

ECOTOPIA

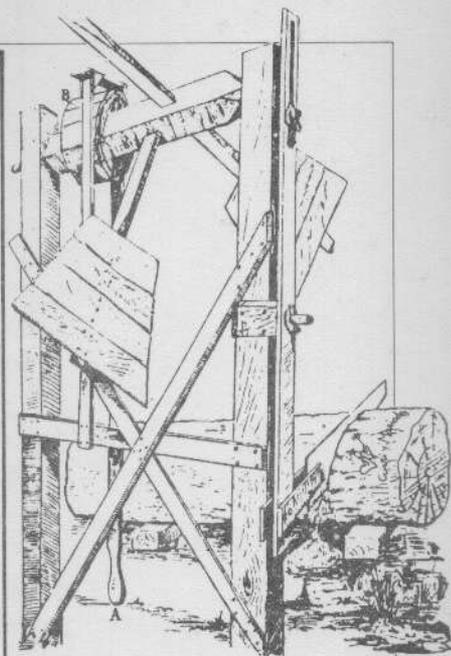
ENERGIAS LIBRES II



solar viento metano

ECOTOPIA

- 4** La Batalla del Sol — Cipriano Marín.
-
- 7** Sobre el uso de la energía — J. M. Naredo.
-
- 9** Por qué un plan energético alternativo — Joaquín Corominas.
-
- 18** Nuclear y Solar — B. Commoner y E. Tuzzi.
-
- 22** ¿Qué energía para qué sociedad? — Michel Bosquet.
-
- 27** SOLAR.
-
- 38** Creced y multiplicaros — Pierre Samuel.
-
- 44** El Molino y la Central — Sergio Los.
-
- 47** EL VIENTO.
-
- 76** Redefinición del problema energético — A. Lovins.
-
- 80** El Uso de las fuentes de energía — Darío Paccino.
-
- 82** METANO.
-
- 110** Otra manera de usar el Carbón — José Luis Fandos.
-



EDITORIAL ECOTOPIA
Apartado Correos 32151.
Barcelona.

Coordinación:
Cipriano Marín, Pep Pla

Redacción:
Benjamín Zufiarrain

Compaginación:
Pep Pla

Fotografía:
Gol

SOL: Joaquín Corominas

VIENTO: Pep Puig

METANO: Xavier Sanz

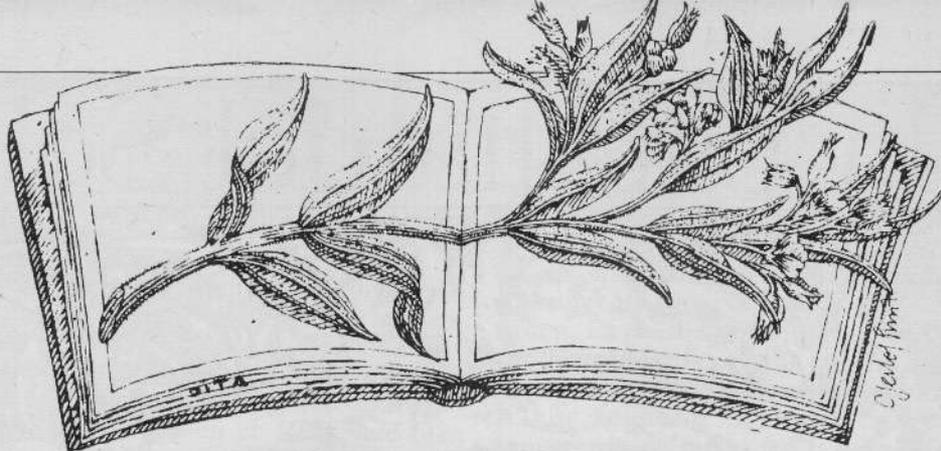
Han colaborado en este número:

Daniel Aixela, Ramón Aguirre, Carlos Ponce, Lila Pla, J. M. Naredo, B. Commoner y E. Tiezzi, Michel Bosquet, Pierre Samuel, Sergio Los, Pep Puig, Amory B. Lovins, Darío Paccino y José Luis Fandos.

Depósito Legal: Z.1.087-80

Imprime: Cometa, S. A. Zaragoza

ediciones  alternativas



Hace ya más de un año desapareció del panorama editorial la revista ALFALFA. El claro boicot de la empresa editora —Ajoblanco, S. A.— dio al traste con una publicación necesaria para el movimiento ecológico. La misma empresa editora ejerció sus derechos legales para quedarse con la cabecera «Alfalfa», no precisamente por proximidad a la ecología, sino por su comprobada tendencia a acaparar lo que pudiera tener algún valor monetario. De esta manera el grupo promotor y redactor de «Alfalfa» no pudo tener derecho al nombre que ellos habían trabajado.

Ahora, pasado un difícil plazo, el mismo núcleo fundador de «Alfalfa» sale adelante con otra publicación. La fuerza de las cosas obliga a un cambio de nombre. El paso del tiempo conduce a un cambio de enfoque. Surge así *Ecotopia*.

¿Qué ha pasado en este tiempo en la ecología española? Continúan existiendo movimientos específicos de lucha, principalmente antinucleares, si bien faltos de perspectivas globales y frecuentemente utilizados por organizaciones políticas tradicionales. Subsiste también una tendencia a la crítica y al debate teórico, aunque es frecuente su variante estéril, la simple curiosidad por un pensamiento de moda o un simple «estar al día» que convierten al pensamiento ecológico en una variante teórico-ideológica del post-marxismo.

Por lo demás, dejando de lado un seguro y próximo movimiento que intentará utilizar algunos temas característicos de la ecología como banderín de enganche para ver quién cae en sus redes, quedan algunas insignias antinucleares y la fastuosa propensión progre a confundir el culo con las tóporas y poner un pequeño comercio con algo de ello. Mucho nos tememos que la idea que el españolito tiene de la ecología es un híbrido del yoga, la propensión animal al verde, una desconcertante ternura hacia las focas, buitres y ballenas y el lavarse el cabello con algún exótico champoo de hierbas. Y casi de todo ello ponen tiendas.

Según esto, ¿qué pretendemos nosotros?

Sin en absoluto desechar la teoría ni la información de los sucesos que puedan ocurrir, intentaremos llevar a *Ecotopia* alimento informativo para una reflexión práctica, para, mediante el desarrollo de temas monográficos, aumentar las posibilidades de hecho de respuesta ecológica frente al poder energético y debatir las iniciativas autónomas frente a la producción organizada.

En ello estamos.



el viento y su tecnica

PEP PUIG

Toda la energía de la tierra viene de las estrellas y principalmente de la estrella SOL en forma de radiaciones o de presiones astro-gravitaciones (en esto la astronomía tiene mucho que enseñarnos).

Durante las 24 horas del día, el Sol envía radiaciones a la superficie de la tierra en un área de aproximadamente 100 millones de metros cuadrados, lo que correspondé a la mitad de la superficie total de la esfera terrestre. La superficie en la que incide varía según la hora del día, produciéndose la repetición del ciclo cada veinticuatro horas.

Parte de la radiación que llega de las estrellas es reflejada por las capas superiores de la atmósfera, el resto llega hasta la Tierra originando los fenómenos metereológicos y biológicos que conocemos.

Menos del 20 por ciento de esta radiación solar se convierte en energía eólica, originando los movimientos de masas atmosféricas de aire a causa de las variaciones de presión que se producen entre las distintas zonas de la tierra.

EL DIOS EOLO

Los conocimientos sobre el origen primario de los vientos son recientes. En la antigüedad se reducían a meras especulaciones religiosas que lo consideraban, por su fuerza indomable, el sopló de los dioses.

En las antiguas Grecia y Roma, se les dió nombre y forma a los vientos, siendo Boreas el dios del viento del Norte, Notos el del Sur; Euros del Sureste, Zefiros el del Oeste, Kebias del Noreste, Afeliotes del Este y Lips del Suroeste, considerándolos a su vez benefactores por proporcionar a los habitantes del país buenas condiciones ambientales y de trabajo.

En cambio Tyfenus, dios del huracán era el funesto, el garbanzo negro de la familia de Eolo, dios de los dioses del viento.

También otros pueblos tenían Dioses eólicos así. Los vikingos tuvieron a Thor, los indios a Rudra, Vagu, etc.

Este sabor mitológico se ha venido conservando hasta nuestros días. En este país existen vientos que sin ser dioses tienen nombre propio. ¿Serán el Cierzo, la Tramontana, el GarvÍ y otros muchos vientos, las imitaciones ibéricas de los antiguos dioses del viento griegos?



¿DE DONDE SALE EL VIENTO?

Como hemos visto el origen de las corrientes atmosféricas de aire son las estrellas y principalmente el Sol. Esta energía solar que incide sobre la tierra, produce variaciones de temperatura en el aire. En el Ecuador, la radiación por unidad de superficie es superior a la de los Polos en contrapartida a la menor temperatura de éstos. Esto no significa que la temperatura de los polos disminuya sin cesar y que la del Ecuador aumente ya que el calor acumulado en el Ecuador pasa a través de las corrientes de aire a los Polos. La corriente no llega a los polos a causa de la fuerza de Coriolis que la desvia, fuerza que depende de la velocidad del viento a mayor velocidad, más desviación de la velocidad de rotación de la Tierra (siempre constante) y sobre todo de la latitud del punto donde se encuentra el viento. (dos veces más fuerte a 40° que a 20°)

La circulación general es simétrica para cada uno de los hemisferios, los vientos van del Oeste al Este en el Norte y al revés en el Sur.

La corriente de altura denominada jet-stream es el eje principal de esta circulación. La velocidad media es del orden de 200 a 500 km/h y la altura media de 9.000 metros sobre el nivel del mar.

