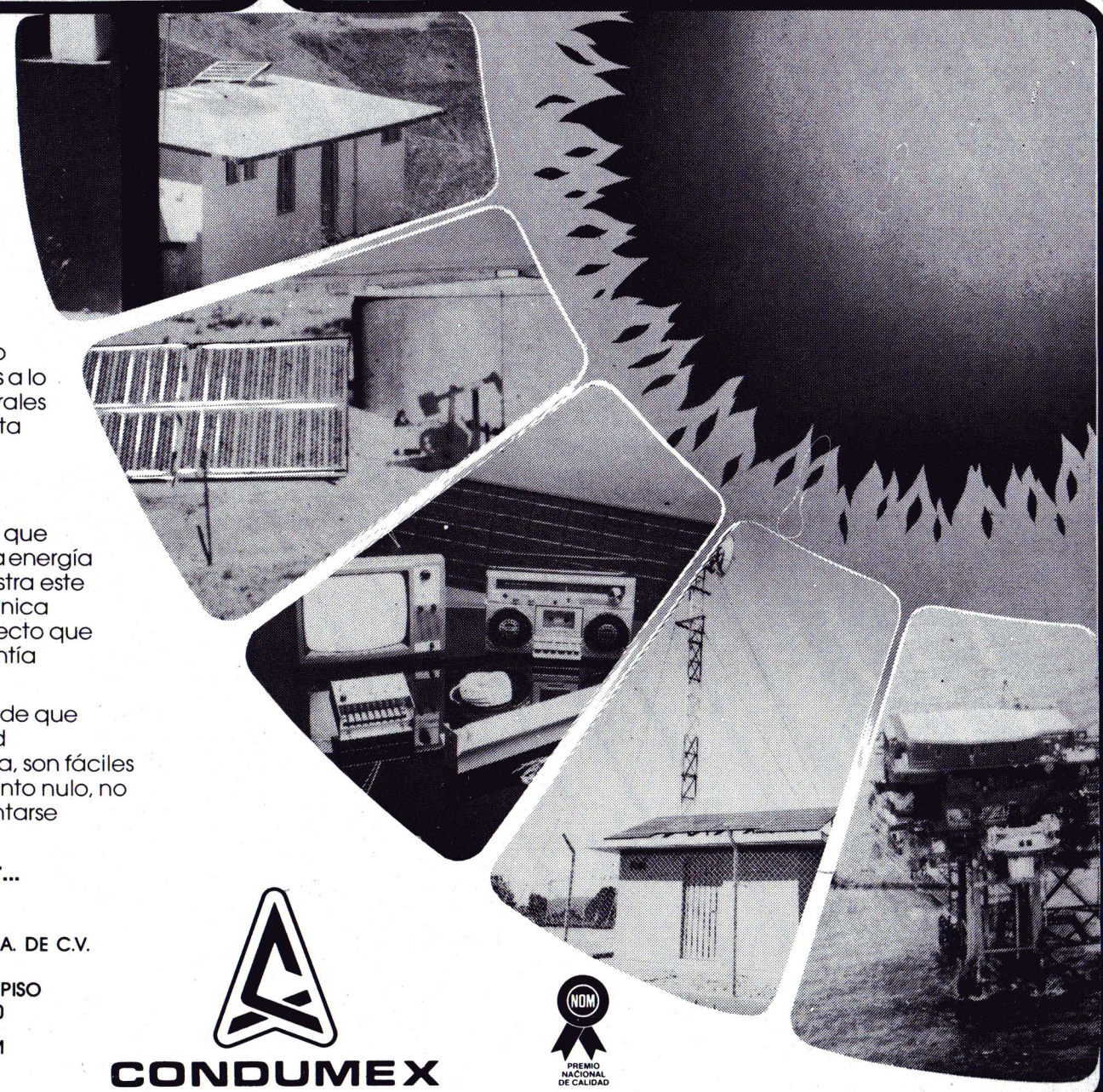
EN ESTE NÚMERO:

*La energía eólica: su naturaleza y sus aplicaciones.*

$ 3000.00

# Lo que antes era solo un proyecto...

## ahora es una electrificante realidad.



A poco tiempo de iniciar el Area de Energía Solar, CONDUMEX ha instalado exitosamente Plantas Eléctricas Solares a lo largo del país, desde casas y clínicas rurales localizadas en zonas montañosas, hasta repetidoras de comunicaciones y plataformas petroleras en la Sonda de Campeche.

CONDUMEX no solo instala los equipos que generan electricidad aprovechando la energía del sol, sino que es el único que suministra este tipo de equipos y ofrece asistencia técnica profesional en la elaboración del proyecto que usted requiere con la tradicional garantía CONDUMEX.

Las Plantas Eléctricas Solares, además de que proveen energía donde la electricidad convencional no satisface la demanda, son fáciles de instalar, confiables, de mantenimiento nulo, no afectan la ecología y puede incrementarse modularmente su capacidad.

**En la era de la electricidad solar...**

NACIONAL DE CONDUCTORES ELECTRICOS, S.A. DE C.V.
AREA DE ENERGIA SOLAR
SOR JUANA INES DE LA CRUZ # 344, 2º PISO
TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO TEL. 390 44 20

390 73 71

CONDUMEX

NOM
PREMIO NACIONAL DE CALIDAD

INDICE


# LA REVISTA SOLAR

PUBLICACIÓN DE LA ASOCIACIÓN NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR (ANES) ● NÚMERO 15 ● INVIERNO DE 1988

SECCIÓN MEXICANA DE LA INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY (ISES)



**ASOCIACION NACIONAL DE ENERGIA SOLAR (ANES)**

**5o. Consejo Directivo**

- Presidente: Jorge M. Huacuz V.
- Vicepresidente: Hernando Guerrero C.
- Secretario General: Juan José Ambriz G.
- Tesorera: Ma. Mercedes Fernández
- Secretaria de Publicaciones: Eugenia Olguín P.
- Secretario de Relaciones: Hernando Romero P.
- Secretario de Organización: Vicente Estrada Cajigal
- Secretario de Asuntos Industriales: Rodolfo Martínez S.
- Secretario de Asuntos Internacionales: Enrique Caldera M.
- Secretaria de Secciones Regionales: Ernestina Torres
- Secretario de Vocalías: Hugo Solís C.

Editores
Ana María Martínez L.
Roberto Best B.

Colaboración
Jesús Hernández



*LA REVISTA SOLAR*, publicación trimestral de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) de México. Apartado Postal 20-633, 01000 México, D.F. Los artículos firmados son responsabilidad de sus autores y no necesariamente reflejan la posición oficial de la Asociación. Certificado la Licitud de Contenido Núm.1357. Certificado de Licitud de Título Núm.2148. Se autoriza la reproducción de la información si se cita la fuente.

Portada: Aerogenerador Albatros diseñado y construido en el Instituto de Investigaciones Eléctricas. Capacidad: 10 kW

Foto: Sergio Ortega

Editor invitado: Ricardo Saldaña Flores

Ricardo Saldaña Flores Ingeniero en Energía. UAM, 1979. Postgrado en Administración de Empresas, UAEM. Desde 1980 investigador del área de energía eólica, IIE. Miembro fundador de ANES, actual vocal de energía eólica.

# Contenido


El viento: qué es y cómo se origina
*Ricardo Saldaña y Enrique Caldera* 4

Potencia y energía del viento
*Enrique Caldera y Ricardo Saldaña* 5

Antecedentes históricos de la utilización del viento
*María Mercedes Fernández y Ricardo Saldaña* 6

Estado de avance de la energía eólica
*Marco A. Borja, Raúl E. Borja y Ricardo Saldaña* 8

La naturaleza del viento en México
*Ricardo Saldaña y Enrique Caldera* 12

Aplicaciones de la energía eólica en México: realidades y expectativas
*Enrique Caldera y Ricardo Saldaña* 14

Cómo estimar en forma práctica la intensidad del viento
*Enrique Caldera, Ricardo Saldaña y Raúl E. Borja* 15

¿Qué es una aerobomba?
*Raúl Gonzalez* 17

Descripción de un aerogenerador moderno
*Marco A. Borja y Raúl E. Borja* 19

Presencia ANES
Palabras pronunciadas por el Dr. Jorge M. Huacuz, actual presidente de la ANES, con motivo de la toma de posesión del V Consejo Directivo.

Colaboradores: Fortino Mejía, Pablo Parkman, Rafael Camacho.

# Editorial

*Actualmente la contribución de las fuentes no convencionales de energía a la oferta energética del país proviene casi en su totalidad de la leña y el bagazo de caña. Se cuenta también con aportaciones marginales de la energía solar y de la energía eólica utilizadas, la primera para calentar agua y la segunda para bombearla.*

*Lo anterior contrasta con los avances logrados en países desarrollados donde la aportación de estos energéticos renovables se mide en millones de kilowatts instalados y se impulsa cada vez con mayor fuerza la industrialización de las tecnologías para el mejor aprovechamiento de las fuentes no convencionales, así como su comercialización apoyada en actividades agresivas de exportación.*

*El ejemplo más impresionante de esta penetración lo constituye el aprovechamiento de la energía eólica. Actualmente en los Estados Unidos se encuentran en operación decenas de miles de aerogeneradores interconectados a las redes eléctricas, con una capacidad instalada que en conjunto casi llega al millón y medio de kilowatts y aporta más de 1,700 millones de kilowatts-hora de electricidad anuales.*

*Nuestro país posee recursos eólicos importantes en diversas regiones, y tiene la capacidad para fabricar equipos para explotarlos comercialmente. Sólo necesita contar con políticas adecuadas, programas de desarrollo tecnológico e inversiones suficientes, para que este recurso energético tenga una contribución significativa en el balance nacional de energía, y contribuya así a su ahorro y a su diversificación.*

*El presente número de La Revista Solar da un panorama de algunos de los aspectos más importantes involucrados en el aprovechamiento de la energía eólica, con el fin, por una parte, de divulgar el conocimiento de esta tecnología y, por la otra, señalar la relevancia de su potencial para contribuir con el abasto energético nacional.*

# El viento: qué es y cómo se origina

Por RICARDO SALDAÑA y ENRIQUE CALDERA

*Los complejos procesos de transferencia de calor entre la superficie terrestre y las capas de aire que la rodean, determinarán la intensidad y el comportamiento espacio-temporal del viento.*

El viento es aire en movimiento; es resultado de diferencias de temperatura en la superficie terrestre, debidas al calentamiento desigual de los rayos del sol. Al originarse zonas de mayor o menor presión por este calentamiento desigual, el aire se mueve de las zonas de mayor presión a las de baja presión; entre más grande sea la diferencia de presiones entre dos puntos de la superficie terrestre, mayor será la velocidad del viento.

Si la tierra fuera inmóvil y su superficie uniforme, las masas de aire sobre el ecuador, al estar más calientes, se elevarían y serían reemplazadas por masas de aire frío provenientes de los polos. Así, se originarían grandes movimientos de aire con vientos de superficie de los polos al ecuador, y vientos de altura del ecuador hacia los polos.

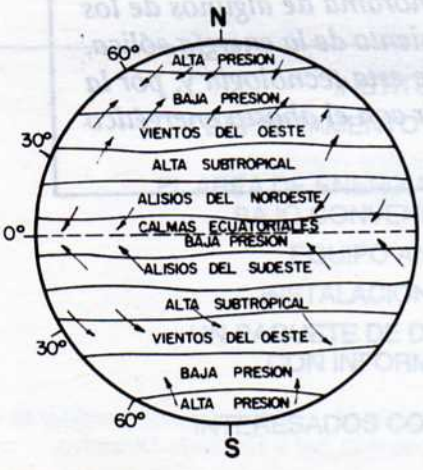
En realidad, este esquema se ve modificado por la rotación de la tierra y por la presencia de fuerzas geofísicas, incluyendo la gravitacional, la centrífuga y la de Coriolis. La distribución irregular de mares y continentes, que en cierta medida determinan la variación en la absorción de la radiación solar por la superficie terrestre, su capacidad calorífica, y los procesos de transferencia de calor a la atmósfera, complican aún más la situación.

Dada la geometría de nuestro planeta, las regiones ecuatoriales reciben más calor solar que las polares. Esto determina, en general, el desplazamiento de aire entre las latitudes altas y las bajas. En el ecuador el aire caliente asciende, por lo que disminuye la presión cerca del suelo y aumenta a mayores alturas. En los polos ocurre lo contrario. Las diferencias de presiones así creadas tienden a equilibrarse, por lo que el aire ecuatorial se desplaza hacia los polos en las regiones altas (vientos Contralisios), y el aire polar se desplaza hacia el ecuador cerca de la superficie terrestre (vientos Alisios).

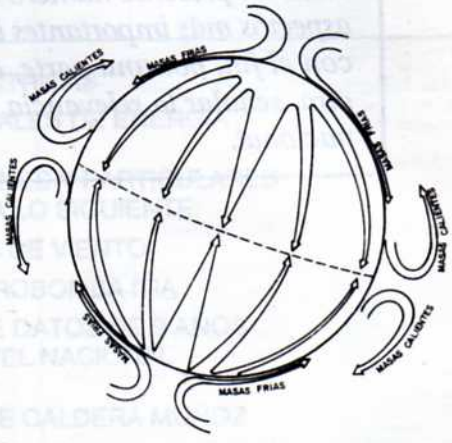
Nuevamente, el panorama no es tan simple como parece, pues el aire ecuatorial que asciende y se desvía hacia los polos se enfría gradualmente a medida que avanza, descendiendo a la superficie a una latitud aproximada de 30 grados. Parte de esa masa de aire retorna hacia la región de baja presión en el ecuador, mientras que el resto sigue su camino hacia los polos, pero ahora a nivel del suelo. Al llegar a los límites del polo se encuentra con otra masa de aire más densa -que viaja del polo hacia el ecuador hasta llegar a una latitud de 60 grados- y se eleva sobre ella.

En consecuencia, además de las regiones de baja y alta presión en el ecuador y en los polos, respectivamente, existen zonas de presión intermedia: una de alta alrededor de los 30 grados de latitud, determinada por el aire ecuatorial descendente, y otra de baja, alrededor de los 60 grados de latitud, ocasionada por la fracción de aire ecuatorial que después de descender, vuelve a levantarse al encontrarse con el aire polar.

En la superficie, el movimiento horizontal del aire es modificado tanto en dirección como en magnitud según la topografía del terreno sobre el que pasa. Esto es importante, ya que el comportamiento de la capa de aire en movimiento hasta una altura de 200 metros, es de interés para su aprovechamiento energético.