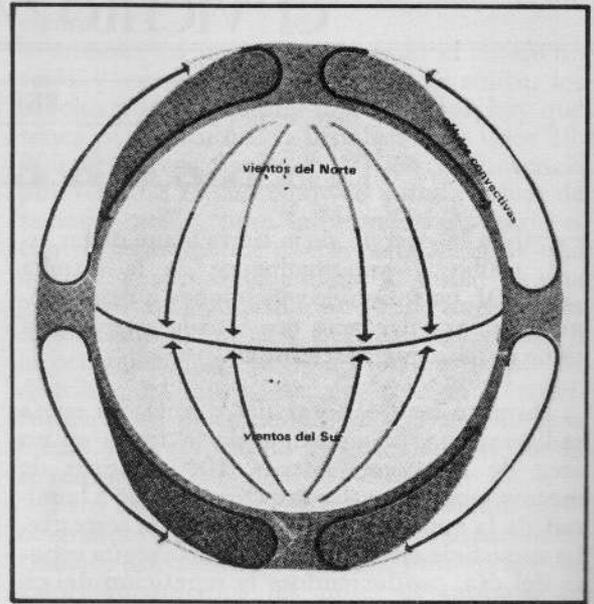


Fig. 1. Circulación general de los vientos

El viento va de zonas donde la presión es elevada (anticiclones) a zonas donde es baja (depresiones) siendo afectado por la aceleración de Coriolis hacia la derecha en el Hemis-

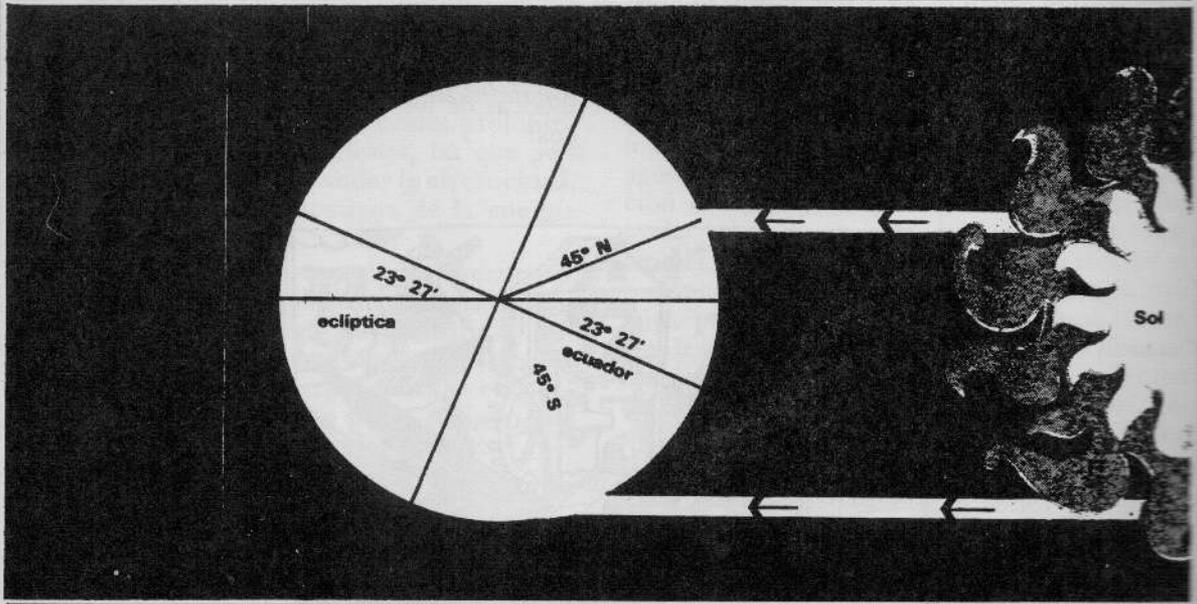


Fig. 2. Energía solar que incide sobre la tierra y que produce las variaciones de temperatura en el aire.

ferio Norte y hacia la izquierda en el Sur.

La circulación general, en la superficie, depende del reparto medio de presiones a través de un cuarto de meridiano terrestre. De donde resultará la siguiente distribución del flujo del aire, sin tener en cuenta los continentes.

Podemos diferenciar las diferentes masas de aire:

- 90° a 60° : Aire Artico
- 60° a 40° : Aire Polar
- 40° a 5° : Aire Tropical
- 5°N a 5°S : Aire Ecuatorial

Entre las distintas masas de aire existen zonas de rozamientos. Durante las diferentes estaciones del año la superficie sobre la cual incide la radiación solar, varía al hacerlo también la inclinación de la tierra, y en consecuencia las masas de aire anteriormente descritas en el sentido del Sol.

La presencia de masas continentales origina efectos térmicos sobre la circulación general de masas de aire, y así tenemos un anticiclón

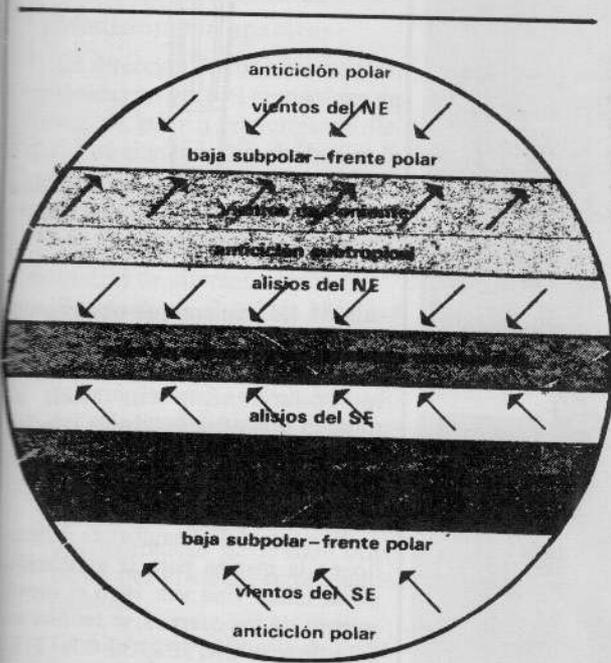


Fig. 3. Vientos permanentes en la superficie terrestre.

permanente en el Océano Glaciar Artico, una depresión en Islandia a 60° N y un anticiclón en las Azores.

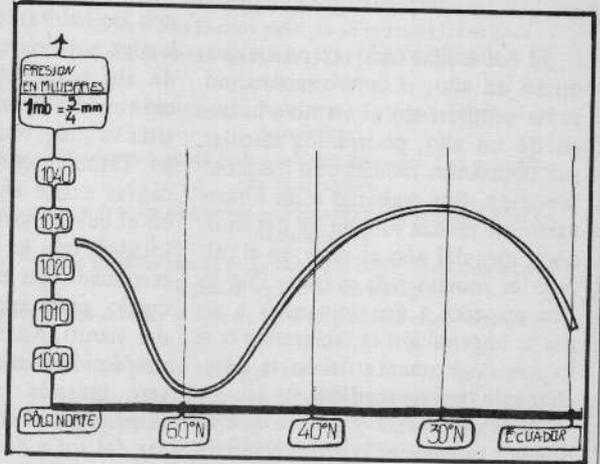


Fig. 4. Repartición media de las presiones en un cuarto de meridiano.

La distribución de masas de aire es la media de períodos de tiempo muy largos (una estación o un año), pero la determinación instantánea de la atmósfera es un problema que los meteorólogos estudian a diario con la finalidad de predecir su situación para un período muy corto de tiempo y cuyos resultados todos conocemos por su difusión periódica.

EL VIENTO ES...

Para un concepto tan claro la manera de definirlo más sencilla y rápida es la de la escuela: "El viento es el aire en movimiento".

Pero no sólo debemos conocer como se origina y qué es el viento sino que además debemos medirlo. Para esto contamos con un aparato llamado anemómetro que nos mide la velocidad en km/hora o en m/s y con una veleta que nos indica la dirección según los diferentes puntos cardinales.

Como el objetivo final del presente intento de conocer el viento es el aprovechamiento de su fuerza, comenzaremos por definirle numérica y geográficamente con el fin de poder predecir en un lugar determinado, la energía que podemos disponer.

COMO PODEMOS MEDIR EL VIENTO

El Sol realiza ciclos térmicos que duran un año, si conocemos como se ha comportado el viento a lo largo de un año, podríamos calcular sus constantes medias con bastante precisión. Sin embargo si la observación se realiza solo en un determinado mes del año el error en el cálculo es mucho más grande. Por lo que respecta a una semana o a un día la imprecisión es tan grande con lo que lógicamente debemos desear este tipo de medidas.

A pesar de esto y puesto que lo que nos interesa es la producción de energía a lo largo de un año procederemos a medir este valor a partir de dos métodos:

- Observación de fenómenos
- Medición con aparatos

a) Observación

Partimos del saber popular; todos los habitantes del campo saben cuales son los vientos dominantes, de ahí podemos conocer la dirección media anual aproximada y si el sitio es muy ventoso o poco ventoso. También conocen sin en las cercanías existe alguna colina o llano en el cual el viento tiene mucha velocidad, con lo cual tendríamos determinado un emplazamiento adecuado para aprovechar la energía del viento. Además, de esto, para la predicción diaria a corto plazo existen indicios significativos como pueden ser el color del cielo, el color del sol o de la luna y un sin fin de fenómenos cuya precisión sin ser elevada, resulta aceptable. De todas maneras, resulta difícil medir la velocidad del viento sin aparatos. En 1805 el almirante Francis Beaufort de la Marina inglesa definió una es-

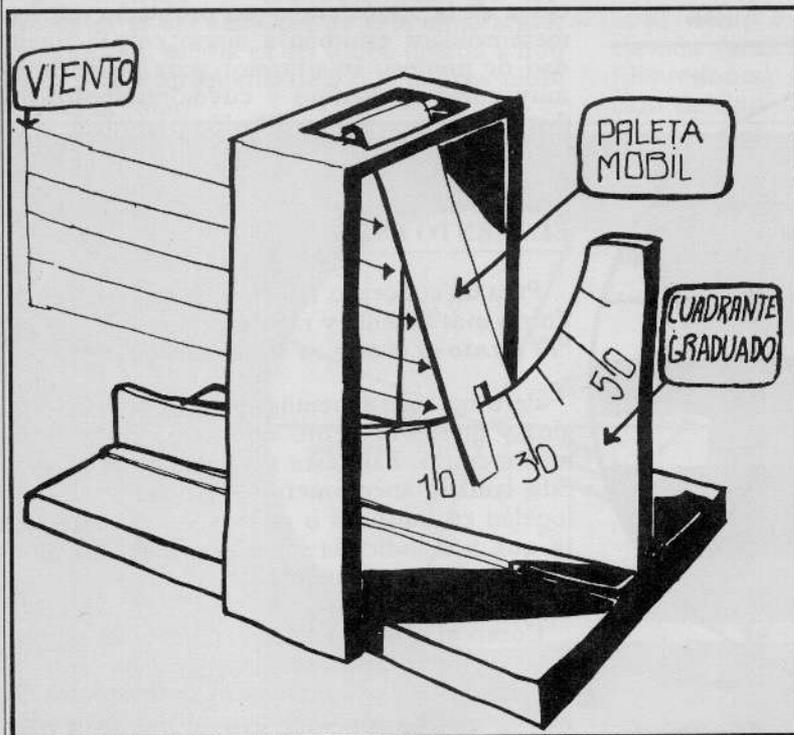


Fig. 1. Anemómetro rudimentario fácil de construir. El ángulo de inclinación de la pala móvil determina la velocidad del viento.



Fig. 2. Anemómetro de cazoletas con lectura instantánea de la velocidad.

cala de tal manera que observando la forma de las olas se determinaba numéricamente la velocidad del viento. Posteriormente esta escala se trasladó a la observación de árboles y otros elementos de tierra adentro. (ver tabla en pág. siguiente)

El número de Beaufort es utilizado en la marina para la aplicación de la tabla. Una vez visto el movimiento de los cuerpos, se reúnen en la columna CRITERIOS EN TIERRA obteniéndose la correspondiente velocidad del viento en Km/h o m/s.

NUMERO BEAUFORT	VELOCIDAD VIENTO		DESCRIPCION GENERAL	CRITERIOS EN TIERRA
	KM/H	M/S		
0		0/0,2	Calma	El humo sube verticalmente
1	1/5	0,3/1,5	Aire ligero	El humo se inclina pero no se mueven las veletas
2	6/11	1,6/3,3	Brisa ligera	Se nota el viento en la cara. Las hojas se mueven y las veletas giran
3	12/19	3,4/5,4	Brisa suave	Hojas y ramitas en movimiento continuo. Se agitan las banderitas
4	20/28	5,5/7,9	Brisa moderada	El viento levanta polvo y hojas de papel. Las pequeñas ramas se agitan
5	29/38	8,0/10,7	Brisa fresca	Los árboles pequeños se balancean. Se originan olas en los estanques
6	39/49	10,8/13,8	Brisa fuerte	Las grandes ramas se agitan. Los hilos eléctricos vibran. Es difícil aguantar un paraguas
7	50/61	13,9/17,1	Viento moderado	Los árboles se agitan. Es desagradable caminar cara al viento
8	62/74	17,2/20,7	Viento fresco	Se rompen las ramas pequeñas. Se camina mal cara al viento
9	75/88	20,8/24,4	Viento fuerte	Se pueden producir ligeros destrozos (caída de cubiertas de chimeneas o de tejas.
10	89/102	24,5/28,4	Viento fortísimo	Se produce en muy contadas ocasiones en el interior de las tierras. Destrozos en los árboles y en los edificios.
11	103/117	28,5/32,6	Tempestad	
12	118/133	32,7/36,9	Huracán	
13	134/149	37,0/41,4		
14	150/166	41,5/46,1		

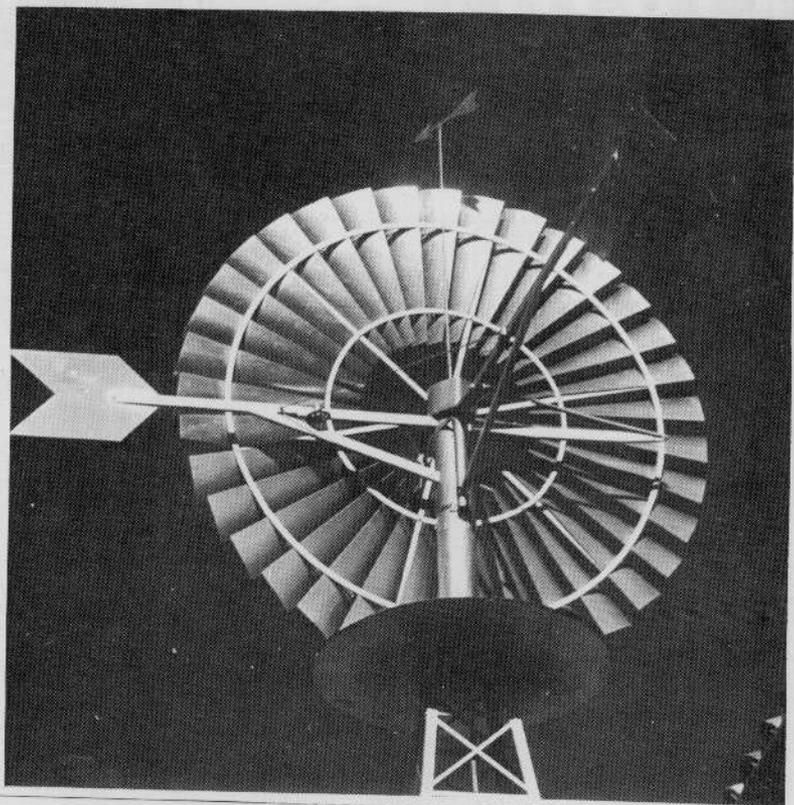
Tabla de Beaufort.

b) Medición con aparatos

La dirección se mide con veletas, conchas en todo el mundo, sea en forma de gallo o en forma de flecha. Los chinos las empleaban en la antigüedad con una precisión casi tan grande como la actual.

La velocidad se mide con anemómetros de diferentes tipos:

- De cazoletas, 3 o 4 de ellas que giran en un eje vertical y accionan un motor que produce corriente lo que es transformado en velocidad mediante un amperímetro.
- De depresión, constan de dos tubos que miden la velocidad por diferencias de presión originadas por el viento en diferentes puntos.
- De hilo caliente, consta de un hilo cuya resistencia eléctrica varía en función de la velocidad del viento.

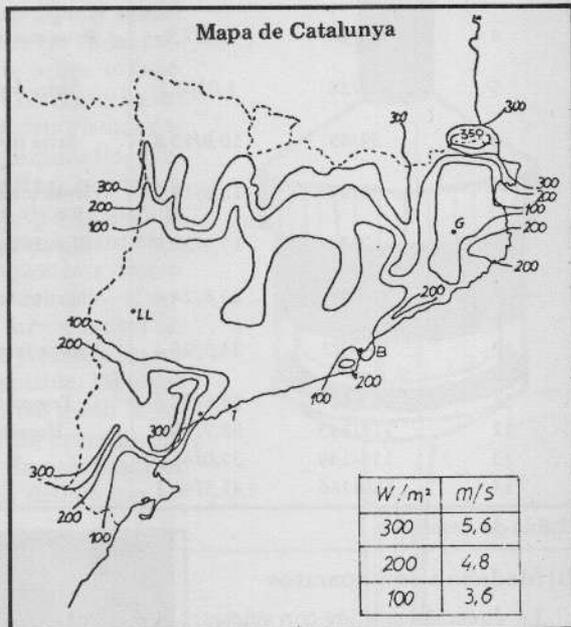


Mapas de vientos

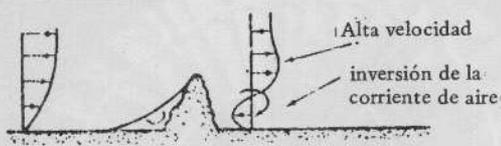
Los servicios Meteorológicos elaboran mapas sobre cada región que investigan.

A partir de las velocidades medias diarias calculan la velocidad media mensual y la velocidad media

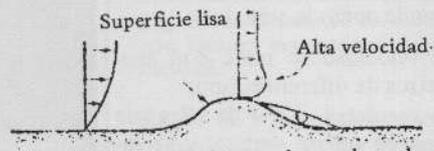
anual. Esta última es la de más valor y la representada gráficamente.



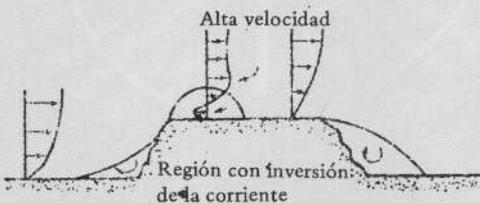
INFLUENCIA DE LA SITUACION FISICA EN EL RENDIMIENTO DE UN MOLINO



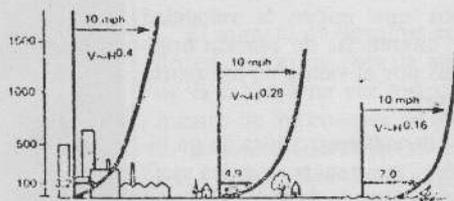
Una superficie abrupta no es un lugar adecuado



Una superficie ondulada es un lugar adecuado



Una superficie puntiaguda podría ser adecuada

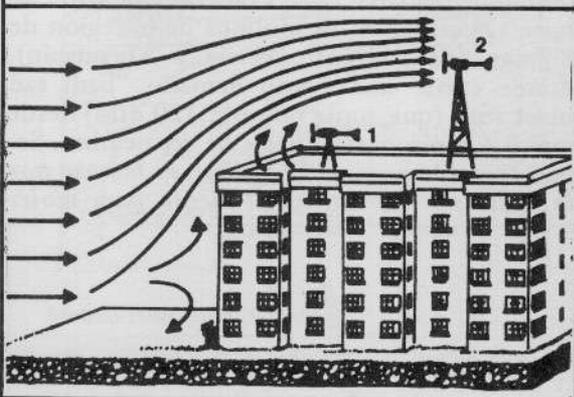
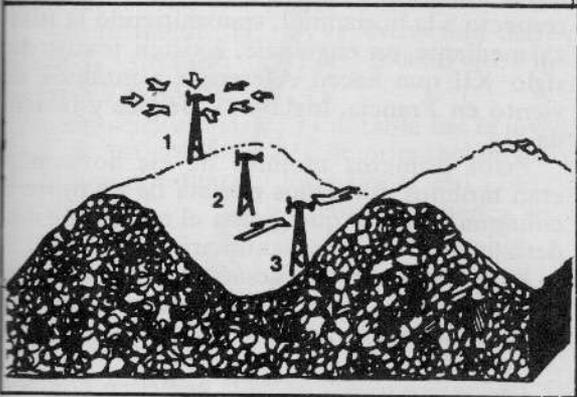
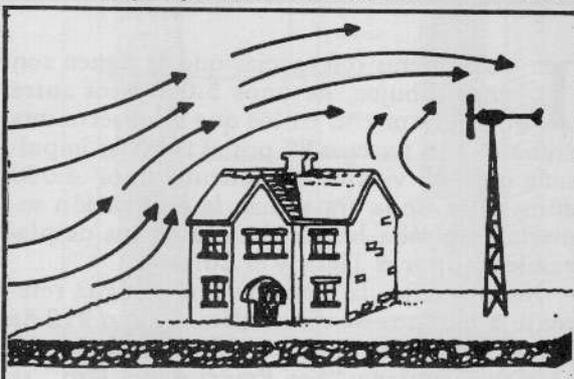
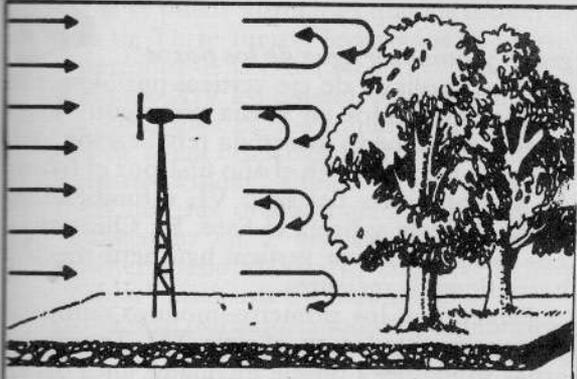




INFLUENCIA DEL TERRENO SOBRE LA VELOCIDAD DEL VIENTO



Al atravesar un obstáculo natural, la velocidad del viento varía tal como apreciamos en la figura.



origenes de la energía Eólica

Las primeras referencias que se tienen son unos dibujos, de unos 5.000 años antes de nuestra era, en los que se observa una embarcación navegando por el río Nilo impulsada por el viento. Igualmente unos 4.000 años antes de la era actual, la civilización sumeria empleaba barcos de vela en sus desplazamientos por el Tigris y el Eufrates.