Circulación general de la atmósfera en la superfície




Movimiento del aire considerando a la tierra inmóvil y de superfície uniforme

# Potencia y energía del viento

Por ENRIQUE CALDERA y RICARDO SALDAÑA

*El nivel de potencia disponible del viento depende de su intensidad y persistencia. Esta circunstancia hace que deba elegirse el tipo de aplicación tecnológica más apropiada.*

Ilustración de un sistema moderno de alta capacidad de generación

El viento contiene energía en virtud de su movimiento. Esto se conoce como energía cinética (E.C.), y en principio se determina multiplicando el valor de la masa de aire que se mueve (m) por el cuadrado de su velocidad (V), y dividiendo el resultado entre 2. Matemáticamente, ésto puede expresarse en la siguiente forma: $E.C. = \frac{1}{2} m V^2$

Para propósitos prácticos, es deseable representar la masa de aire (m) en términos de su densidad ($\rho$), de su velocidad (V) y de un área (A) a través de la cual fluye perpendicularmente por unidad de tiempo (t). Así, $m = A\rho V t$, y la energía cinética del viento a través de un área dada en un tiempo dado será:

$$E.C. = \frac{1}{2} A\rho t V^3$$

La potencia (p) es la energía entregada por unidad de tiempo, y se obtiene dividiendo la energía cinética del viento entre el intervalo de tiempo considerado. Esto es, $p = \frac{1}{2} A\rho V^3$.

Como se ve, la potencia del viento depende directamente de su velocidad elevada al cubo. De ahí viene el interés de localizar sitios con vientos de alta velocidad, ya que entregan una potencia mucho mayor que aquellos de menor velocidad.

La densidad de potencia (P), o potencia por unidad de área, es un término útil en el contexto energético que se determina dividiendo la potencia entre el área de interés: $P = \frac{1}{2} \rho V^3$.

Por supuesto, la densidad del aire varía en función de la presión y la temperatura local. Si se expresa en $kg/m^3$ y V en m/s, las unidades de P resultan en $W/m^2$, o sea que el resultado nos expresa la energía del viento en Watts que llega cada segundo a un área de un metro cuadrado.

# Antecedentes históricos de la utilización del viento

Por MARIA MERCEDES FERNANDEZ y RICARDO SALDAÑA

*La energía eólica ha contribuido históricamente con el desarrollo economicosocial de los pueblos.*

El viento se origina en las diferencias de presión provocadas por el calentamiento desigual de la superficie terrestre. Su acción representa una fuente inagotable de energía cuyo aprovechamiento se remonta a los albores de la civilización. Existe testimonio de que en el antiguo Egipto, durante el siglo V A.C. se utilizó la energía del viento para la navegación. De manera similar, los sumerios se trasladaban por el Tigris y el Eufrates valiéndose de la vela para transportar su mercancía a los pueblos ribereños con los que comerciaban.

La antigua civilización China se valió de la energía eólica para bombear agua mediante molinos de viento llamados Panemonas. Estos sistemas tenían un eje vertical al que se sujetaban, a manera de aspas, varias estructuras construidas con largueros de madera y telas móviles que se orientaban al viento.

En el año 1700 A.C. el emperador Hammurabi emprendió en Babilonia un proyecto de irrigación con base en molinos de viento, los que hacia el año 600 A.C. se emplearon para moler granos en la antigua Persia. Este uso se conservó durante mucho tiempo.

Los molinos de viento eran de uso común en los pueblos del Mediterráneo poco antes del año 1200 lo mismo que en el resto de la península Ibérica, y fue precisamente en estas regiones donde tomó características muy específicas respecto a su constitución y funcionamiento, ya que las velas eran soltadas o recogidas, a la manera de los navegantes, según la intensidad del viento.

Al iniciarse la construcción de los molinos europeos, alrededor del año 1100, surge la duda por parte de los historiadores de si en realidad esa tecnología fue importada de Oriente en la época de las cruzadas, o si Europa ya contaba con los medios necesarios para construirlos por sí misma. Quizás se dió un fenómeno de integración de los molinos de eje horizontal de oriente y un mecanismo llamado rueda de Vitrubio utilizado desde los tiempos cumbres de los romanos. Lo anterior se refuerza por el hecho de que en Rusia existía este tipo de molinos.

Estos antecesores incipientes tuvieron su culminación en Francia hacia 1180, país que comercializó este tipo de equipos; en Gran Bretaña el primer reporte se refiere a 1191; en Alemania alrededor de 1222; los italianos construyeron el primer molino de viento hacia 1237 y los Holandeses en 1299.

Estos molinos carecieron de muchas ventajas que sólo el tiempo les podía brindar. Una de las principales consistía en que el cuerpo del molino, donde se encontraba la transmisión, tenía que orientarse al viento mediante una palanca, y el peso de todo este conjunto era considerable. A ésto había que aunar el hecho de que la parte inferior o base donde se apoyaba el cuerpo que incluía la maquinaria estaba sobre una estorbosa, elevada, poco estética y costosa torre hecha de mampostería.

Como primer cambio a esta mole sólida surgió un trípode de madera que la reemplazaría. El trípode como base del molino pasó por un proceso lento de desarrollo, y se transformó en una especie de torre en la cual el dueño del molino podía vivir o almacenar alimentos.

En 1335 ya se había diseñado un carro de combate impulsado por velas y para 1400 ya se hablaba de un elevador cuyo funcionamiento se basaba en la idea del molino de viento.

El siglo XV se consagró por ser muy productivo en materia de aprovechamiento del viento, pues se abrió un amplio abanico de diseños para muy diversos fines que empleaban dicha energía.

En 1500 Leonardo Da Vinci realizó un interesante bosquejo de un molino de viento.

La sal, producto que hacia el siglo XVI otorgó un nivel preponderante, no sólo económico sino tambien político, a muchos países europeos, era extraída evaporando el agua de mar y un elemento de ayuda fue el molino de viento.

Otra nueva aplicación llevada a cabo en Holanda, fue la utilizacion de la energía del viento para dar impulso a una sierra mecánica, y para 1592 su aplicación era ampliamente conocida en

las extracciones de mineral en las minas.

Los avances continuaban y los desarrollos mecánicos eran aplicados a los sistemas eólicos. Así, el tornillo de Arquímides tuvo gran aceptación para el bombeo de agua; simplemente en Holanda había más de 700 molinos con este sistema.

Con la curiosidad innata del ser humano para descubrir, razonar y aplicar los conocimientos, además de añadirles todas las consecuencias de los estudios científicos y filosóficos que provenían del Renacimiento y se consolidaban con la Ilustración, las mejoras tecnológicas abrían un amplio panorama extendiéndose a muy diversos campos, del que no pudo escapar la máquina eólica.

Ya dentro de la época de los grandes inventos y con todos los requerimientos de la revolución industrial, comenzaron una serie de avances paulatinos dentro de un rápido desarrollo tecnológico.

Un nuevo criterio empírico prevalecía, dando mayor importancia a las máquinas de eje horizontal y muy poco énfasis a las de tipo vertical por los graves problemas que presentaban para regular la velocidad; aunque en Polonia, principalmente, se desarrollaron muchos mecanismos ingeniosos, estos eran complicados y caros.

Por esta razón se desarrollaron con más fuerza los molinos de eje horizontal, encontrándose mejoras sustanciales en los rendimientos de algunos sistemas, entre las que cabe mencionar la regulación automática y orientación constante.

Se inició la fabricación de prototipos con métodos que se inclinaban un poco hacia lo industrial, dejando de pertenecer absolutamente a lo artesanal; se emplearon rotores con mejor comportamiento aerodinámico; se utilizaron materiales más resistentes, en especial el hierro colado, dejando atrás la madera en muchas ocasiones.

En tiempos recientes, la observación de la relación entre el aspa y el viento impulsó la investigación y las pruebas encaminadas a obten er la geometría adecuada de las aspas para que el borde de ataque de éstas aceptara la entrada del viento y se evitara en lo posible el rozamiento. Se encontraron y se pusieron en práctica conceptos tales como la torsión del aspa a lo largo de su envergadura. De igual modo se demostró que la cantidad de aspas no estaba directamente relacionada con la potencia; esto es, que con un rotor de un número reducido como 3 o 4 palas, se podía generar la misma potencia que alcanzaba uno de mayor cantidad de aspas.

Paralelamente a la tecnología eólica el generador eléctrico sentaba sus bases. H. C. Oersted y A. M. Ampere, habían definido, el primero cualitativa y el segundo cuantitativamente, la relación entre electricidad y magnetismo. Con base en estos conocimientos, en 1831, Faraday, con fines puramente experimentales, produjo movimiento mecánico a partir del electromagnetismo. Un año más tarde ya se había diseñado y construido el primer generador mecánico que para fines publicitarios estuvo expuesto en París.

En 1854 se difundió en Estados Unidos la idea original de Daniel Halladay, que sugería el uso de un rotor multiaspas muy sencillo; esto evitaba la base tan pesada de las máquinas europeas y daba muy buen resultado en el bombeo de agua. La ciudad de Chicago se convirtió en un gran centro industrial de molinos de viento, en el que, según algunos autores, las exportaciones tuvieron una magnitud fantástica de alrededor de 600,000 unidades en total.

Años más tarde se inició la adaptación de molinos tradicionales para la generación eléctrica, y alrededor de 1890 las autoridades danesas otorgaron todo el apoyo necesario para dar impulso a la tecnología eólica en materia de generación eléctrica. En este año se inició un proyecto a cargo de Paul Le Cour, dentro del cual fue concebido un aerogenerador cuyo rotor medía 25 metros de diámetro, con una torre metálica de 24 metros de altura, capaz de generar entre 5 y 25 kW. Este fue un buen inicio para el contundente desarrollo que se llevaría a cabo en esta área.

En los años subsiguientes Betz demostró analíticamente que el rendimiento de los sistemas aumentaba con la velocidad del rotor, y que ni en el diseño más perfecto la eficiencia podría rebasar el 60 % de la energía contenida en el viento.

Pese a la primera guerra mundial y todas sus concecuencias, Sigmund Savonius trabajó alrededor de un molino de eje vertical que lograba operar con velocidades de viento relativamente bajas. Su trabajo culminó en 1924 con la invención del rotor hoy conocido como Savonius, formado por dos medios cilindros dispuestos en forma de "S".

Otro rotor interesante diseñado en esta época fue el concebido por Andreu, en el cual se aplicaba la fuerza centrífuga en el aspa; esto es, las aspas eran huecas y por ellas fluía internamente una corriente de aire que generaba dicha fuerza.

En 1927 A. J. Dekker desarrolló un rotor cuyas aspas estaban diseñadas en forma aerodinámica y podían alcanzar velocidades superiores en cinco veces a la velocidad del viento incidente, mientras que los tipos multiaspas lograban velocidades máximas de dos veces la velocidad del viento.

Por esos años, Darrieus generaría su hoy muy famoso rotor, del tipo de eje vertical, que empleaba dos perfiles aerodinámicos que funcionaban como aspas, dispuestas una frente a la otra.

En la postguerra, la utilzación de los aerogeneradores era una buena alternativa de obtención de energía para la política que prevalecía , a diferencia del petróleo, que para quienes lo importaban producía severos problemas político-económicos.

En Estados Unidos Marcelus Jacobs, retomando y generando nuevas adaptaciones de los molinos para bombeo, llegó a un modelo simplificado al que le adaptó un generador de corriente eléctrica, con lo cual llegó a su conocido aerogenerador triaspas.

La crisis económica que había dejado la primera guerra mundial se extinguía y con ello la energetización tendía más hacia los combustibles fósiles, pero después de la segunda guerra mundial se recurrió a tecnologías como las máquinas eólicas, las cuales eran adecuadas en ese momento.

Hacia los años cincuenta la economía internacional se apoyó en otras alternativas energéticas, entre las cuales la energía atómica tuvo un lugar preponderante, lo que opacó la mayoría de los intentos de continuar el desarrollo de los sistemas eólicos.

Hoy en día se siguen desarrollando principalmente los diseños de dos y tres aspas de eje horizontal y el Darrieus de eje vertical, con muy pocas variantes conceptuales respecto de los desarrollos anteriores, pero sí con muchas mejoras, producto de pruebas y estudios profundos, en capacidades de cientos a miles de kilowatts. Los grandes consorcios de la industria metal-mecánica han entrado a la fabricación de aerogeneradores, estando a la vanguardia entre otras, las siguientes compañias: NASA, General Electric y Westinghouse (USA); Gedser (Dinamarca); Messerschmitt-Boelkow-Blomh (RFA); Karlstads Mekaniska Werksad (Suecia); North Scotland Hydroelectric Board (Gran Bretaña); Aerowatt (Francia); Fiat (Italia).

# Estado de avance de la energía eólica

Por MARCO A. BORJA, RAUL E. BORJA y RICARDO SALDAÑA

*El aprovechamiento de la energía eólica ha logrado avances importantes. Su contribución llega ya al millón y medio de kilowatts instalados para alimentar las redes eléctricas.*

Debido al problema energético de 1974, el interés en la utilización de la energía eólica volvió a renacer. Actualmente es objeto de importantes desarrollos tecnológicos que aprovecha al máximo.

A continuación se resumen los principales avances logrados sobre generación eléctrica a partir de la energía eólica.

**Desarrollos en los Estados Unidos**

La primera generación de grandes sistemas conversores de energía eólica (GSCEE) incluyen al MOD-0, de 100 kW, desarrollado por la NASA y probado en 1975 en la estación Plumbrook. Otras cuatro máquinas de 200 kW, los MOD-0A, se instalaron en Nuevo México, Puerto Rico, Rhode Island y Hawaii; y una máquina de 2000 kW, o sea 2 Megawatts (MW), el MOD-1, fue instalada en Carolina del Norte. Estos equipos se construyeron para adquirir experiencia sobre aspectos estructurales, aerodinámicos, y de operación como sistemas de generación eléctrica.

Otro diseño más avanzado de la NASA, el MOD-2, representa la segunda generación de GSCEE. Tiene un rotor de dos aspas con diámetro o envergadura de 91 metros, igual que un campo de futbol, puntas articuladas para controlar su velocidad de rotación, y está montado sobre una torre cilíndrica de 61 m de altura. El sistema arranca cuando la velocidad del viento llega a 6.3 m/s (22.7 km/h), alcanza su potencia nominal de 2.5 MW a 12.3 m/s (44.3 km/h), y se para automáticamente cuando el viento pasa los 20 m/s (72 km/h) para evitar daños estructurales.