No obstante, la mención más antigua referente a molinos de viento data del año 912 de la era actual. En la obra del autor árabe Al-Mas'udi, titulada "Las Praderas del Oro" se hace referencia a los molinos de la región de Sijistan (situada entre Persia y Afganistán), donde existe un viento llamado "badi sad ubist ruz" (que sopla durante 120 días) desde mayo o junio hasta finales de septiembre. Según el citado autor: "El Sijistan es famoso por la industria que utiliza el viento para moler

grano y bombear agua de los pozos".



Estos molinos de eje vertical posiblemente fueron inventados en Persia por algún "ingeniero" del imperio sassanida (civilización preislámica, derrotada en el año 651 por el Islam) en el transcurso del siglo VI, difundándose hacia el Oeste y hacia el Este. En China algunos molinos de eje vertical han permanecido hasta tiempos recientes.

Parece que los primeros molinos europeos fueron inventados en el siglo XII. Tenían las aspas solidarias a un eje inclinado unos 8-15° respecto a la horizontal, transmitiendo la fuerza mediante un engranaje. Existen textos del siglo XII que hacen referencia a molinos de viento en Francia, Inglaterra, Bélgica y Holanda.

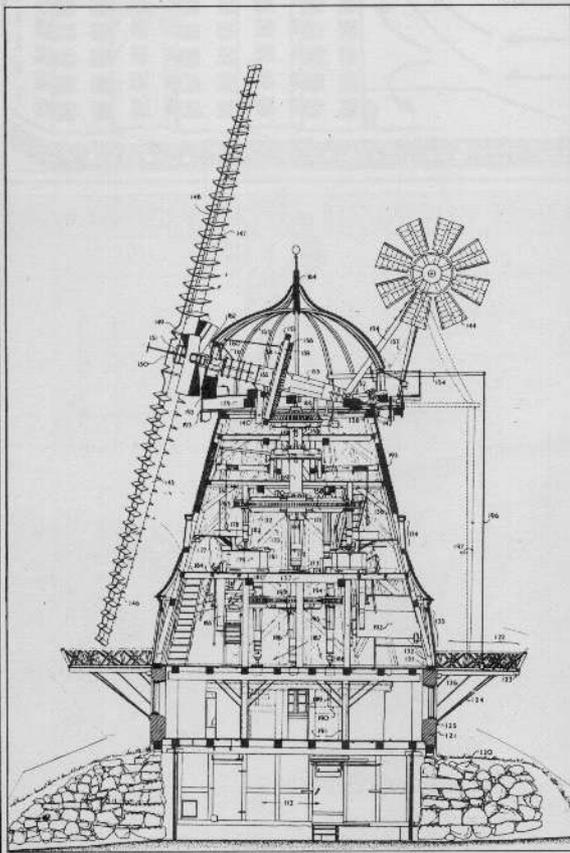
Estos primeros molinos de eje horizontal eran molinos montados encima de un poste o columna sobre el que giraba el recinto de madera que contenía la maquinaria.

Posteriormente se desarrollaron los molinos de trípede, reproducidos en muchas pinturas de maestros flamencos durante los siglos XV al XVII.

Las referencias que hoy se tienen con respecto a los molinos de Torre son más modernas que las de los molinos de eje vertical y de los de poste, no estando clara la relación entre las Cruzadas y la expansión de los molinos de eje horizontal en Europa.

La referencia más antigua que se tiene de los molinos del área mediterránea data del Califato de Córdoba (s. X). El erudito Lévi Provençal en su obra "La España Musulmana del siglo X. Instituciones y vida social" dice: "Los molinos eran numerosos en el campo, los había de viento y, sobre todo, de agua en los ríos..." En "La descripción de la Península de Ibn' Abs al- Mun'im al Himyari" se dice: "una de las curiosidades de Tarragona consiste en los molinos de viento que fueron montados por los antiguos, que funcionan cuando sopla el viento y paran cuando cesa" (se refiere al siglo X).

En el siglo XIV (1330) el Arcipreste de Hita, en su "Libro del Buen Amor" dice: "facen con mucho viento andar las atahonas". También autores árabes hablan de "Tahuna"



para referirse a los molinos de Sijistan, y algunos autores deducen que los molinos de Castilla fueron realizados por los árabes (?). Lo que sí se puede afirmar es que los primeros molinos de Torre fueron levantados en los oscuros períodos de la Edad Media.

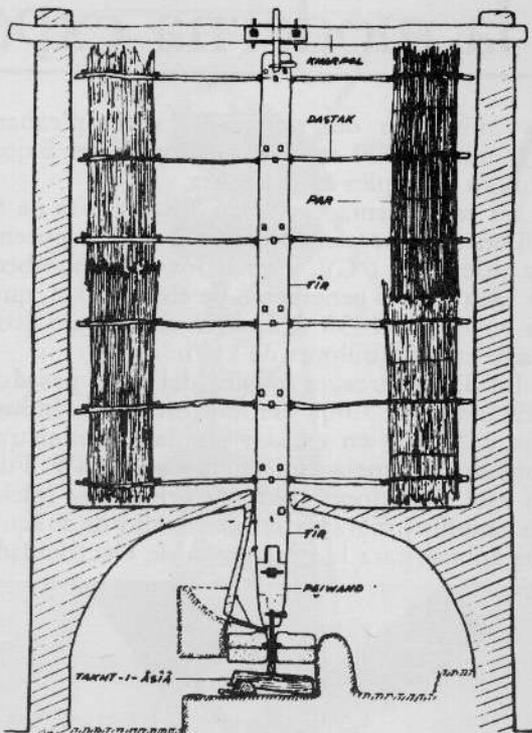
En el siglo XIV los holandeses desarrollaron mucho la técnica de los molinos, aplicada al drenaje de zonas húmedas: entre 1608 y 1620 el "Beemster Polder" situado 3 m. debajo del nivel del mar fue drenado mediante 26 molinos trabajando en 2 niveles. Un ingeniero, Leehgwater drenó en cuatro años el "Schermer Polder" mediante 50 molinos.

También se utilizaron molinos para fabricar aceite, pasta de papel y en la industria de la madera.

Prácticamente la estructura de los molinos no varió mucho entre los siglos XV y XVIII.

La innovación más notable fue la invención de un sistema de orientación automático por Eduardo Lee el año 1745.

En la península Ibérica se desarrollaron innumerables variantes de molinos de Torre, los



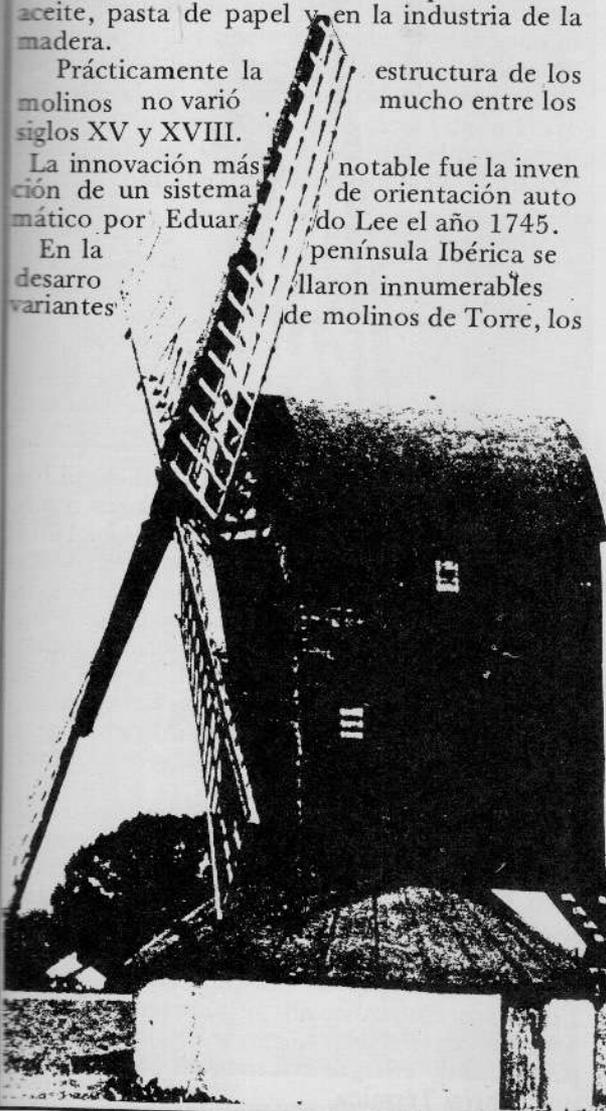
Molino Horizontal Afgano.

de la Mancha, los de Andalucía (Huelva y Cartagena), los de las Baleares, etc.

De la gran cantidad de molinos que existieron, quedan contados ejemplares en la actualidad. Pero aún son muchos menos los reconstruidos que permiten ver el funcionamiento de aquellos ingenios, que aprovechando la energía del viento, desarrollaron un trabajo útil a la sociedad.

En cambio, en muchos países europeos (Inglaterra, Holanda, etc.) muchos molinos se han preservado de la destrucción, reconstruyéndolos y manteniéndolos en funcionamiento.

Incluso existen en algunos de ellos, importantes sociedades de amigos de los molinos que velan constantemente por su salvaguarda.



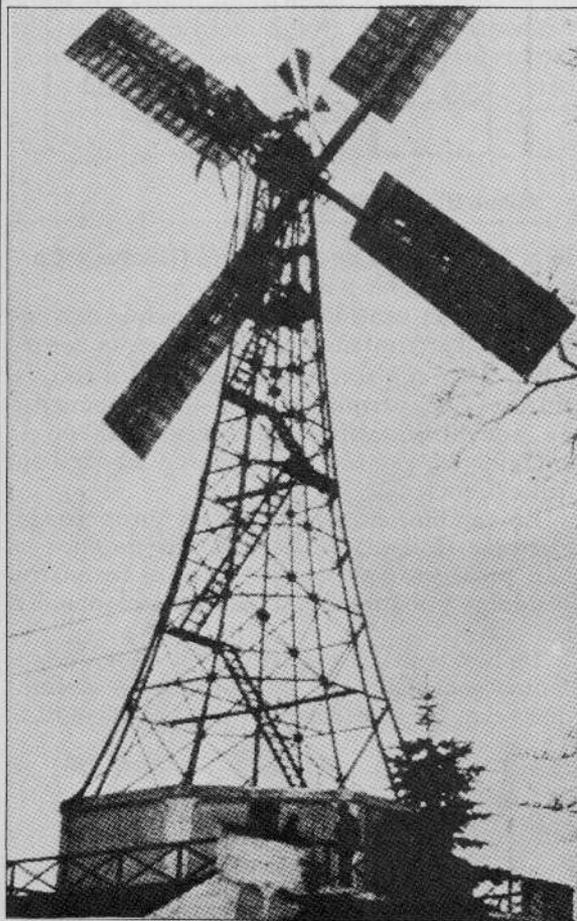
Molino de Pitstone (1627) Inglaterra.

la moderna experiencia del viento

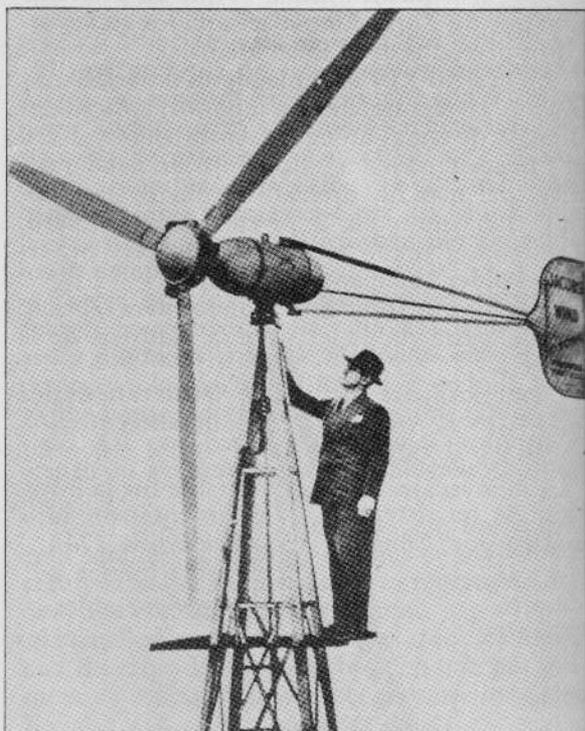
A mediados del siglo XIX se empleaban unos 9.000 molinos en los Países Bajos en múltiples aplicaciones.

En esta misma época en EE.UU más de 6 millones de pequeños aeromotores de potencia inferior a 1 CV, empleados en el bombeo de agua y en la generación de electricidad, que ya en el año 1890 realizaban un trabajo estimado en 1,04 billones de kw/h.

En Dinamarca, a finales del siglo pasado, existían unos 3.000 aeromotores en la industria y 30.000 en casas y granjas. Suministraban una potencia equivalente a 200MW. Fue en este país donde por vez primera se inició un amplio programa de desarrollo de máquinas eólicas para la generación de electricidad.



Molino experimental de Askov (Dinamarca)



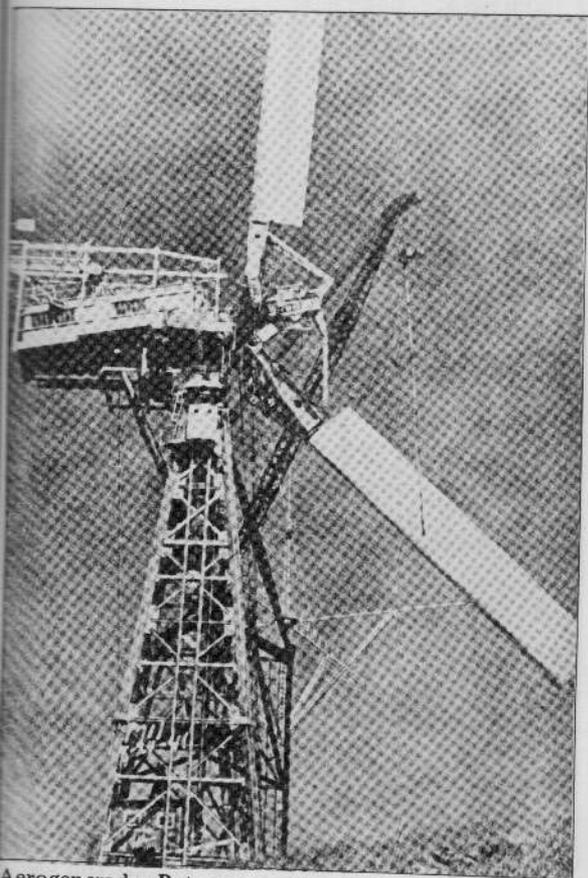
Aerogenerador Jacobs (1931-1957)

En el año 1891 el Profesor La Cour inició los experimentos, obteniendo los mejores resultados con rotores de 4 aspas. En el año 1902 se utilizaban centenares de aerogeneradores diseñados por La Cour; consistían en torres de 25 m. de altura, con rotor de 4 aspas de 23 m. de diámetro y con una potencia comprendida entre 5 y 25 kw. En el año 1918, de 418 estaciones rurales de generación de electricidad, 120 la generaban eólicamente. Sólo en el año 1916, en Dinamarca, se construyeron 1300 nuevos aeromotores.

En la década de los años 30, una sociedad danesa ya comercializaba aerogeneradores de 18 m. de diámetro de aspas. Existieron también proyectos monstruo: Torres de 240 m. de altura con múltiples rotores de 160 m. de diámetro. Tal era el proyecto de Honnef que el 3er Reich Alemán nunca llegó a realizar. Los rusos construyeron un aerogenerador de 100 kw en Balaclava, cerca del Mar Negro, produciendo energía eléctrica en paralelo con una central Térmica.

De esta época son el rotor de Flettner (basado en el efecto Magnus y que fue utilizado para la impulsión de barcos, llegando a atravesar uno de ellos el Atlántico), los aerogeneradores Jacobs (ampliamente utilizados en todo el mundo), el rotor de Savonius y el rotor de Darrieus.

No obstante, el primer intento de desarrollar un gran sistema para la generación de electricidad mediante aeromotores fue realizado por Palmer C. Putnam. Su construcción comenzó en octubre de 1939, conectándolo a la red el 19 de octubre de 1941. Estaba ubicado en Grandpa's Knob. En el mes de mayo de 1945, después de funcionar intermitentemente, sufrió la rotura de una pala, y se abandonó el proyecto. Sus características eran: hélice bipala de 53 m. de diámetro, generador asincrónico de 1250 kw y 600 rpm, altura de la Torre 36 m. Con un viento de 15 m/s, el rotor giraba a 28 rpm, dando una potencia de 1250 kw.



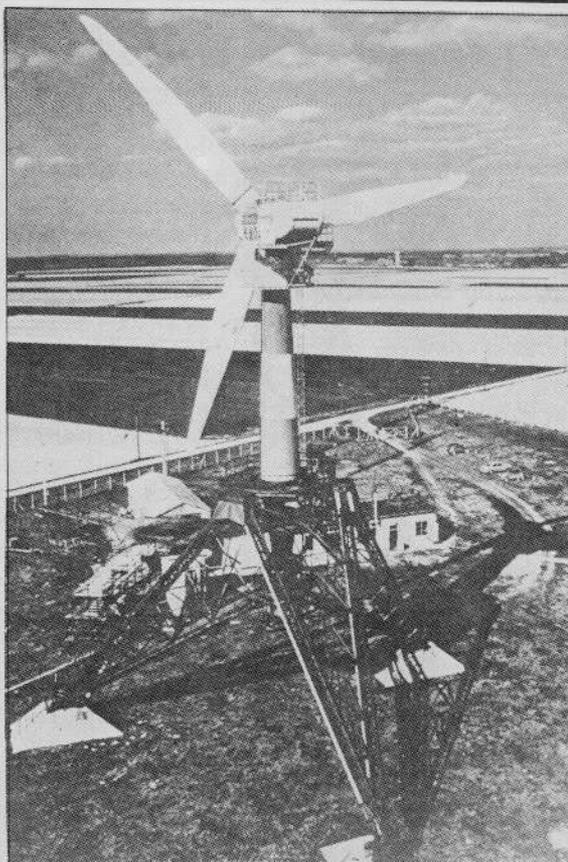
Aerogenerador Potnam



Aerogenerador de Costa Hill (Okney) 100 Kw.

En Dinamarca, acabada la 2ª Guerra Mundial, J. Juul, continuó las investigaciones iniciadas por La Cour, instalando un aerogenerador (7,5 m. de diámetro de palas y 13 kw.) en la isla Zealand (1950). También en la isla de Bogo, y a partir de un aeromotor existente, se instaló un aerogenerador Tripala (diámetro 13,5 m y 45 kw.) conectado a la red que funcionó durante mucho tiempo. En 1956 comenzó la construcción de una unidad experimental de 200 kw. de Gedser (tripala, diámetro 84 m. Torre de Hormigón de altura 25 m.) Estuvo funcionando desde 1959 hasta 1967, suministrando 2.242.000 Kw/h. No obstante, a partir de 1965 se abandona en Dinamarca la utilización de la energía eólica hasta épocas muy recientes.