La tercera generación de GSCEE, el MOD-5B, tiene como objetivo el contar con sistemas multimegawatts avanzados, que reducirían el costo de la electricidad generada en un 30% respecto de las máquinas de segunda generación. El MOD-5B, que opera en Oahu, Hawaii, tiene una potencia nominal de 3.2 MW con un generador de inducción, y es más grande que el MOD-2, con aspas de acero de 98 m de envergadura. La Hamilton Standard instaló un aerogenador de 4 MW de tecnología similar en Wyoming en 1982, con rotor de fibra de vidrio de 76 m de diámetro sobre una torre de 76 m.

**Desarrollos en otros países**

La tabla 1 muestra en qué medida algunos países han incursionado en el uso de la energía eólica.

**Desarrollos en México**

La investigación sobre el aprovechamiento de la energía eólica en el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) se inició a finales de 1976. Durante más de 10 años se ha consolidado un grupo de trabajo para atacar cuatro áreas:

- Estudio del comportamiento del viento en áreas de interés.
- Desarrollo de equipo meteorológico y de evaluación y control de SCEE.
- Desarrollo de SCEE
- Estudios de factibilidad de aplicación de SCEE.

De los sitios donde se estudiaron las características del viento y se evaluó su potencial, podemos mencionar la zona

**TABLA 1**

**Grado de desarrollo del uso de la energía eólica**

| País | 1 | 2 | 3 3A P | 3 3A M | 3 3A G | 3 3B P | 3 3B M | 3 3B G | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Estados Unidos | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Dinamarca | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Alemania | X | X | X | X | X | X | X | | X | X | | |
| Holanda | X | X | X | X | | X | X | | X | X | | |
| Irlanda | X | X | X | X | | X | X | | X | | | |
| Bélgica | X | X | X | X | | X | X | X | X | | | |
| Suiza | X | X | X | X | X | X | X | | X | X | X | X |
| Inglaterra | X | X | X | X | X | X | X | | X | X | | |
| URSS | X | X | | X | | | | | X | | | |
| Canadá | X | X | X | X | X | X | X | | X | X | | |
| Italia | X | X | X | X | X | X | X | | X | X | X | X |
| Francia, Grecia | X | X | X | | | X | | | | X | | |
| Japón | X | X | X | X | | | X | | | X | | |
| China | X | X | X | | | X | | | | | | |
| Brasil | X | X | X | X | | | | | | X | | |
| México | X | X | X | | | X | | | X | | | |
| India | X | X | X | | | | | | | X | X | |
| Irán, Marruecos, Nigeria, Siria | X | X | X | | | | | | | X | | |
| Egipto | X | X | X | | | | | | | | X | |
| Argentina | X | X | | | | X | | | | | | |
| Perú | X | X | X | | | | | | | | | |
| Chile, Cuba, Haití | X | X | | | | | | | | | | |
| ** Curazao, Aruba, | | | | | | | | | | | | |

** Sistemas de mediana capacidad integrados a la red eléctrica.

1 = Desarrollo y/o asimilación de metodologías de análisis y aplicación de la tecnología eólica
2 = Localización y evaluación de regiones con potencial energético eólico para centrales eoloeléctricas.
3 = Desarrollo de SCEE. 3A = Prototipos. 3B = Comerciales. (P) Pequeños (M) Medianos (G) Grandes.
4 = Estudios de factibilidad técnico-económica para la construcción de centrales eoloeléctricas.
5 = Programas de incentivos financieros y fiscales en apoyo del uso de la tecnología eólica.
6 = Construcción de centrales eoloeléctricas.
7 = Operación de centrales eoloeléctricas integradas a los sistemas eléctricos convencionales.

Aerogenerador "Fenix" de 1.5 kW y aerobomba "Itia" de 2.5 metros de diámetro (IIE)

de Pachuca y Real del Monte, Chilpancingo, la zona sur del Istmo de Tehuantepec, Ensenada, Guerrero Negro, entre otros.

El estudio sistemático del viento llevó al desarrollo de metodologías que culminaron en la elaboración de un Manual de Meteorología que editó la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), y más recientemente del Atlas Eólico Preliminar de la República Mexicana. Este último es resultado de procesar por computadora la información sobre viento y otros parámetros climatológicos de los observatorios del Servicio Meteorológico Nacional para el período 1971-79. Las bases de datos con la información en forma mensual, estacional y anual, y con los valores promedio de los nueve años, están disponibles en diskettes para usarse en microcomputadoras del tipo PC.

La necesidad de dejar de importar equipo meteorológico costoso, y de reducir el tiempo de procesamiento de la información que exigen los sistemas convencionales que la grafican sobre un rollo de papel, llevó al desarrollo de instrumentación. Los primeros equipos, los anemocinemómetros APTI-1-IIE y APTI-2-IIE, emplean como interfaz hombre-máquina una simple calculadora con impresora. Con los equipos tradicionales se requieren de 25 a 40 horas, dependiendo de la habilidad del operador, para procesar la información de velocidad y dirección de viento de un mes por cada sitio; con los APTI este tiempo se redujo a sólo 6 u 8 horas.

Otro desarrollo es el ANEMODATA, anemocimemómetro electrónico que compite con sistemas similares del mercado internacional, tanto en costo como en funcionalidad. Este equipo registra la velocidad y dirección del viento en una memoria de estado sólido, y toda la información de un mes se lee y procesa en una computadora personal en menos de 10 minutos. El sistema ha sido ampliamente probado en campo y está disponible para transferirse a la industria. Demostró ser un equipo muy confiable y versátil, ya que con los sensores apropiados puede monitorear un sinnúmero de variables, no necesariamente de viento.

En cuanto al desarrollo de SCEE, a la fecha se han construido pequeños aerogeneradores -dos de 1.5 kW, un Savonius de 200 Watts y uno de aspavelas de 10 kW- y aerobombas -una Savonius de 0.92 m de diámetro y 3.60 m de altura, una de velas de 7.6 m de diámetro, y una llamada ITIA de 2.5 m de diámetro. Este último sistema ya se ha transferido a la industria para su fabricación y comercialización.

La aerobomba ITIA está diseñada para operar durante 25 años con mínimo mantenimiento, y puede bombear agua a profundidades de hasta 40 m. Empieza a operar a una velocidad de viento de 2.5 m/s, con una carga de 10 m de columna de agua, y se para a los 16 m/s. Tiene una velocidad de sobrevivencia de 30 m/s (108 km/h) y un control de sobrevelocidad del rotor para velocidades de viento superiores a la de diseño de 7 m/s.

Esta máquina utiliza una bomba de pistón y se puede ensamblar en el sitio de instalación, ya que los subensambles se arman en el taller. No se requiere el uso de grúas ni otro equipo especial para levantar la torre ni para montar la máquina en ella, y se puede desmontar fácilmente y trasladar a otro sitio, pues no requiere cimentación especial.

Otro desarrollo en el IIE fue la construcción de un túnel de viento del tipo circuito abierto, de baja velocidad, en el que se pueden probar modelos de torres y cables de alta tensión, rotores de sistemas conversores de energía eólica, calibrar anemómetros y medidores de presión y velocidad, y realizar estudios de aerodinámica en general.

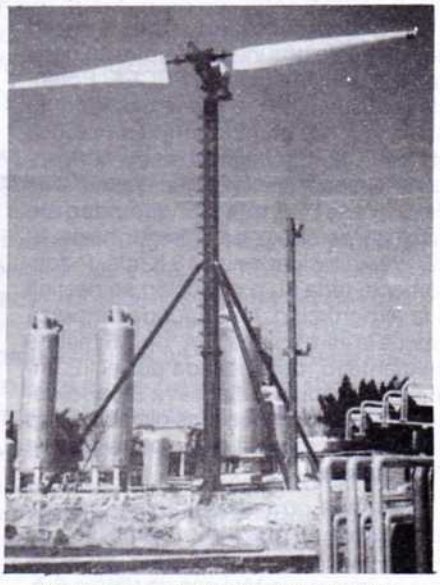
El IIE cuenta además con una estación de pruebas ubicada en el Gavillero, Hgo., donde se lleva a cabo la evaluación de pequeños SCEE bajo condiciones de "viento libre".

Para establecer la factibilidad de implementación de SCEE para generación eléctrica, se ha analizado la zona sur del Istmo de Tehuantepec, denominada "La Ventosa"; Guerrero Negro, en la Bahía de Sebastián Vizcaíno, B.C.S.; y la zona de Pachuca y Real del Monte, Hgo. Los estudios preliminares de estas zonas demostraron que es muy factible la instalación de plantas eoloeléctricas, con rendimientos de operación aceptables. En la Ventosa se mostró que la expiotación del recurso eólico en sólo el 10% de la superficie que abarca esta zona, puede significar una capacidad instalada del orden de 2,000,000 de kW (2000 MW).

Entre otras actividades de análisis sobre la implantación de SCEE, se estudiaron las tendencias del mercado internacional y se elaboró un catálogo muy completo sobre los actuales SCEE disponibles en el mercado, con sus principales características de operación. Además, se desarrolló software para el análisis de aerogeneradores y la correlación entre los patrones de demanda y los de generación eléctrica por viento.

En otras intituciones del país también se realizan trabajos sobre energía eólica.

El Instituto Tecnológico de la Paz desarrolló dos prototipos de PSCEE, el EOLO I y EOLO II, para generación eléctrica. El aerogenerador EOLO II es un sistema de eje horizontal con aspas de fibra de vidrio de 10 metros de diámetro. Su potencia nominal es de 4.5 kW, a una velocidad de viento de 6 m/s. Actualmente este equipo se encuentra en la fase de pruebas en el laboratorio de



Aerogenerador Eolo-II de 4.5 kW (I.T. de La Paz)

Aerogenerador "Albatros" de 10 kW (IIE)

desalación de agua de la SEDUE, en La Paz, B.C.S.

En la Universidad Autónoma de Baja California, en Mexicali, actualmente se llevan a cabo estudios del viento en sitios de interés en la península de Baja California, y se ha desarrollado equipo de medición anemométrica confiable y de bajo costo.

La Universidad Autónoma Metropolitana ha realizado evaluaciones del potencial eoloenergético en varios sitios.

El Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur desarrolló un prototipo de aerobomba de 3 metros de diámetro.

En el aspecto industrial, existen básicamente dos industrias que se dedican a la construcción de PSCEE: Potencia Industrial, S.A. e Industrias Módulo Solar, S.A. La primera empresa fabrica el Colibrí, aerogenerador de eje horizontal de 3 aspas, cuya potencia nominal es de 6 kW a 11.6 m/s de velocidad de viento, y es capaz de entregar hasta 10 kW con velocidades de 13.8 m/s. Prácticamente toda su producción se destina a la exportación. La segunda empresa fabrica la aerobomba ITIA, de 2.5 metros de diámetro, desarrollada por el IIE. Industrias Módulo Solar lleva a cabo negociaciones con posibles distribuidores de la aerobomba en diversos puntos de la República.

Existen otras compañías que comercializan en nuestro país molinos de viento para bombeo de agua, entre las que se encuentra Molinos de Viento S.A. (MOVISA) en Chihuahua, Chih. Estos sistemas de bombeo han sido ampliamente distribuidos en México, principalmente en los estados del Norte, el Sureste y la península de Baja California.

### Aplicaciones de la energía eólica a nivel mundial

### Aplicaciones en Estados Unidos

Actualmente los Estados Unidos tienen la mayor capacidad instalada de SCEE para la producción de electricidad, ya que hay en operación 122 centrales eoloeléctricas desarrolladas por 54 inversionistas. Hasta finales de 1987 había 16,438 aerogeneradores instalados, con una capacidad total de 1,436 MW.

El 98 % de los SCEE instalados se encuentran en el estado de California en tres grandes regiones: Altamont Pass, Tehachapi y San Gorgonio. Esta concentración es el resultado de incentivos financieros e institucionales implantados en dicho estado, además de incentivos fiscales federales.

Los aerogeneradores fueron fabricados por 32 diferentes compañías, de las cuales 16 son de los Estados Unidos y 16 de Dinamarca, Holanda, Alemania, Irlanda, Suiza y Escocia. Sólo el 60 % de la capacidad instalada es norteamericana.

En la tabla 2 se muestra cómo han crecido las centrales eoloeléctricas desde 1981 a 1985. Estas estadísticas muestran por sí solas el rápido y constante desarrollo de dichas centrales, y son un indicador del interés que ha despertado esta tecnología, el grado de madurez que ha alcanzado, sus posibilidades para contribuir con el abastecimiento eléctrico, y lo que se puede esperar en los años próximos al respecto.

En la tabla 3 aparece el número de máquinas instaladas por año según su capacidad. Se observa que la capacidad más utilizada hasta 1985 comprendía el rango de 50 a 100 kW, pero que ya había una fuerte tendencia al uso de sistemas entre 100 a 200 kW, y aún mayores.

La tabla 4 presenta la cantidad de energía eléctrica producida en 1985 en las centrales eoloeléctricas interconectadas a las redes de dos importantes compañías eléctricas de los Estados Unidos. En ese año, dichas compañías compraron y distribuyeron un total de 632.2 millones de kilowatts-hora producidos a partir de energía eólica. Durante 1987, la generación eoloeléctrica en las centrales del estado de California llegó a 1,700 millones de kWh.

Los resultados obtenidos con la operación de las grandes centrales eoloeléctricas instaladas en los Estados Unidos, motivaron a que muchos otros países, tanto por medio de programas apoyados por sus gobiernos como por la iniciativa privada, iniciaran programas

**TABLA 2**

**Aerogoneradores instalados en las centrales eoloeléctricas de los Estados Unidos**

| Lugar | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | Acum. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Altamont, Ca. | | | | | | |
| MW | 4.6 | 49.5 | 120.6 | 164.3 | 192.7 | 531.7 |
| # de máquinas | (72) | (805) | (1361) | (1742) | (1735) | (5715) |
| San Gorgonio, Ca. | | | | | | |
| MW | 0.0 | 0.2 | 11.9 | 96.1 | 168.6 | 276.8 |
| # de máquinas | (0) | (8) | (192) | (1709) | (2064) | (3973) |
| Tehachapi, Ca. | | | | | | |
| MW | 1.4 | 16.8 | 46.6 | 89.7 | 138.4 | 292.9 |
| # de máquinas | (34) | (382) | (714) | (1009) | (1391) | (3530) |
| Otras en Ca. | | | | | | |
| MW | 0.0 | 0.3 | 0.5 | 11.6 | 0.9 | 13.3 |
| # de máquinas | (0) | (10) | (8) | (128) | (31) | (177) |
| Otras en E.U. | | | | | | |
| MW | 0.3 | 1.0 | 2.7 | 4.5 | 10.9 | 19.4 |
| # de máquinas | (10) | (25) | (51) | (199) | (139) | (424) |
| TOTAL | | | | | | |
| MW | 6.2 | 67.7 | 182.3 | 366.2 | 511.6 | 1134 |
| # de máquinas | (116) | (1230) | (2326) | (4787) | (5360) | (12819) |

Fuente: Status of Commercial Wind Power: 1986 Survey.

# Palabras pronunciadas con motivo de la toma de posesión del V Consejo Directivo de ANES

El proceso de desarrollo de la Energía Solar y sus manifestaciones secundarias (denominadas genéricamente Fuentes No Convencionales de Energía, FNCE, o Fuentes Nuevas y Renovables de Energía, FNRE) ha estado caracterizado por la sucesión de épocas alternadas de entusiasmo y desencanto. Uno de los períodos más memorables de entusiasmo se dio en la década de los 50's, en la que tuvo lugar, en 1954, la formación de la Sociedad Internacional de la Energía Solar (ISES), de la cual algunos miembros de ANES constituimos la Sección Mexicana. Este período, en el que se llevaron a cabo varios simposios y conferencias internacionales, culminó en 1961 con la conferencia mundial de Naciones Unidas sobre fuentes nuevas y renovables de energía, de la cual se derivó gran entusiasmo por la aplicación de la energía solar para la solución de los problemas de las zonas rurales en el Tercer Mundo. El entusiasmo generado fue disminuyendo poco a poco en la década de los 60's en vista de los bajos precios del petróleo, y dada la ausencia de programas estructurados y presupuestos adecuados dentro de los organismos encargados del desarrollo rural en esos países.

El siguiente periodo de entusiasmo se inició a mediados de la década anterior como resultado del embargo petrolero árabe a varias naciones del mundo industrializado. Como una reacción, en 1974, Estados Unidos estableció su proyecto "Independencia" con gran énfasis en el desarrollo de las FNCE. Poco después, Japón inició su proyecto "Sunshine", y la Comunidad Económica Europea su proyecto "Phoebus", ambos con objetivos similares. Los presupuestos anuales para investigación y desarrollo (I&D) de FNCE en estos y otros países industrializados comenzaron a crecer a partir de 1975, en varios órdenes de magnitud respecto a la tendencia histórica. Países con pocos antecedentes en el campo, por ejemplo Alemania Federal, España y Japón, empezaron a destinar fuertes sumas de dinero con tasas crecientes para el desarrollo de esta alternativa energética. El resultado de las inversiones masivas se hizo patente mediante un gran número de proyectos grandes y pequeños, destinados a ganar experiencia en el diseño e integración y operación de sistemas para la conversión de las FNCE. Resaltan por su magnitud y organización los proyectos de la Agencia Internacional de la Energía en España para la generación eléctrica; los de los gobiernos norteamericano, español, francés, japonés y soviético sobre receptores centrales; y los de la Comunidad Económica Europea sobre receptor central y otras tecnologías.

En esta misma época la Organización de las Naciones Unidas retomó su papel concertador al preparar y llevar a cabo la conferencia de Nairobi; en 1981. A la par, organismos individuales de la ONU se dieron a la tarea de organizar eventos de carácter internacional con miras a promover el intercambio de ideas y experiencias. UNITAR organizó en 1981 la conferencia internacional sobre el "Futuro de los Pequeños Recursos Energéticos", copatrocinada por organismos del gobierno mexicano, y, en 1985, la reunión sobre "Cooperación Internacional para el Desarrollo de los Pequeños Recursos Energéticos". Otros organismos de Naciones Unidas, incluyendo FAO, UNESCO y ONUDI han establecido programas para promover el uso de las FNCE en el medio rural de los países en desarrollo. Con la creación del Centro de Pequeños Recursos Energéticos en Roma, UNITAR y PNUD, esperan promover el desarrollo de los pequeños recursos energéticos, facilitando el intercambio de información.

Parecería que el colapso reciente en los precios del petróleo nuevamente estuviera frenando la actividad de desarrollo de las FNCE. La reciente declinación en los presupuestos oficiales para la I&D de estas fuentes energéticas en varios países industrializados podría interpretarse como los albores de un nuevo período de desencanto. Parece como si el fervor de la

segunda mitad de la década de los 70's nuevamente estuviera quedando atrás. Incluso la membresía de ISES ha declinado poco a poco en los últimos años. Parece como si la tecnología de las FNCE estuviera destinada a permanecer atrapada en este volantín de entusiasmo y desencanto, de moda y desinterés.

En realidad, el estado actual de las cosas es fundamentalmente distinto al que prevalecía hace 25 años: lo que entoces fue concebido como una tecnología sencilla, casi de autoconstrucción, destinada a resolver problemas en el medio rural, es actualmente una tecnología cada vez más sofisticada y compleja, con miras a satisfacer necesidades en los sectores comercial e industrial; lo que entonces era una actividad confinada principalmente a las universidades y centros de desarrollo tecnológico, es actualmente una actividad abierta a los grandes consorcios industriales y firmas de ingeniería; lo que entonces se hacía principalmente con fondos oficiales y de organismos multinacionales encargados de promover el desarrollo, ahora involucra capital privado cada vez más en proporciones crecientes; lo que antes era una promoción desinteresada, casi misionera, de las tecnologías, es ahora una actividad comercial cada vez más vigorosa y cada vez más agresiva. Así, mientras que en 1973 el mercado fotovoltaico en el mundo no rebasaba los 100 kW por año, ahora es cercano a los 29 MW anuales: ¡un incremento de dos órdenes de magnitud en sólo 15 años! Sin embargo, de un mercado cercano a los 150 millones de dólares anuales, menos del 10% está destinado a proyectos de desarrollo rural.

La actividad en el campo de la energía eólica es aún más impresionante: sólo en los Estados Unidos se encuentran operando miles de aerogeneradores con una capacidad total instalada que rebasa los 1500 MW. Esto es contrastante con el número y potencia de los aerogeneradores que a nivel mundial han sido instalados con propósitos de impulsar el desarrollo rural.

Todavía está presente la época a mediados de la década anterior cuando la instalación solar de canales parabólicos en Coolidge, Arizona, también en los Estados Unidos, era objeto de noticia internacional. Entonces la más grande en su género, esta planta tenía una potencia de 150 kWe. En la actualidad la potencia instalada con plantas de canal parabólico rebasa los 150 MW y existen contratos firmes para construir 350 MW más en los Estados Unidos, y planes para 30 MW en Egipto y 80 MW en la India. La tecnología que Schuman y Boys demostraron por primera vez en 1913 para bombeo de agua a mediana escala en el medio rural, ha pasado a ser la tecnología solar térmica de mayor dinamismo para aplicaciones industriales, con financiamiento cien por ciento privado.

A mediados de la década anterior las grandes plantas de receptor central eran solo un concepto; ahora son una realidad práctica a nivel piloto, con instalaciones en varios países en un rango de potencias que va de los 500 kWe a los 10 MWe. Los planes y estudios para construir plantas mayores de 30 MWe siguen prosperando.

La operación de estanques solares para alimentar la red eléctrica de Israel y para la producción comercial de sulfato de sodio en Argentina; un mercado mundial de captadores planos que rebasa los dos millones de metros cuadrados por año; la venta de plantas llave en mano para la producción de celdas y módulos fotovoltaicos, para la generación de vapor y electricidad por combustión de desechos urbanos, o para el aprovechamiento de la energía de las olas, son actividades que, junto con las anteriores, dan un indicio del grado de madurez tecnológica que han alcanzado las FNCE.

En virtud de ello, varios países industrializados establecen ya políticas de incentivos (como el PURPA en los Estados Unidos) para promover la expansión de estas industrias; otros establecen cuotas a alcanzar con FNCE en sus balances energéticos. Incluso las economías centralmente planificadas están definiendo metas a alcanzar, respaldadas por programas y presupuestos oficiales. Por ejemplo, la Unión Soviética ha establecido que para mediados de la próxima década el 5% de su electricidad provendrá de la energía solar. Esta es una cantidad considerable tomando en cuenta la magnitud del sistema eléctrico soviético.

La actividad de comercialización de las FNCE ha venido creciendo en los últimos años. Basta mirar los programas de las exposiciones y ferias tecnológicas que se dan varias veces al año en distintas partes del mundo, para percatarse de la magnitud y agresividad de esta actividad. Por ejemplo, RETSIE es un evento que año con año organiza el Departamento. de Comercio de los Estados Unidos para promover las exportaciones de su industria de FNCE. Ahí se establecen los contactos de lo que más adelante serán ventas de paquetes tecnológicos llave en mano, y de servicios o proyectos de inversión conjunta. Un ejemplo contundente de esta actividad lo constituye la misión comercial de FNCE que se organiza en ese país para promover ventas en los países del bloque socialista. Otro, la gran actividad de penetración a los países en desarrollo, de la cual México ya ha sido blanco en varias ocasiones.

Todo parece indicar que aquella labor de promoción altruista y quijotesca de las FNCE que se daba en décadas anteriores está dando paso a una actividad bien concebida y organizada, en la que participan grandes corporaciones internacionales. Es evidente que en lo sucesivo el ritmo de desarrollo de las tecnologías de FNCE dependerá cada vez menos del entusiasmo o desencanto de los investigadores y de algunos promotores del desarrollo, y cada vez más de las fuerzas tradicionales del mercado. Esto es, la demanda de tecnologías energéticas adecuadas, confiables y económicas, y la oferta de tecnologías de FNCE eficientes, durables y de bajo costo.

México es una muestra palpable de lo que Shumacher llama una economía dual: aquí coexiste un sector rural de subsistencia con el sector industrial moderno y pujante de la onceava economía mundial; aquí, en uno de los principales países petroleros del mundo, persiste una crisis energética interna que amenaza con dañar irreversiblemente la ecología de nuestros bosques, y que en muchos casos impide o dificulta el desarrollo social y económico regional. Es entendible entonces que un buen porcentaje de los limitados esfuerzos que hasta ahora se han realizado en el país en torno a las FNCE, haya estado orientado hacia la solución de este ya rancio problema de la energetización rural. Desafortunadamente, poco se ha logrado en el terreno de la práctica. Basta recordar los proyectos de Sonntlan y Tonatiuh para convercernos de que los fracasos han sido hasta ahora más sonoros que los éxitos.

Es doloroso darnos cuenta de que, de aquellas tecnologías a cuyo estudio y desarrollo hemos dedicado gran parte de nuestro esfuerzo personal o de grupo durante los últimos diez o quince años, contadas son las que han tenido una aplicación práctica para resolver algo de la problemática de las zonas rurales. Y esto a una escala sumamente reducida y local. Es triste ver que en la mayoría de los casos gran parte del esfuerzo se ha quedado en buenos modelos teóricos o, excepcionalmente, en prototipos experimentales o demostrativos. Es desesperante ver pasar los años y observar cómo se truncan las líneas de investigación que tiempo después son retomadas por otros investigadores para volver a empezar; cómo se desintegran equipos de trabajo que han costado años de esfuerzo y muchos millones de pesos crear; cómo la pequeña industria solar tiene que permanecer en pie de lucha contra energéticos subsidiados y altos costos de la materia prima para apenas subsistir; cómo, a pesar de todo, el problema de la energetización rural en la mayoría de los casos ha sido objeto sólo de discursos cargados de buenas intenciones, la oportunidad para que algunos aprendan echando a perder, y el pretexto para proyectos al vapor, mal estructurados, que sólo han servido para satisfacer el ego político de algunas gentes.

Igualmente preocupante es el abandono en que tradicionalmente ha estado en nuestro país el desarrollo de las FNCE para aplicaciones industriales de pequeña, mediana o gran escala. Lo que pasa en el exterior a este respecto parece no tener influencia ni sobre quienes toman las decisiones, ni sobre el grueso de la comunidad solar. El magnetismo del problema rural ha sido tan fuerte que nos ha llevado a la concepción de una tecnología específica para zonas rurales, divorciada de las posibles aplicaciones industriales.

Esta dicotomía tecnológica es sumamente peligrosa en cuanto que obliga a definir la prioridad de una sobre la otra en los planes de desarrollo tecnológico, en vez de establecer un proceso integrado y armonioso para el desarrollo de tecnologías aplicables paralelamente en ambos contextos sin detrimento de calidad, durabilidad, confiabilidad o costo. Es también peligrosa porque los opositores a las FNCE (que los hay en buenas cantidades) recurren a las limitaciones de las tecnologías desarrolladas en el contexto rural para señalar que el potencial de oferta energética de las FNCE en nuestro país es prácticamente nulo. No podemos esperar que quienes toman las decisiones en el sector eléctrico o en el sector petrolero nacional, por ejemplo, vean con interés dispositivos con limitaciones de escala, de durabilidad o de confiabilidad, para citar solamente algunas. Finalmente, esta dicotomía tecnológica es peligrosa porque nos pone, como país, a merced de los grandes consorcios internacionales que desarrollan la tecnología moderna de FNCE con propósitos de exportación. Ya señalaba al principio que a nivel internacional más del 90% de los proyectos de FNCE están orientados a los sectores industriales.

La tesis fundamental que aquí se plantea es que las tecnologías de FNCE en nuestro país deben desarrollarse de manera integrada y armónica, con los más altos estándares científicos e ingenieriles, independientemente de su campo de aplicación, y que estas tecnologías deben promoverse indistintamente en cualquier sector de la economía donde puedan competir económicamente con los energéticos convencionales.

Los esfuerzos que hasta ahora se han hecho por abastecer energía con FNCE a las zonas rurales del país son loables, pero insuficientes. Deberán redoblarse en el futuro si queremos avanzar en la solución de este apremiante problema. Paralelamente deberán iniciarse actividades bien organizadas y agresivas para penetrar en el sector industrial si es que queremos cumplir cabalmente con nuestra misión de promover el desarrollo y uso de las FNCE.