En Inglaterra, en la década de los 50, bajo la dirección de E. Golding se desarrolla un amplio trabajo sobre generación eólica de electricidad. Se instaló un aerogenerador de 100 kw. al norte de las islas Orkney. Funcionó hasta



Aerogenerador Best-Romani Nogent-le-Roy

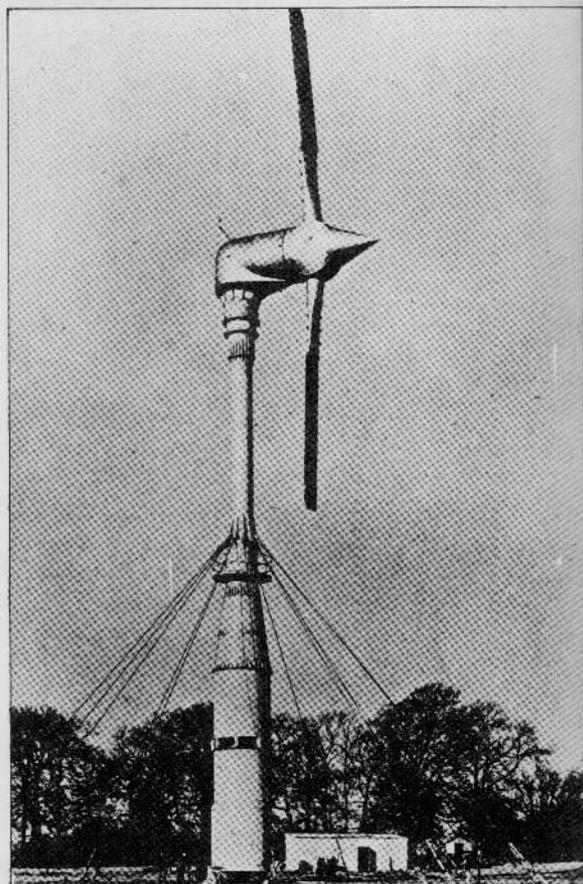
1955 conectado a la red y en paralelo con grupos eléctricos. Se había previsto la realización de una máquina de 250 kw. que nunca llegó a realizarse. También en el año 1950 la compañía inglesa Enfield inició la construcción del aerogenerador diseñado por el francés Andraeu. Más tarde (1957) se instaló en Grand-Vent (Argelia) funcionando con un rendimiento del 20 por ciento.

En Francia entre 1947 y 1966 se realizaron grandes esfuerzos para conocer el potencial eólico y la estructura del viento entre 0 y 100 m. Se desarrolló un tipo especial de anemómetro y se dibujó el mapa eólico de Francia. Además se construyeron varios prototipos: El Best-Romani (800 Kw, diámetro 30 m.) en Nogent-le-Roi, los dos aerogeneradores Neyrpic de 132 y 1000 kw Saint-Remy-des-Landes. También en este país se desarrollaron pequeños aerogeneradores (las eólicas de J. B. Morel, la eólica instalada en Fressinades, etc.), pero el programa eólico fue abandonado por EDF, debido a que la crisis energética, previs-

ta por sus expertos para los años 60, no se vislumbraba.

También los alemanes se preocuparon de la energía eólica. Acabada la 2ª Guerra Mundial, la empresa Allgaier construyó numerosos aerogeneradores de 8 kw Tripales. Pero fue bajo la dirección del profesor Ulrich Hutter, cuando se perfeccionaron en gran manera los diseños de aeromotores para la generación de electricidad. Desde 1950 hasta 1960 se desarrollaron máquinas de 10 a 100 kw, con rotors ultraligeros que giraban a velocidad constante, con palas que variaban su ángulo de inclinación, construidas con fibra de vidrio y plástico. La mayor, ubicada en Stötten, funcionó desde 1957 hasta 1968.

A pesar de los buenos resultados obtenidos, estos proyectos fueron abandonados en todos los países, pues decían que la energía eólica no podía competir con la generación de electricidad por medio de centrales térmicas.



Aerogenerador Enfield-Andreu (St. Albans) 100 Kw.

EL PROGRAMA EOLICO DANES

I. Programa de investigación energética

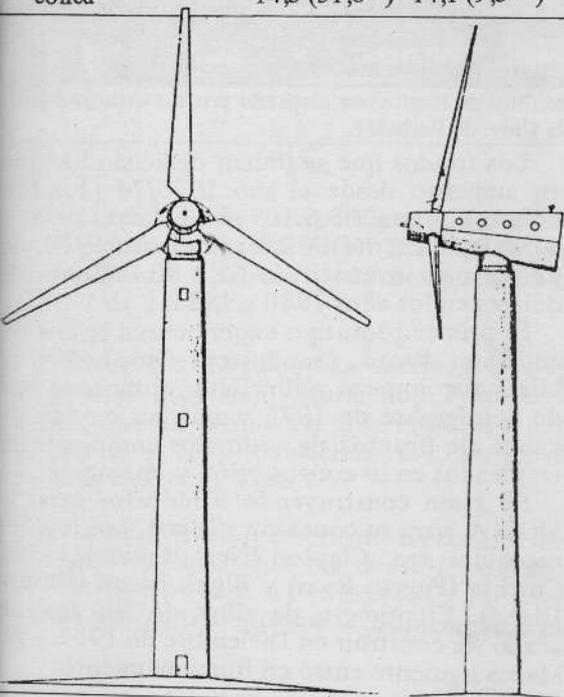
El Ministerio de Comercio desarrolla desde marzo de 1976 un programa energético que consta de dos fases de una duración de 5 años.

– 1ª fase (1976/77 hasta 1979) tiene una subvención de 45,3 millones de Coronas Danesas (KD) y abarca una serie de estudios específicos para todos los sectores energéticos.

– 2ª fase (1977/78 hasta 1982) con una subvención de 150,9 millones de KD es una continuación de la 1ª fase.

Las partidas destinadas al estudio y ensayo de la tecnología eólica son las siguientes:

	1ª fase	2ª fase
	Mill. KD	Mill. KD
	(% del total)	(% del total)
5. Estación experimental para pequeños y medianos aerogeneradores	–	5 (3,3)
6. Desarrollo de grandes centrales de energía eólica	14,3 (51,6)	14,1 (9,3)



Dentro del punto 6 se ha construido y puesto en servicio en el mes de Octubre de 1979 en la región de Nibe (Jutlandia) dos aerogeneradores de gran potencia (630 kw) con una producción anual esperada de 1,5 Gw-h cada uno y con un coste de 13 millones de coronas para las dos máquinas.

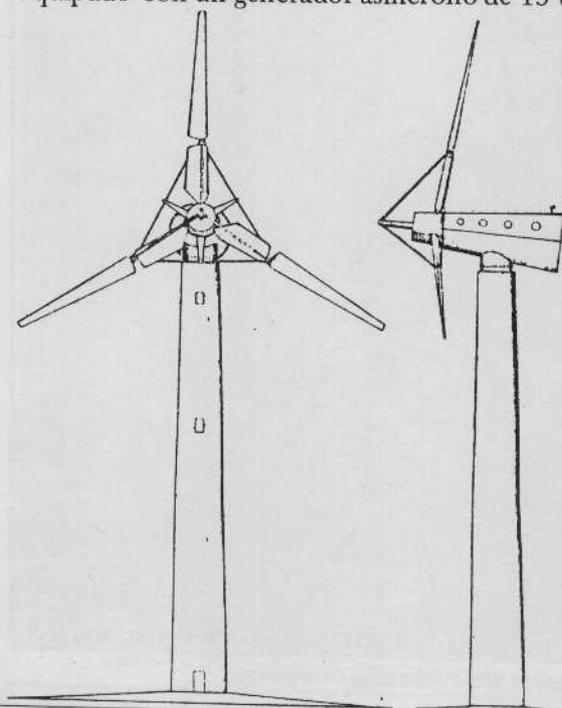
II Estación de ensayos para pequeños y medianos aerogeneradores

En la región de Roskilde en la isla de Seeland se encuentra el Ris National Laboratory, donde se ubica la estación de ensayo.

Con un presupuesto de 5 millones de Coronas se inició el proyecto en Junio de 1978. Los aerogeneradores se instalaron en Mayo del 79. La duración total pretende ser de 3 años.

La capacidad de la estación es de 6 aerogeneradores. Las pruebas sirven para resolver y conocer los problemas de la captación de energía por parte de los aeromotores, la seguridad de funcionamiento y mantenimiento así como el diseño, la construcción, perfeccionamiento de los aparatos, etc.

El primer aerogenerador ensayado fue el fabricado por la Dansk Vindkraft Industri ApS equipado con un generador asincrono de 15 w.

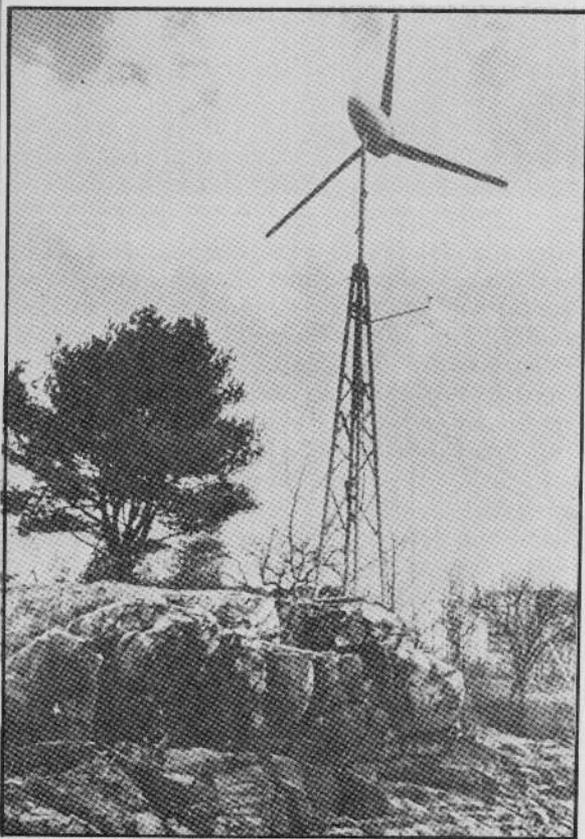


EL PROGRAMA EOLICO DE LOS EE.UU.

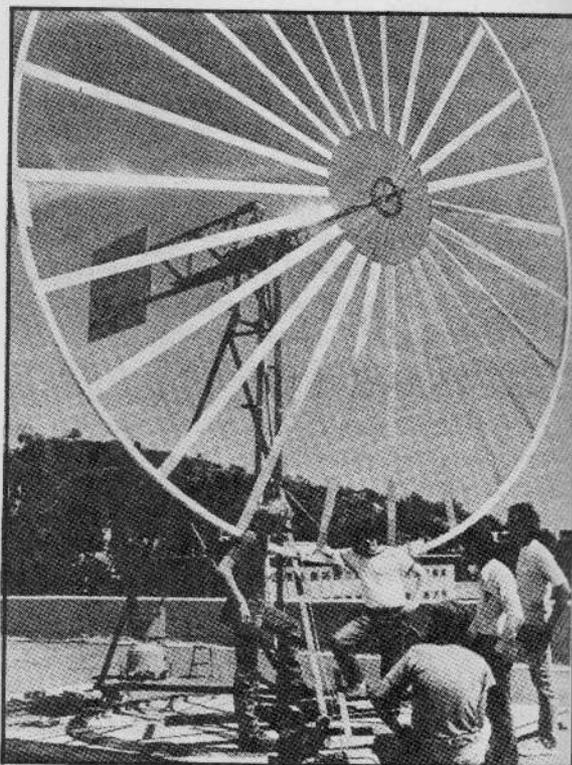
El programa de Investigación de la Energía Eólica, que es una parte del Programa de Energía Solar del "Researchs Applied to National Needs", se inició durante el año 1973.

En el transcurso del mes de Noviembre de 1974, la NASA y la NFS (General Electric y Kaman Aerospace) anunciaron los contratos que se habían firmado con empresas privadas para el diseño de aeromotores generadores de electricidad.

Dicho Programa, bajo la dirección y gestión del Centro de Investigación Lewis de la NASA (Cleveland, Ohio), prevé el desarrollo de grandes sistemas eólicos: desde 100 kw hasta 3000 kw.



Zephyr Wind Dynamo Company

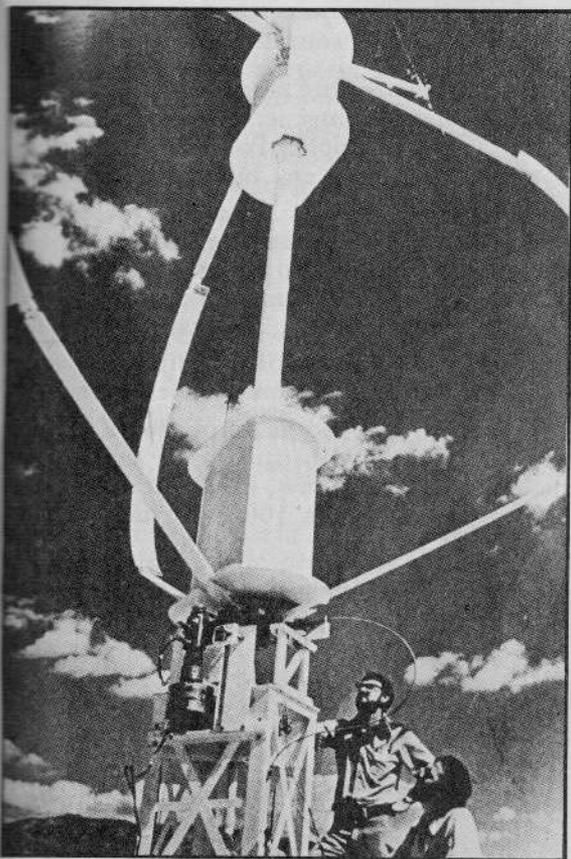


Molino de bajo coste diseñado por los estudiantes de la Univ. de Berkeley.

Los fondos que se le han dedicado han ido en aumento desde el año 1973/74 (1,8.10⁶ dólares), hasta 33,6.10⁶ en el año 1978 y aproximadamente 60.10⁶ en el año 1979. Se prevé una inversión de 63 y 80 millones de dólares en los años 1980 y 1981.

El primer prototipo experimental se instaló en Plum Brook (Sandustey, Ohio). Era el MOD que empezó a funcionar durante el mes de Septiembre de 1975 y que ha servido de banco de pruebas de todos los componentes empleados en su construcción y operación.

Se están construyendo 3 modelos más, el MOD A, para su conexión a la red. Los lugares escogidos son: Clayton (New Mexico), la isla Culebra (Puerto Rico) y Block Island (Rhode Island). El primero de ellos, de 200 kw, se acabó de construir en Diciembre de 1977 y en Marzo siguiente entró en funcionamiento.



VANT de palas segmentadas

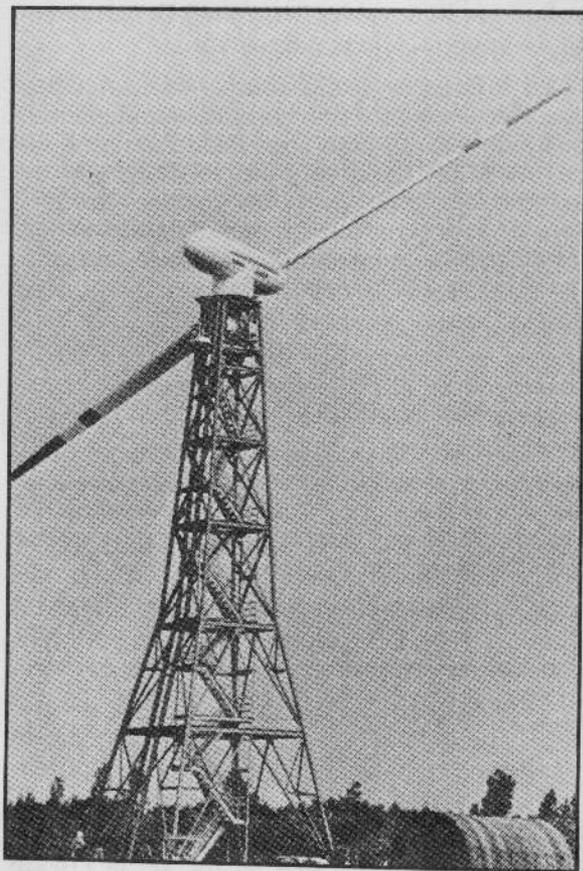


Por otro lado, la General Electric, ha acabado la construcción del MOD 1 de 2 MW, en Boone (North Carolina) y la Boing diseña el MOD 2 de 2,5 MW.

Referente a los pequeños sistemas, está en marcha el programa "Rural and Farm Systems", que ha sufrido un gran impulso a partir del año 1976 existiendo un Centro de Pruebas en Rocky Flats.

La administración americana ha contratado múltiples sistemas, que van desde 1 kw hasta 40 kw, que pueden ser ensayados y así posibilitan un amplio programa de demostraciones.

Tradicionalmente ha sido en EE.UU donde más sistemas eólicos pequeños se han desarrollado. Empezando por los excelentes Jacobs, la lista es casi interminable: Zephyr (15 kw-5 kw), Windworks (8 kw), Wind Power Systems (4 kw), Windco (200w), Sencenbaugh (500 y 1000w), Cycloturbine (2 - 4kw), North Wind Power (recupera los aerogeneradores Jacobs de los años 1931-1956), Kedco (1200 y 1600 w), Helion (publica y vende los planos de "12/16 Footer"), Grumman (20 y 28 kw), Edmund Wind Wizard (600 w), American Wind Turbine (2kw), Amerwalt (1,5 y 2,5 kw) Aero Power (1000 w), etc.



NASA - 9



I. EL PROGRAMA EOLICO EN CANADA

El principal rasgo a destacar es que Canadá ha dirigido todos los esfuerzos en el campo de la energía eólica, al desarrollo de totosres tipo Darrius de eje vertical. Vienen investigando en ellos desde el año 1965.

Después de algunos años de investigaciones el "National Research Council" adjudicó un proyecto de diseño y construcción de un rotor de Darrius de 1 kw a la empresa DAF Indal Ltd. (Mininauga, Ontario).

De hecho, la energía eólica en el Canadá recibió el espaldarazo oficial hace unos dos años y medio (a mediados de 1977) con la formación de las Ramas de Conservación de Energía y Energía Renovables dentro del Departamento de Energía, Minas y Recursos.

La influencia de los fondos dedicados por este Departamento se hizo sentir rapidamente, posibilitando un gran auge de la Energía Eólica. La DAF Indal propuso el desarrollo de grandes máquinas, la Hydro Quebec (productora de energía eléctrica) mostró su interés en las mismas, como resultado se instaló una gran máquina en la Isla Magdalena.

Durante el año 1977, varias empresas mostraron su interés por las máquinas eólicas, planteándose el problema de escoger un tamaño para las máquinas experimentales.

Escogieron la gama de 50 kw, con un objetivo muy concreto: desarrollar un programa de demostraciones y dejar las máquinas en manos de las compañías eléctricas para que se familiarizasen con su uso.

La primera de ellas se instaló en Hollywood (junio 1978), la segunda fue instalada por Saskatchewan Power Corp. poco tiempo después.

Paralelamente al desarrollo de este programa experimental, se realizó un programa de medidas con la finalidad de conocer el potencial eólico del Canadá.

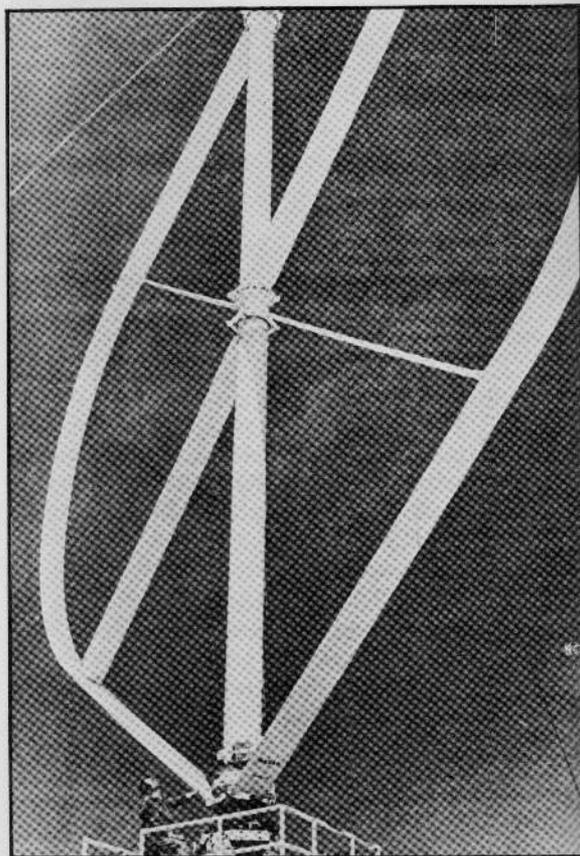
Recientemente una máquina de 230 kw, la mayor desarrollada en Canadá, se ha erigido en la Isla Magdalena, en substitución de la que fue derribada por el viento en julio de 1978 y que la Hydro Quebec utiliza para estudiar los problemas de conexión de la red.

Durante el presente año se pondrán en marcha dos nuevos aerogeneradores de 50 kw: la primera en Christopher Point (al sur de Vancouver) y la segunda en Churchill (Manitoba).

La NRC estima que a finales del presente siglo la energía eólica podrá contribuir con 5 Gigawatios, aproximadamente un 6-7 por ciento del consumo de energía del Canadá.

Otro aspecto en desarrollo es la utilización de rotores de Darrius para complementar las centrales térmicas en comunidades remotas.