Nuestra misión como Asociación está claramente establecida en el artículo tercero de los estatutos, que a la letra dice:

> "La ASOCIACION irá más allá de la mera divulgación de las características y bondades de las aplicaciones de la energía solar y procurará incidir de una manera firme y definida en los organismos del estado que conforman la política energética del país, con argumentos técnicos y científicos sólidos y con clara conciencia de la trascendencia y del papel que han de tener las distintas formas de la energía solar en el futuro de México. De este modo la ASOCIACION no será únicamente un organismo de consulta, sino asumirá una responsabilidad activa"

La responsabilidad histórica que la ANES ha adquirido es ineludible, y exige de todos los asociados acciones que van más allá de realizar simplemente nuestra labor en los respectivos centros de trabajo y

de divulgar los resultados de nuestra actividad. Exige que juguemos un papel múltiple, marcando rumbos, catalizando acciones, ejecutando proyectos, capacitando gente y señalando errores. Esto, a su vez, demanda de todos nosotros opiniones adecuadas, bien informadas, actualizadas y homógeneas, y una presencia activa y constante en el ámbito energético del país.

El cumplimiento de nuestra misión, en un ambiente en donde los recursos son escasos y existen vacíos de información, de políticas y de programas, nos obliga a tener una asociación bien articulada, con excelente comunicación, y con una membresía permanente y abierta a lo largo y ancho del territorio nacional. La falta de apertura en que hemos incurrido se está manifestando ya en la formación de otras asociaciones con fines similares al nuestro en distintas partes del país, y ha facilitado la penetración de firmas nacionales y extranjeras que en un afán exclusivo de lucro han sorprendido a organismos e individuos con proyectos mal concebidos o mal ejecutados, dando un mal nombre a las FNCE.

El cumplimiento de nuestra misión también demanda una integración con el medio profesional, político, económico y educativo del país, anteponiendo los intereses de la asociación a los intereses personales o de grupo. Esta integración es indispensable si queremos lograr un efecto multiplicador en nuestras acciones. Pretender que tenemos todas las soluciones a todos los problemas y que solos podemos hacer todo lo que se debe hacer, sería una actitud de necedad.

Finalmente, el cumplimiento de nuestra misión exige que maduremos nuestra actitud como industriales, ingenieros, educadores e investigadores, estableciendo líneas de investigación, desarrollo y aplicación, trascendentes, innovadoras y acordes con el avance internacional, abandonando las actividades especulativas y autocontemplativas. Debemos romper el tabú de que las FNCE son sólo aplicables en el medio rural. Debemos enfatizar el hecho de que las FNCE no sólo constituyen una alternativa energética sino que además representan una oportunidad de alivio a problemas ecológicos apremiantes como la deforestación y el efecto de invernadero en la atmósfera, producido por la quema de combustibles fósiles. Debemos hacer trascender la idea de que las FNCE presentan alternativas de solución a problemas sociales apremiantes como el desempleo, y ofrecen la oportunidad de exportar servicios y tecnología. Debemos buscar un adecuado balance entre las actividades de investigación, desarrollo, industrialización y comercialización, que permita un progreso palpable y significativo.

En el marco de esta XII Reunión Nacional, ANES cumple 8 años de vida. Mucho se ha logrado en este tiempo. Se han establecido tradiciones, cosa muy importante para una asociación, se ha adquirido experiencia, y se ha logrado una presencia cada vez más fuerte en el ámbito nacional. Esto ha sido posible gracias al empeño y constancia de los Comités Directivos anteriores y al esfuerzo de los asociados activos. Pero mucho nos queda todavía por hacer. El camino por recorrer es largo y difícil, y la misión que debemos cumplir es grande y de mucha resposabilidad. Sin embargo, ANES tiene toda la fuerza necesaria para lograr sus objetivos. Tiene, en primer lugar, la fuerza de su propia existencia, de sus ideales, de sus objetivos, de sus tradiciones y de su experiencia. Cuenta además con la fuerza que emana de la unión y cohesión de las inteligencias, de las voluntades, de la visión y del espíritu de trabajo de todos sus asociados. Estoy seguro que juntos sabremos dar un sentido de trascendencia a nuestras acciones, y juntos lograremos que las FNCE tengan una participación creciente en el balance energético nacional para beneficio de las nuevas generaciones de mexicanos.

Jorge M. Huacuz Villamar
Presidente
Puebla, Puebla
7 de octubre de 1988

como los que se anuncian a continuación:

- Asimilación y/o desarrollo de metodologías de análisis y aplicación de la tecnología eólica.
- Localización y evaluación de regiones con potencial energético eólico adecuado para centrales eoloeléctricas.
- Desarrollo de SCEE, tanto para uso propio como con miras a la exportación.
- Estudios de factibilidad técnico-económica para la construcción de centrales eoloeléctricas.
- Creación de programas de incentivos financieros y fiscales en apoyo al uso de la tecnología eólica.
- Construcción de dichas centrales.

Muchos de los países industrializados ya han alcanzado esta etapa final, aunque en menor medida que los Estados Unidos, mientras que varios países en vías de desarrollo han llegado hasta la segunda etapa y actualmente incursionan dentro de las siguientes.

### Aplicaciones en otros países

Son tantos los lugares del mundo donde se ha empleado la energía eólica para el bombeo de agua y generación eléctrica a nivel doméstico, que dar una cifra a este respecto es imposible.

Sin embargo, son muy pocos los países que han explotado este recurso a través de plantas generadoras con fines comerciales. A continuación se presentan algunos de los principales aspectos que en esta materia se han logrado en tres de los países que, aparte de los Estados Unidos, se podría decir son los más importantes en la actualidad en el aprovechamiento de la energía eólica.

TABLA 3

**Capacidad de aerogeneradores instalados en centrales eoloeléctricas en Estados Unidos**

| Tamaño | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0-50 kw | | | | | | |
| MW | 3.2 | 34.4 | 23.6 | 21.5 | 24.9 | 107.6 |
| # de máquinas | (76) | (765) | (585) | (901) | (831) | (3158) |
| 50-100 kw | | | | | | |
| MW | 3.0 | 33.4 | 127.9 | 232.2 | 297.4 | 744.0 |
| # de máquinas | (40) | (465) | (1570) | (3560) | (3465) | (9100) |
| 100-200 kw | | | | | | |
| MW | 0.0 | 0.0 | 27.3 | 40.6 | 90.5 | 158.4 |
| # de máquinas | (0) | (0) | (161) | (251) | (730) | (1142) |
| más de 200 kw | | | | | | |
| MW | 0.0 | 0.0 | 3.5 | 21.4 | 98.8 | 123.7 |
| # de máquinas | (0) | (0) | (10) | (76) | (334) | (420) |
| Total | | | | | | |
| MW | 6.2 | 67.7 | 182.3 | 366.2 | 511.6 | 1134.0 |
| # de máquinas | (116) | (1230) | (2236) | (4787) | (5360) | (13819) |
| Capacidad media nominal en kw | 53.5 | 55.1 | 78.4 | 76.5 | 95.4 | 82.1 |

Fuente: Status of Commercial Wind Power: 1986 Survey

### Alemania Federal

Cuenta con una planta de 1 MW de desarrollo privado en Kaiser Wilhelmkoog, integrada por 50 aerogeneradores. El consorcio Man está construyendo tres máquinas de 1.2 MW, de 60 metros de diámetro, para ser instaladas en 1989. La Messerschmitt-Boelkow-Blomh (MBB) espera construir una planta de 2 MW cerca de Wilhemshaven usando tres máquinas de una sola aspa de 50 metros.

### Holanda

En este país se ha emprendido el más ambicioso programa a nivel mundial, ya que oficialmente planea desarrollar 150 MW de capacidad de generación eléctrica para 1991, y llegar a 1,000 MW para el año 2000. En la actualidad tiene 200 máquinas instaladas. En 1987 la compañía eléctrica de Holanda abrió su primera planta eólica de 5.4 MW cerca de Sexbierum en la provincia de Friesland, como un proyecto experimental. La primera planta comercial tiene una capacidad de 7.5 MW y su desarrollo duró sólo año y medio.

### Dinamarca

El Ministerio de Energía de este país planea instalar 100 MW para 1990 con la cooperación de la Asocición Danesa de Empresas Eléctricas. El ministerio espera completar en el presente año la primera fase de 15 MW de capacidad para Zealand, y 20 MW en Jutland, usando modelos de 100 a 200 kW. Durante la segunda fase se pondrán en operación 20 y 30 MW en cada área, usando turbinas más grandes, en el rango de 200 a 400 kW. Actualmente existe una capacidad en las plantas danesas de 16 MW.

TABLA 4

**Producción de centrales eoloeléctricas en 1985 (millones de kilowatts-hora)**

| Mes | Mensual Total | PG&E Altamont | SCE Total | Tehachapi* | Palm Springs* |
|---|---|---|---|---|---|
| Enero | 5.3 | 0.2 | 5.1 | 2.3 | 2.8 |
| Febrero | 15.2 | 7.7 | 7.5 | 5.0 | 2.5 |
| Marzo | 41.7 | 14.9 | 26.8 | 11.5 | 15.3 |
| 1er. Trim. | 62.2 | 22.8 | 39.4 | 18.8 | 20.6 |
| Abril | 56.9 | 27.9 | 29.0 | 14.8 | 14.2 |
| Mayo | 89.0 | 51.5 | 37.5 | 16.1 | 21.4 |
| Junio | 77.7 | 41.6 | 36.1 | 17.0 | 19.1 |
| 2o. Trim. | 223.6 | 121.0 | 102.6 | 47.9 | 54.7 |
| Julio | 93.8 | 61.5 | 32.3 | 15.5 | 16.8 |
| Agosto | 98.3 | 66.6 | 31.7 | 12.4 | 19.3 |
| Septiembre | 67.5 | 37.8 | 29.7 | 9.8 | 19.9 |
| 3er. Trim. | 259.6 | 165.9 | 93.7 | 37.7 | 56.0 |
| Octubre | 38.3 | 19.5 | 18.8 | 9.4 | 9.4 |
| Noviembre | 37.1 | 7.6 | 29.5 | 17.4 | 21.1 |
| Diciembre | 11.4 | 3.5 | 7.9 | 6.2 | 1.7 |
| 4o. Trim. | 86.8 | 30.6 | 56.2 | 33.0 | 23.2 |
| Total | 632.2 | 340.3 | 291.9 | 137.4 | 154.4 |

Fuente: PG&E Pacific Gas and Electric Co.
SCE Southern California Edison Co.
(*) Cantidad calculada con base en porcentajes dados por SCE.
Fuente: Windfarm Update, Donald Marier, Alternative Sources of Energy, 1985.

# La naturaleza del viento en México

Por RICARDO SALDAÑA y ENRIQUE CALDERA

*Con base en un estudio por computadora de la información meteorológica recopilada durante nueve años, se describen los regímenes de viento prevalecientes en la República Mexicana.*

La diversidad orográfica y climática del país determina la existencia de una gran variedad de sistemas de viento en superficie, cuya temporalidad es diferente en distintas regiones. Un análisis preliminar de los datos de viento recabados por la red de observatorios del Servicio Meteorológico Nacional durante el período 1971-1979, ha permitido conocer cualitativamente el comportamiento de este recurso energético, y delimitar las áreas donde presumiblemente es factible su explotación. A continuación se describe la naturaleza de los vientos en distintas regiones del país.

*Península de Baja California.*- Su costa del Pacífico es influida por vientos del Noreste todo el año. Los más suaves se presentan en diciembre, y los más intensos en febrero, en el extremo Norte (Tijuana), y durante abril y mayo en su parte media.

En La Paz, B.C.S. se tiene un sistema local con vientos del Noroeste de noviembre a marzo, y vientos del Sur de abril a octubre, con máxima intensidad en junio y mínima en octubre.

Se desconoce el comportamiento de las brisas marinas en toda la franja costera del Golfo de California.

*Planicie Costera Noroccidental.* - Durante los meses de noviembre, diciembre y enero se desarrolla un sistema de vientos del Norte, que en febrero rotan hacia el Noroeste y en marzo hacia el Oeste. Durante abril, mayo, junio y julio penetran como Oestes en las costas y se deflectan para ser Suroeste en el interior de la llanura, alcanzando su máxima intensidad en junio. A partir de julio se observa una inversión de rumbo en Culiacán, donde cambian a Noroeste, presentándose en agosto este mismo rumbo en Guaymas. Es en Mazatlán donde las velocidades máximas se tienen en agosto con vientos del Oeste. Durante septiembre y octubre se experimentan los vientos más bajos en promedio, como Oestes en las costas y Noreste en Culiacán. Para noviembre, la llanura costera en Sonora ya presenta nuevamente vientos del Norte.

*Planicie Costera Sudoccidental.* - Desde Cabo Corrientes en el extremo sur de la Bahía de Banderas en Jalisco hasta Puerto Angel en Oaxaca, la línea de costa tiene una orientación general hacia el Sur-Sureste. Sobre esta línea costera se desarrollan vientos del Oeste y Suroeste durante todo el año, con mínima intensidad en diciembre y máxima en abril, en Guerrero y Oaxaca, y en junio en Jalisco y Colima.

*Portillo Istmico y Sierra de Chiapas.*- Esta región, que comprende los Estados de Chiapas, Tabasco, sur de Veracruz y oriente de Oaxaca, presenta un ciclo anual de viento inverso a lo que ocurre en el resto del país, pues es en el período otoño-invierno cuando se experimentan las más altas velocidades medias, en tanto que en primavera-verano ocurren las menores, con la mínima velocidad en junio. Durante diciembre, enero y febrero, los vientos del Norte son máximos en Coatzacoalcos. Este flujo cruza el Istmo de Tehuantepec para dar lugar a los intensos vientos que se presentan en el sur del mismo en la zona de La Ventosa y regiones contiguas. Este sistema de vientos, denominado Tehuantepecer, se da por los gradientes de temperatura y presión entre el Golfo de México y el Golfo de Tehuantepec.

En marzo, con la presencia de vientos del Sureste en la península de Yucatán y la vertiente del Golfo, el viento Norte disminuye de intensidad en el Istmo. En su parte sur las brisas marinas son intensas en la región costera durante marzo, abril y mayo. Para junio se tienen condiciones de equilibrio en la parte sur del Istmo, y por lo tanto los vientos son muy débiles, prevaleciendo el Norte, que a partir de julio empieza a incrementar su intensidad para alcanzar la máxima durante enero y febrero. Sin embargo, en Coatzacoalcos se tiene la mínima velocidad media mensual en septiembre.

Los efectos más intensos de este sistema de vientos se experimentan en la región de la Ventosa, ya que por la topografía del Istmo ahí se encajona el viento. El área sujeta a este sistema abarca desde el puerto de Veracruz hasta Cd. del Carmen, en Campeche, con marcada influencia de vientos Norte, a escala sinóptica, de octubre a febrero y viento Norte por brisa marina de mayo a agosto. La ciudad de Oaxaca se ve afectada sólo marginalmente por este sistema, en tanto que la Sierra de Chiapas es afectada en forma permanente por vientos del Noroeste, con máxima intensidad en diciembre y mínima en abril.

*Plataforma Yucateca.*- El ciclo anual de vientos se inicia en febrero, mes de transición e inestabilidad de rumbo. En marzo se presentan ya vientos francos del Sureste, que son los más intensos del año. De mayo a septiembre disminuyen en intensidad y rotan del Sureste al Noreste. Durante octubre, los débiles vientos del Este y Noreste cambian a vientos francos del Norte de baja intensidad, y llegan al mayor valor en enero. Este patrón de ciclo anual propicia que Cozumel, Isla Mujeres, Cancún, Puerto Juárez y Cabo Catoche, presenten la mejor exposición a los vientos del Norte, Noroeste y Sureste. En general,

la península es propicia para el bombeo de agua con energía eólica dada la plena coincidencia entre la época de estiaje y las mayores intensidades del viento.

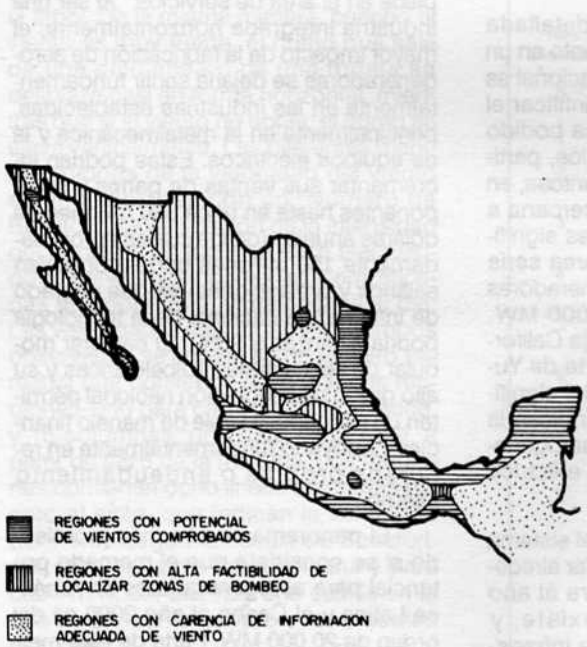
*Vertiente del Golfo.-* Durante marzo, aunados al efecto de brisa marina, arriban a las costas del Golfo de México vientos del Sureste y del Este, y es en esta época cuando se tienen las mayores intensidades. En la llanura costera de Tamaulipas y Norte de Veracruz, el sistema de vientos del Este se presenta de marzo a octubre. Su intensidad disminuye paulatinamente, hasta que se presentan los vientos más suaves, de julio a agosto. En septiembre se incrementan; octubre es de transición, y durante noviembre se presentan vientos francos del Norte que perduran hasta febrero.

*Noreste de la Altiplanicie Septentrional.-* Esta región comprende los estados de Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí, el occidente de Tamaulipas, y el Noroeste de Zacatecas. A lo largo del año se presenta un esquema generalizado de vientos del Este y Noreste, con vientos más intensos en el período primavera-verano y menos fuertes en otoño-invierno, con las menores intensidades en octubre.

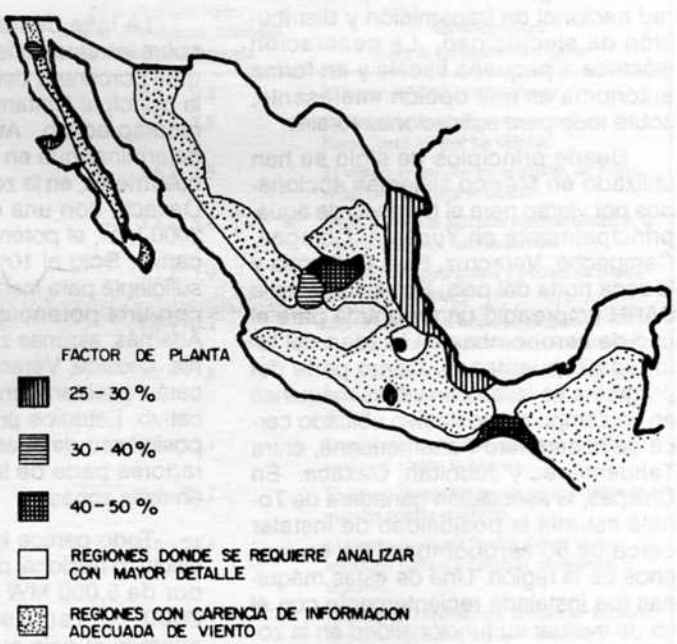
*Noroeste de la Altiplanicie Septentrional.-* Está integrada por Chihuahua, Durango, el occidente de Zacatecas, el oriente de Sonora, la Sierra Madre Occidental y las llanuras contiguas a su vertiente oriental. La información meteorológica disponible corresponde a lugares sobre las llanuras de la vertiente oriental de la sierra, fuertemente influídas por vientos de drenaje de la cordillera provenientes del Suroeste. Estos adquieren su valor máximo en abril. En junio empiezan a manifestarse vientos del Este y Noroeste que perduran hasta octubre, con menor intensidad durante agosto y septiembre. Durante noviembre empieza a presentarse la inversión a Suroeste en Chihuahua; en diciembre alcanza a Durango. En enero y febrero los vientos del Suroeste son francos en la vertiente oriental de la sierra, aunque en el Oriente del estado de Chihuahua durante diciembre y enero prevalecen vientos del Norte que rotan a Noroeste en febrero. En marzo se restablece con intensidad el esquema generalizado de vientos del Suroeste en la vertiente oriental de la sierra y llanuras contiguas.

*Altiplanicie meridional.-* En esta región la naturaleza del viento es compleja, dada la existencia de fenómenos locales que interactúan con los esquemas generales. Por ello, es necesario estudiar con mayor detenimiento esta zona. En su extremo norte, la región aledaña a la ciudad de Zacatecas está caracterizada por vientos de rumbo Noroeste y Noreste, observándose presistencias e intensidades adecuadas para la explotación energética en gran escala. Cabe mencionar que esta región constituye un eslabón débil dentro del Sistema Eléctrico Nacional Interconectado, y presenta además una gran demanda estacional asociada en el bombeo para riego agrícola.

Como conclusión general se puede decir que esta región de Zacatecas, junto con el Sur del Istmo de Tehuantepec, presentan un amplio potencial para la generación de cientos de miles de kilowatts-hora de electricidad. Son también importantes por su potencial eólico el extremo Nororiental de la península de Yucatán, las mesetas altas de Tlaxcala e Hidalgo, la región limítrofe entre Guanajuato y Michoacán, la península de Baja California, y las planicies costeras del país.




Regionalización de zonas con potencial eólico
Apropiado para bombeo de agua




Regionalización de zonas con potencial eólico
Apropiado para generación eléctrica

# Aplicaciones de la energía eólica en México: realidades y expectativas

Por ENRIQUE CALDERA y RICARDO SALDAÑA

*2 000 kilómetros cuadrados en La Ventosa, Oaxaca, serían suficientes para instalar una central eoloeléctrica de 2 millones de kilowatts. La fabricación de los equipos podría generar empleos e impactar positivamente en la economía nacional.*

El recurso eólico en México puede aprovecharse ventajosamente para bombeo de agua y para generación eléctrica. En el primer caso se contemplan dos esquemas específicos: las aplicaciones domésticas por medio de aerobombas, y el bombeo para irrigación mediante aerogeneradores acoplados a bombas eléctricas. Para la generación eléctrica se contempla en primer término la posible implantación de grandes centrales constituidas por un número determinado de aerogeneradores acoplados a la red nacional de transmisión y distribución de electricidad. La generación eléctrica a pequeña escala y en forma autónoma es una opción interesante, sobre todo para aplicaciones rurales.

Desde principios de siglo se han utilizado en México sistemas accionados por viento para el bombeo de agua, principalmente en Yucatán, Chiapas, Campeche, Veracruz, Baja California y la zona norte del país. Recientemente la SARH emprendió un programa para el uso de aerobombas en la zona del Istmo de Tehuantepec. Como parte del programa se instalaron varias máquinas en un campo demostrativo ubicado cerca de la carretera Panamericana, entre Tehuantepec y Juchitán, Oaxaca. En Chiapas, la asociación ganadera de Tonalá estudia la posibilidad de instalar cerca de 50 aerobombas ITIA en ranchos de la región. Una de estas máquinas fue instalada recientemente con el fin de evaluar su funcionalidad en la zona.

Salvo muy contados casos a nivel doméstico, no se tienen indicios de aplicaciones para generación eléctrica previos a 1988, año en que la Compañía Exportadora de Sal, en Guerrero Negro, B.C.S., instaló un aerogenerador de origen japonés de mediana capacidad, con el fin de estudiar su comportamiento.

En la actualidad se estudia la posibilidad de instalar una planta piloto de 1 MW, también en Guerrero Negro, para ahorrar parte del consumo de diesel en la planta con la que actualmente la Comisión Federal de Electricidad abastece electricidad en ese lugar.

La falta de información detallada sobre las características del viento en un gran porcentaje del territorio nacional es la principal limitante para cuantificar el recurso eólico. Aun así, se ha podido determinar que en algunos sitios, particularmente, en la zona de la Ventosa, en Oaxaca, con una extensión cercana a 2000 $km^2$, el potencial eólico es significativo. Sólo el 10% de esta área sería suficiente para instalar aerogeneradores con una potencia total de 2000 MW. Además, algunas zonas de Baja California, Oaxaca, Veracruz y el norte de Yucatán cuentan con un potencial significativo. Estudios preliminares indican la posibilidad de abastecer con aerogeneradores parte de la demanda eléctrica en esas zonas.

Todo parece indicar que el sistema eléctrico nacional podría asimilar alrededor de 5,000 MW eólicos para el año 2000. El recurso eólico existe, y además el país cuenta con la infraestructura industrial suficiente para producir las máquinas. Con excepción de las aspas del rotor (cuya tecnología habría que importar en este momento, pero es asimilable), los demás componentes de un aerogenerador convencional en el rango de 50 a 250 kW se fabrican rutinariamente en México.

Un esquema de esta naturaleza podría tener un impacto significativo en la economía nacional, pues implicaría la necesidad de establecer al menos cinco plantas ensambladoras de cobertura regional, con la consecuente creación de 150 empleos directos en el ensamble de aerogeneradores, y cerca de 750 empleos en el área de servicios. Al ser una industria integrada horizontalmente, el mayor impacto de la fabricación de aerogeneradores se dejaría sentir fundamentalmente en las industrias establecidas, principalmente en la metalmecánica y la de equipos eléctricos. Estas podrían incrementar sus ventas de partes y componentes hasta en unos 350 millones de dólares anuales (de los cuales aproximadamente 150 millones corresponderían salarios y prestaciones) ya que el grado de integración nacional de la tecnología podría alcanzar el 90%. El carácter modular de las centrales eoloeléctricas y su alto grado de integración nacional permiten un esquema flexible de manejo financiero, apoyado fundamentalmente en recursos propios o endeudamiento interno.

El panorama es aún más promisorio si se considera que el mercado potencial para aerogeneradores en América Latina y el Caribe al año 2000 es del orden de 20,000 MW. Parte de este mercado podría ser atacado con productos mexicanos, lo cual permitiría financiar, con importante saldo positivo, la fracción de insumos de importación.

# Cómo estimar en forma práctica la intensidad del viento

Por ENRIQUE CALDERA, RICARDO SALDAÑA, y RAUL E. BORJA

*La posibilidad de instalar máquinas movidas por el viento con propósitos prácticos, como el bombeo de agua y la generación de electricidad, depende de las características del viento en el sitio de interés. En esta nota los autores presentan una metodología simple para estimar las velocidades del viento sin aparatos de medición.*

La escala de Beaufort permite conocer, en forma aproximada, la velocidad del viento en un lugar, sin necesidad de utilizar aparatos de medición. Para ello basta con efectuar algunas observaciones de los efectos que produce el viento sobre el medio ambiente, tales como el movimiento de los árboles, el de una columna de humo, o de una bandera. Cuando hay calma, las hojas y las pequeñas ramas de los árboles apenas se mueven; por el contrario, cuando el viento sopla con fuerza, se mueve todo el árbol. De la misma manera, cuando el viento es muy fuerte, el humo que sale de una chimenea o de una fogata se desplaza casi en forma horizontal, mientras que si el viento no sopla, el humo se eleva verticalmente. Las diferentes manifestaciones de la velocidad del viento están asociadas con un "Número de Beaufort". La estimación de la intensidad del viento en un lugar se hace efectuando observaciones como las ejemplificadas anteriormente, varias veces al día. Las velocidades estimadas y los rumbos observados se anotan en un registro semanal que consta de siete grandes renglones, uno para cada día de la semana, y 18 columnas, una para cada hora, a partir de las 5 de la mañana. Los renglones contienen ocho líneas marcadas del cero al siete, que indican la velocidad del viento según la escala de Beaufort. Así, para cada día de la semana y para cada hora del día, hay una casilla en la que se indican el rumbo y la velocidad del viento.

El rumbo de donde proviene el viento puede determinarse atando un listón al extremo superior de una tira de madera colocada verticalmente en la parte alta de una casa o de un árbol. Con los puntos cardinales bien identificados, el listón indicará la procedencia del viento.

Al tiempo que se determina la dirección, se observan los efectos visibles del viento, estimando su velocidad según la escala de Beaufort.

En la casilla correspondiente a la velocidad de Beaufort estimada, de acuerdo con el día y la hora de la observación, se escribe la letra que indica la

**CUADRO 1**

**Escala de Beaufort para la fuerza del viento**

| *Núm. Beaufort* | *Nombre en tierra* | *Velocidad equivalente a 10 m de altura sobre terreno descubierto, intervalo en metros por segundo* | *Características para la estimación en tierra* |
|---|---|---|---|
| 0 | Calma | 0.0 a 0.2 | El humo se eleva verticalmente. |
| 1 | Ventolina | 0.3 a 1.5 | El viento se revela por el movimiento del humo, pero no por las veletas. |
| 2 | Flojito | 1.6 a 3.3 | El viento se percibe en el rostro, las hojas se agitan, la veleta se mueve. |
| 3 | Flojo | 3.4 a 5.4 | Hojas y ramitas agitadas constantemente, el viento despliega las banderolas. |
| 4 | Bonancible | 5.5 a 7.9 | El viento levanta polvo y hojitas de papel, ramitas agitadas. |
| 5 | Fresquito | 8.0 a 10.7 | Los arbustos con hojas se balancean, se forman olitas con crestas en los estanques. |
| 6 | Fresco | 10.8 a 13.8 | Las grandes ramas se agitan, los hilos telegráficos silban; el uso del paraguas se hace difícil. |
| 7 | Frescachón | 13.9 a 17.1 | Los árboles enteros se agitan, la marcha contra el viento es penosa. |
| 8 | Duro | 17.2 a 20.7 | El viento rompe las ramas, es imposible la marcha contra el viento. |
| 9 | Muy duro | 20.8 a 24.4 | El viento ocasiona ligeros daños en las viviendas (arranca cañerías, chimeneas y tejados). |
| 10 | Temporal | 24.5 a 28.4 | Raro en los continentes, árboles arrancados, importantes daños en las viviendas. |
| 11 | Borrasca | 28.5 a 32.6 | Observado muy raramente, acompañado de grandes destrozos. |
| 12 | Huracán | > 32.7 | Estragos graves y extensos. |

LA REVISTA **SOLAR**

**Una publicación para los interesados en el Sol y otras energías renovables**

# *Suscríbase*

Durante varios años, LA REVISTA SOLAR fue una publicación exclusiva para los miembros de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES). Hoy en día, nuestra nueva política de difusión permite la suscripción para todo el público, con lo cual un número mayor de personas puede introducirse al mundo de las energía solar y otras fuentes renovables.

Para obtener una suscripción a esta publicación trimestral, ponga sus datos en el reverso de este cupón y envíelo junto con cheque o giro postal a:

**ANES. Apartado Postal 20-633.**
**01000 México, D.F.**

PRECIO DE LA SUSCRIPCIÓN ANUAL: 12,000.00 M.N.

## Solicitud de suscripción

**NOMBRE** _____ _____ _____
APELLIDO PATERNO APELLIDO MATERNO NOMBRE

**DOMICILIO** _____ _____
CALLE NÚMERO

_____ _____ _____
NÚMERO ANTERIOR COLONIA CÓDIGO POSTAL

_____ _____ _____
CIUDAD ESTADO TELÉFONO


INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS

DEPARTAMENTO DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA

EL AREA DE ENERGIA EOLICA OFRECE A INSTITUCIONES Y PARTICULARES BAJO CONVENIOS DE COOPERACION TECNICA LO SIGUIENTE:

EQUIPO ANEMOMETRICO PARA ESTUDIOS DE VIENTO

INSTALACIONES DEMOSTRATIVAS DE LA AEROBOMBA ITIA

UN PAQUETE DE DISQUETTES CON LAS BASES DE DATOS DE 9 AÑOS CON INFORMACION METEOROLOGICA A NIVEL NACIONAL

INTERESADOS COMUNICARSE CON: ING. ENRIQUE CALDERA MUÑOZ
91 (73) 183811 EXT. 2089
EXT. 2090

**CUADRO 2**

## Letras de código para la dirección del viento

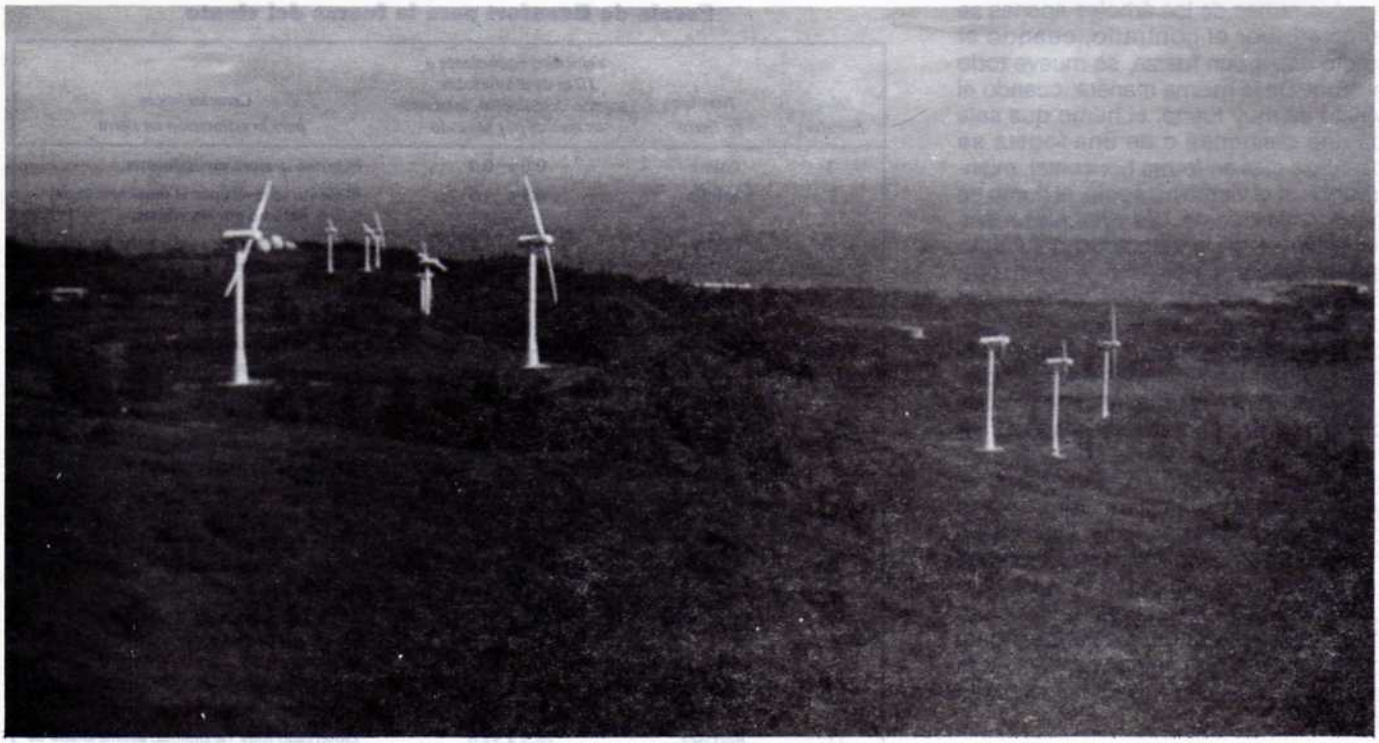
| *Letras de registro* | *Dirección de donde sopla el viento* |
|---|---|
| N | norte |
| NE | Entre norte y este |
| E | este (oriente) |
| SE | Entre sur y este |
| S | sur |
| SO | Entre sur y oeste |
| O | oeste |
| NO | Entre norte y oeste |

dirección del viento observada con el listón. Cuando se observa calma (sin viento) se anota un guión en la casilla correspondiente al cero. Si los vientos son muy fuertes, se usa la casilla 7 y se anota, junto a la letra del rumbo, el número de Beaufort que realmente corresponde.

Así, el conjunto de letras en el registro semanal representa, de manera aproximada, la forma en que se distribuyen las velocidades del viento durante el día y la semana. La letra que más se repite indica el rumbo dominante del viento.

Para efectos prácticos no es indispensable efectuar 18 observaciones diarias; bastan 5 ó 6, pero siempre a las mismas horas para que el resultado sea más preciso. Es además recomendable que las observaciones se efectúen por lo menos durante cuatro semanas consecutivas, indicando claramente el nombre del lugar, la fecha y el nombre de quien hizo las observaciones, para referencia en el futuro.

El Instituto de Investigaciones Eléctricas (Depto. FNCE. Apartado 475. Cuernavaca, Mor. 62000) pone a disposición de los interesados un folleto con la metodología completa para estimar la velocidad media y la rosa de los vientos en sitios de interés, basada en observaciones hechas según la escala de Beaufort. Nota del Editor.



Granja eólica Makani Moa'e de 600 kW (Hawaii, EU)

# ¿Qué es una aerobomba?

Por RAUL GONZALEZ

*En algunas zonas del norte de México es común apreciar vestigios de lo que fue el bombeo de agua mediante máquinas de viento. Esto nos hace pensar en el uso intensivo que tuvieron las máquinas de viento hace algunos años.*

Una aerobomba es un sistema conversor de energía eólica (SCEE) donde la energía captada del viento es utilizada para el bombeo de agua por medios mecánicos. En general estos sistemas son utilizados para dotar de agua a una casa o poblado para satisfacer necesidades domésticas y/o agrícolas, de irrigación o drenaje. Para este tipo de aplicaciones se usan rotores de alta solidez, (un alto porcentaje del área de espacio que barre el rotor está cubierta por las aspas). Las más comunes en la actualidad son las máquinas multipalas del tipo americano, llamadas "papalotes", de las cuales hay miles instaladas en el país.

Estos sitemas usan una transmisión mecánica que transforma el movimiento rotativo del "rotor" en un movimiento alternativo que acciona directamente una bomba de desplazamiento positivo del tipo pistón.

El sistema completo consta de SCEE, torre, tubería, bomba, y depósito de almacenamiento del agua bombeada. Esto es muy importante debido a que para el análisis de costos es necesario cuantificar todo lo anterior. En la práctica estos costos dependen del régimen de viento en el sitio, profundidad del nivel de agua del pozo y del uso del agua.

En muchos casos se encuentra en la naturaleza que el viento sopla en la cima de montes y colinas y que el agua se encuentra en el fondo del valle. Para estas aplicacciones la solución es usar aerogeneradores, que son SCEE de baja solidez; es decir, con sólo dos o tres aspas delgadas, instalándolas donde sopla el viento, y bajar por cables la energía eléctrica generada a una bomba eléctrica localizada en el sitio del pozo, las ventajas que se tienen son:

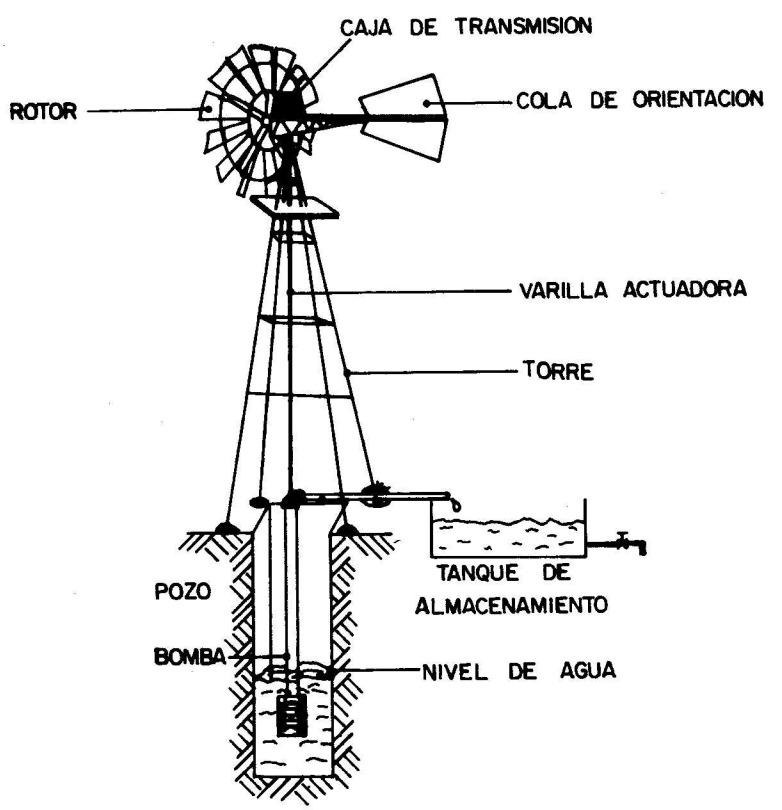
- mayor flexibilidad en la localización respecto a la máquina
- mayor capacidad de carga en las bombas eléctricas, respecto a las reciprocantes

Funcionamiento.

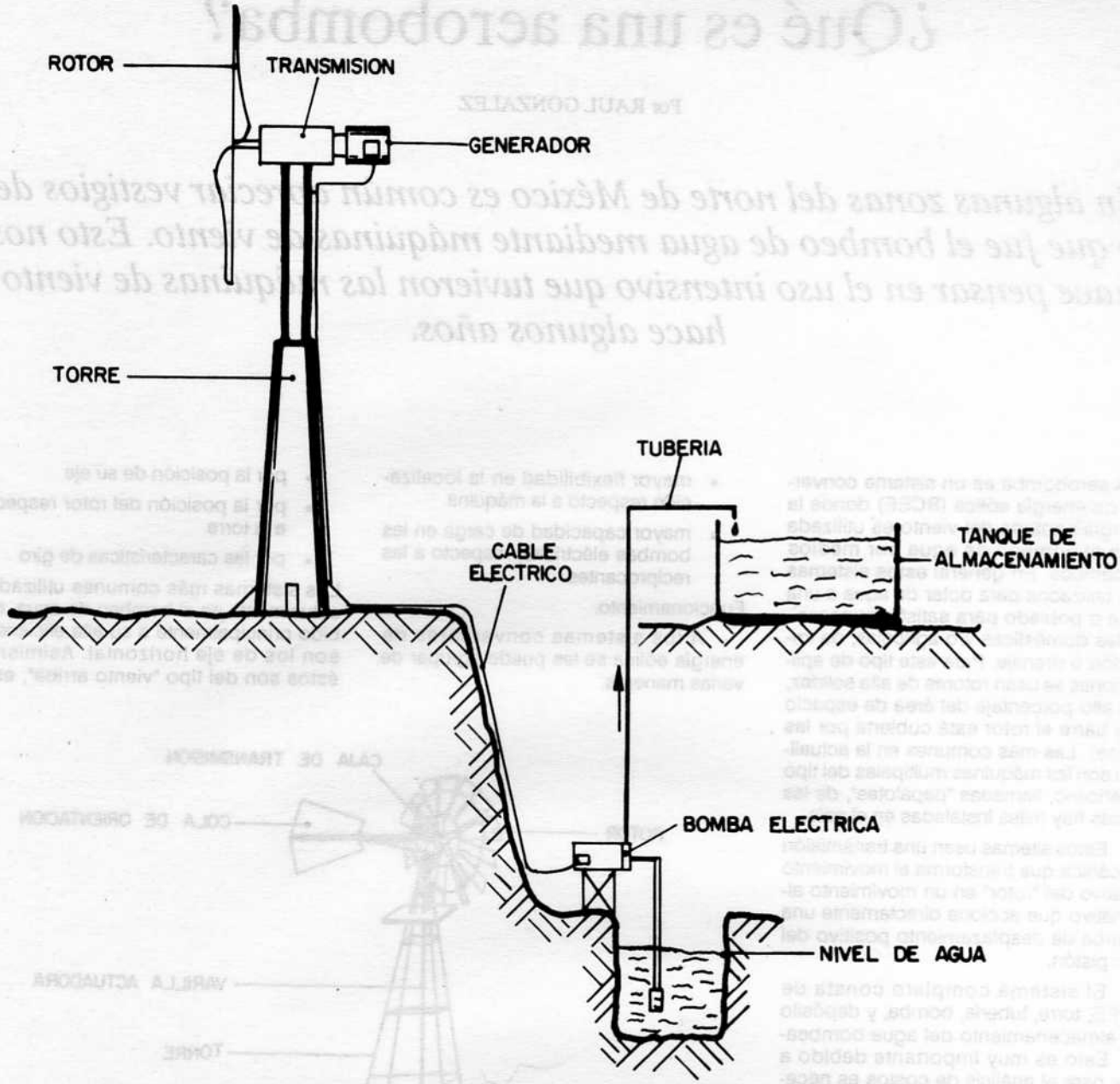
A los sistemas conversores de energía eólica se les puede agrupar de varias maneras.

- por la posición de su eje
- por la posición del rotor respecto a la torre
- por las características de giro

Los sistemas más comunes utilizados actualmente en el bombeo de agua, debido principalmente a su alta eficiencia, son los de eje horizontal. Asimismo éstos son del tipo "viento arriba", esto




Aerobomba que utiliza una bomba de desplazamiento positivo del tipo pistón




Generador acoplado a una bomba eléctrica

es, que el rotor se encuentra entre el viento y la torre.

Respecto a las características de giro del rotor, en general estos SCEE son de velocidad variable; esto es, que su velocidad angular varía según la velocidad del viento.

Un inconveniente que existe en estos sistemas, respecto a los de eje vertical, es que necesitan ser provistos de un medio de orientación al viento. Generalmente ésto se logra a través de una cola de orientación, la cual además de cubrir dicha función provee un control de sobrevelocidad del rotor cuando se presentan velocidades de viento superiores a la del diseño.

La transmisión del movimiento del rotor a la bomba se realiza a través de una caja reductora de velocidad cuya flecha de salida está acoplada a un conjunto "biela-manivela" y de aquí, a través de una varilla, es transmitido el movimiento alternativo al émbolo de la bomba, localizada ésta en el fondo del pozo.

La figura representa en forma esquemática la instalación tipo de un molino de viento en una aplicación de bombeo, utilizando una bomba de desplazamiento positivo del tipo pistón. La segunda figura esquematiza asimismo la instalación tipo de un molino de viento de baja solidez en una aplicación de bombeo, utilizando en este caso una bomba eléctrica.

# Descripción de un aerogenerador moderno

Por MARCO A. BORJA y RAUL E. BORJA

*Los continuos avances tecnológicos han dado como resultado que los antiguos molinos, empleados para la molienda de grano y el bombeo de agua, sean en la actualidad modernas máquinas de generación eléctrica.*

Ya que se hablará de la década de los 80, resulta importante situarnos en el presente y olvidar por un momento los antiguos molinos de viento para molienda de granos usados en siglos pasados. Un sistema conversor de energía eólica para generación de electricidad o aerogenerador moderno, está integrado por los siguientes componentes principales:

Rotor.- Formado por un conjunto de aspas de diseño aerodinámico, cuyo número y tamaño pueden variar y que generalmente son construidas con fibra de vidrio, aluminio, madera epóxica o acero, en orden de frecuencia de utilización. Las aspas se unen en el centro del rotor y se acoplan a una flecha. Este subsistema es el encargado de captar la energía cinética del viento y convertirla en energía mecánica.

Caja de transmisión.- Subsistema utilizado para acoplar la velocidad angular de la flecha del rotor, con la velocidad angular de operación o nominal de los generadores eléctricos utilizados.

Generador.- Puede ser de inducción, síncrono, asíncrono o de imanes permanentes, en orden de frecuencia de utilización.

Torre.- Subsistema para soportar el aerogenerador y mantener el área del rotor en una zona libre de turbulencia por efectos de terreno, árboles, construcciones, etc., y para captar mayor cantidad de energía, dado el incremento de la velocidad del viento con la altura. Las torres modernas pueden ser de tipo tubular o reticular y se construyen con acero.

Control.- Subsistema que se encarga de la orientación del rotor de acuerdo con la dirección del viento; ángulo de ataque de las aspas; arranque del sistema; frenado por condiciones de sobrevelocidad de viento; supervisión del correcto funcionamiento de los subsistemas y toma de acciones en caso de falla; operación de dispositivos de seguridad para su interconexión a las líneas de energía eléctrica; mejoramiento de la calidad de la energía producida; adquisición y transmisión de datos de comportamiento a sistemas supervisorios centrales; y captura y ejecución de órdenes enviadas por sistemas supervisorios centrales. La complejidad del sistema de control varía según el tamaño del aerogenerador y puede ser tan sencillo como sistemas mecánicos o tan complejos como sistemas electrónicos hechos con base en microprocesadores y servomecanismos.

De acuerdo con de la orientación del eje del rotor, estas máquinas pueden ser clasificadas como:

Eje horizontal.- El eje de rotación es paralelo a la dirección del viento. (Es el tipo más usado en la actualidad).

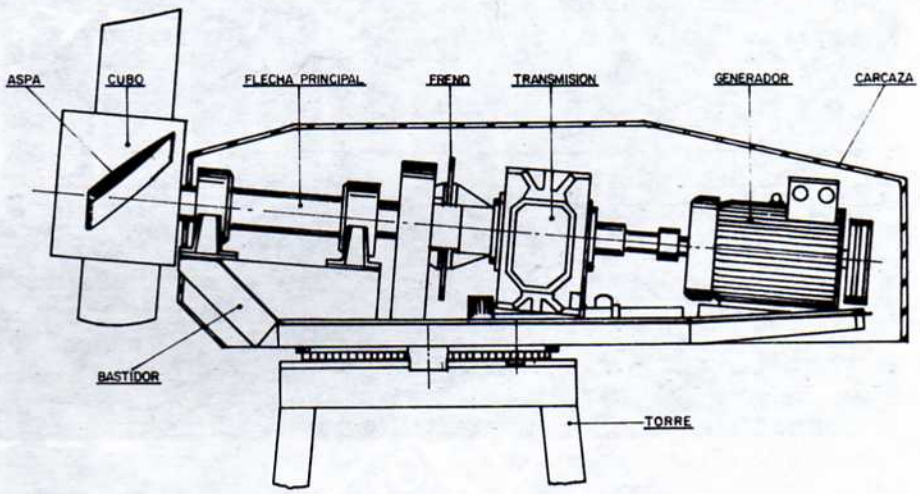
Eje vertical.- El eje de rotación es perpendicular a la dirección del viento.

De acuerdo con la capacidad de producción de energía eléctrica, los aerogeneradores modernos, pueden clasificarse como:

Pequeños.- Hasta 50 kW o diámetros del rotor hasta de 15 metros.

Medianos. De 50 a 500 kW o diámetros del rotor entre 15 y 35 metros. (Es el tipo más usado en la actualidad).

Grandes.- De 500 kW hasta varios




Esquema de un aerogenerador moderno

Megawatts o diámetros del rotor entre 35 y 100 metros. (En 1988 el sistema más grande del mundo en operación tiene una capacidad de 3.2 MW y 98 metros de diámetro, y se encuentra instalado en Hawaii).

En aquellos países en donde el uso de la energía eólica ha tenido un gran desarrollo, los sistemas pequeños y medianos han alcanzado su madurez técnica y económica y se producen en masa. Los sistemas grandes se encuentran en la etapa de pruebas de prototipos y se espera su madurez tecnológica para principios de los años noventa.

**Centrales Eoloeléctricas**

Un término muy importante al hablar del uso de la energía eólica en la presente década, es el de "wind farm". Este término significa "granjas eólicas", lo cual puede traer a nuestra mente una idea de aquellos ranchos, en donde una familia o grupo de ellas utilizan generalmente aerobombas, y en menores casos aerogeneradores, para el autoabastecimiento de agua y energía eléctrica.

Sin embargo, éste no es el significado actual del término mencionado. Una "granja eólica" es un conjunto de aerogeneradores que puede contener unidades, decenas, centenas o millares de estos sistemas, los cuales están interconectados entre sí y cuya producción, de energía eléctrica en conjunto, es conectada a las grandes redes de líneas de transmisión o distribución de energía eléctrica convencional.

Por ello, el término "wind farm" ha sido traducido al español más que por sus raíces inglesas, por su significado, y para ello se utiliza el término de centrales eoloeléctricas.

En la actualidad, las capacidades de las centrales eoloeléctricas están comprendidas en el rango de los 300, a los 500,000 kW y el número de máquinas instaladas para cada central va de 3 a 5,000 unidades.

Vista parcial de una central eoloeléctrica (Altamont Pass en los Estados Unidos)

# SEMANA NACIONAL DE ENERGIA SOLAR 1989

- Ciudad Sede: Morelia, Michoacán.
- Fecha: Del 2 al 6 de Octubre de 1989.
- Cursos de Actualización: Secado Solar, Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, Helioarquitectura, Energía de la Biomasa.
- XIII Reunión Nacional de la ANES.

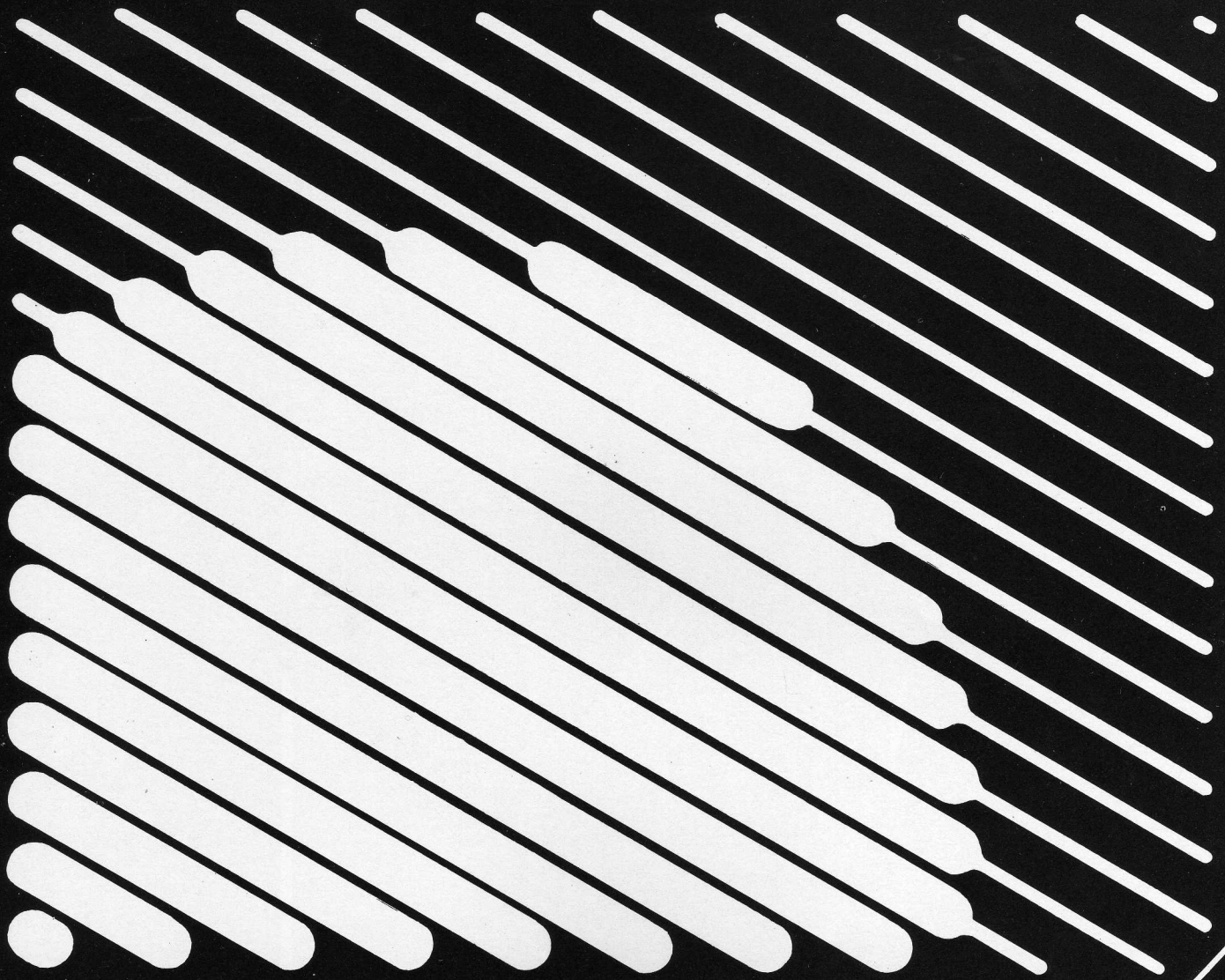
**Mayores informes:**
En México, D.F.: Dr. Hernando Romero P. Apartado Postal 20-633, 01000 México, D.F. Tel. (5)686-03-22 Ext.232

---

# EXPOENERGIA SOLAR '89
# 5, 6 y 7 de Abril de 1989

En las instalaciones de la Cámara Nacional de la Industria de Transformación.
Av. San Antonio No. 256, Col. Nápoles, Ampliación. México, D.F.
Exposición de Equipos, Materiales y Servicios
Conferencias
Organizado por: CANACINTRA y ANES

**Más información:**
Ing. Rodolfo Martínez S. (5)677-69-57
Ing. Luis Quijano V. (5)579-94-42
Ing. Carlos Flores (5)390-73-71



# módulo solar MR

"TECNOLOGIA COMPROBADA A PLENO SOL"

- Agua Caliente
- Electricidad
- Bombeo (Solar y Eólico)

industrias módulo solar s.a. de c.v.

Apartado Postal 4-110,
Cuernavaca, Méx. 62431
Tel. (73) 16-0451, en Méx. D.F. (5) 703-0097