La Hydro Quebec ha aprobado ya un presupuesto para la construcción de una máquina Darriens de 2,5 mw, suficiente para suministrar energía a una 1000 viviendas de tipo medio.



Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)

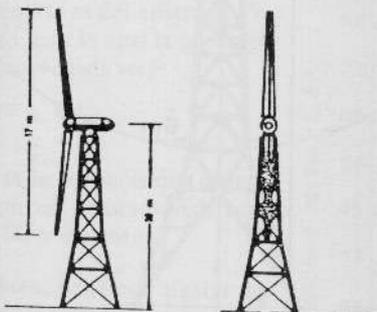
II. Programa de pequeños aerogeneradores

Durante los dos últimos años ha estado desarrollándose todo un programa de máquinas eólicas pequeñas, comercializadas por la Bristol Aerospace y que fueron diseñados para operar en sitios aislados (sin necesidad de mantenimiento frecuente). Abarcan una gama desde 700 w hasta 2500 w y son empleadas para la alimentación de líneas telefónicas, repetidores, torres de transmisión, etc.

La ERM está actualmente dedicando fondos para el establecimiento de una Estación de Ensayos para pequeñas máquinas en la Costa Atlántica del Canadá.

Con unos fondos de 500.000 dólares, se ha formado el Instituto del Hombre y de los Recursos en la Isla del Príncipe Eduardo, cuyos objetivos son:

- ofrecer contratos a la industria para el desarrollo y diseño de pequeños sistemas eólicos.
- dar información a los consumidores y a sus organizaciones.
- servir de banco de prueba para la industria, proporcionando expertos y ayudando a los diseñadores.
- desarrollar programas de demostración.
- desarrollar programas de adquisición de datos y pruebas de la tecnología.
- certificar aparatos para la obtención de créditos y otros incentivos.



Proyecto de planta piloto eólica española

PROGRAMA EN EL ESTADO ESPAÑOL

La Central Española

El Centro de Estudios de la Energía, en base al desarrollo de la investigación de nuevas fuentes de energía, ha emprendido el estudio, diseño y posterior construcción de una planta piloto eólica de potencia media.

El proyecto comenzó con el estudio de la potencia eólica existente en España para lo cual, en colaboración con el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial "Esteban Terradas", se inició un análisis de datos obtenidos a partir del Instituto Meteorológico Nacional y de la extinguida Comisión de Energías Espaciales que ha permitido trazar un mapa del potencial eólico existente.

Las zonas del Noroeste, Nordeste; Levante, Sur del Valle del Ebre y el país canario, presentan excelentes condiciones para la utilización de la energía eólica, y, en particular, la zona del estrecho de Gibraltar y las islas Canarias presentan potenciales eólicos clasificados como muy elevados, como se puede apreciar en el mapa.

En base a este estudio se ha elegido en principio como emplazamiento de esta planta, la zona de Tarifa la cual parece tener buenas condiciones para la plataforma.

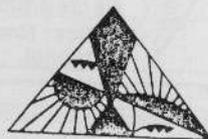
La planta tendrá una potencia de unos 110 kw, con un viento nominal de 12m/seg.

El rotor será bipala de eje horizontal de 17 metros de diámetro, paso variable y girará a 140 r.p.m.

La planta será sincrona a la red y aportará una energía superior a los 700.000 kwh anuales estando soportada por una torre de 20 metros de altura.

En la actualidad se ha terminado el prediseño de la planta piloto y en breve se iniciará la fase de diseño y planos de fabricación y construcción de algunos elementos.

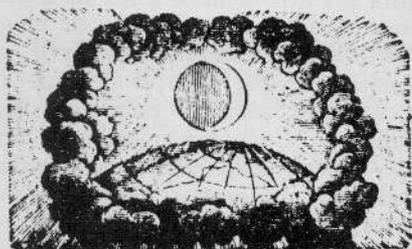
En total la duración del proyecto no pasará de dos años hasta la total conexión a la red.



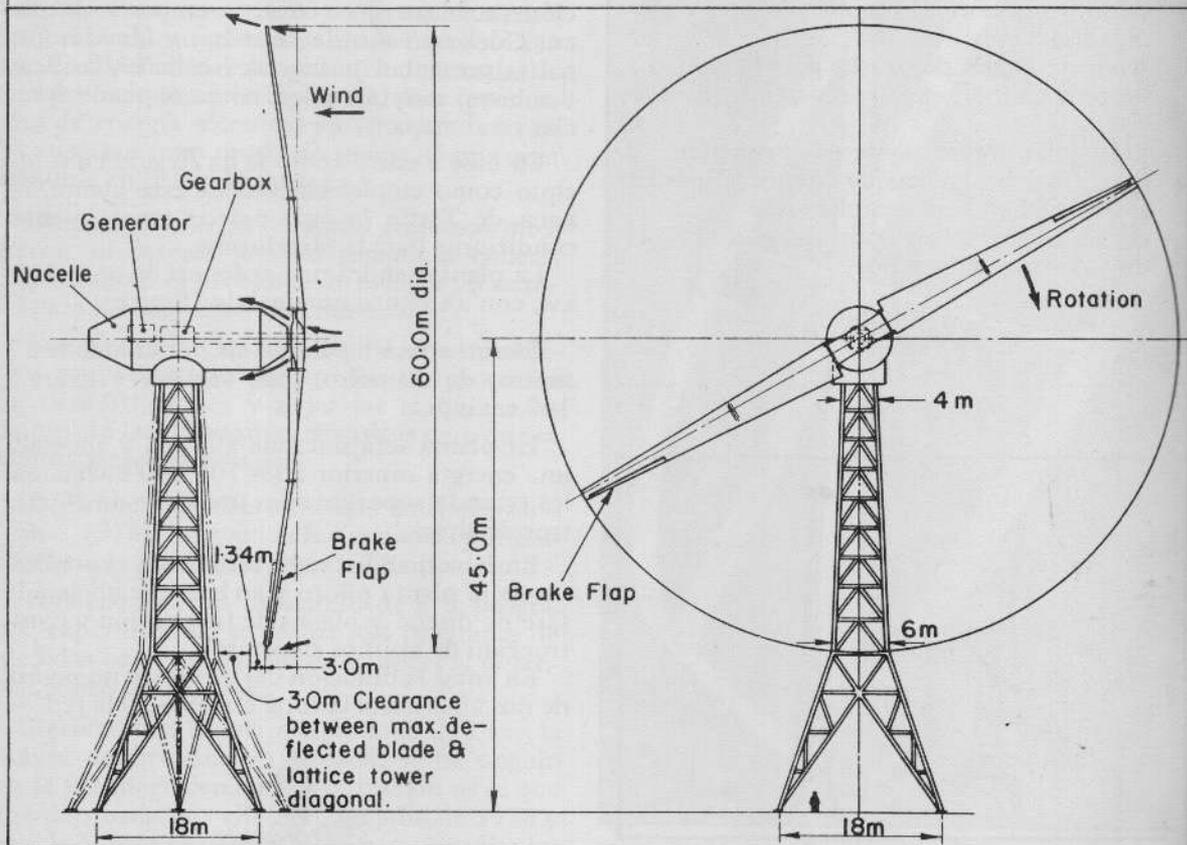
EL PROGRAMA EOLICO EN EL REINO UNIDO

Tampoco en Inglaterra existió oficialmente ninguna preocupación por la energía eólica desde los trabajos realizados bajo la dirección de E. W. Golding en los años 50.

No obstante, durante la década de los 70, se realizaron algunas aportaciones. El Aerogenerador Elteeco, inventado por Sir Henry Lawson-Tancred (potencia 30 kw, con un diámetro de 60 pies, tripala); el Aerogenerador Vortex bipala (3,5 kw) de Natural Power Systems; los aerogeneradores de eje vertical propuestos por Peter Musgrove de la Universidad de Reading; los aeromotores oleohidráulicos de la "Wind Energy Supply Company Limited"; los proyectos realizados por el Grupo de Tecnología Alternativa de la Open University, por el Centro de Energía de la Universidad de Newcastle, por el Centro de Tecnología Alternativa del País de Gales, etc.



Recientemente se creó en Inglaterra un grupo formado por la British Aerospace, la Cleveland Bridge, la Electric Research Association, la North Scotland Hydro-Electric Board, la South of Scotland Electricity Board y la Taylor Woodrow que desarrolla dos prototipos de aerogeneradores de 60 m. de diámetro, con palas flexibles (se desplazan unos 3 m. en el extremo, con una potencia de 3,9 MW con vientos de 22m/seg.



Aerogenerador con palas de 60 m. de diámetro y una potencia de 3,9 Mw.

cálculo de un aerogenerador

UN MINIMO DE TEORIA PARA CALCULAR TU AEROGENERADOR

Cálculo de potencia

Conocida la velocidad media anual podemos determinar la potencia. La energía cinética del viento es igual a:

$$E_c = \frac{1}{2} m V^2$$

donde m = masa del aire (kg.)
 V = velocidad instantánea (m/s)

La energía teóricamente recuperable por unidad de tiempo (o sea la potencia teórica) será en Watios (W):

$$P_t = \frac{1}{2} \rho A V \cdot V^2 = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

siendo ρ = densidad (1,25 kg/m³)
 A = superficie perpendicular a la corriente del aire (m²).

Desgraciadamente no se puede conseguir toda esta potencia ya que la velocidad, una vez atravesada la superficie, nunca es nula. Betz demostró que el valor máximo que puede obtenerse es del orden de 59,3 por ciento, con lo cual la potencia máxima aprovechada será:

$$P_{MA} = 0,37 A \cdot V^3$$

Que sería la potencia que obtendríamos con un aeromotor de rendimiento 100 por ciento.

Ahora bien, debemos afectar esta potencia los rendimientos de los componentes del aeromotor.

Rendimientos.

— Hélice	0,20 a 0,95
— Multiplicador o red.	0,7 a 0,98
— Generador eléctrico	0,8 a 0,98
— Baterías	0,6 a 0,8
— Línea	0,9 a 0,99

Lo que nos muestra que para los aerogeneradores actualmente construidos, el rendimiento varía entre el 30 por ciento y el 70 por ciento de la potencia límite de Betz.

Mediante la tabla siguiente podemos calcular el rendimiento de los diferentes tipos de molinos, los únicos datos de que debemos disponer son la velocidad en la punta de la pala y la velocidad del viento libre.

siendo C_p el coeficiente de potencia o rendimiento respecto a la potencia teórica y C_d el coeficiente de par, la relación entre la velocidad de la punta de la pala y la del viento.

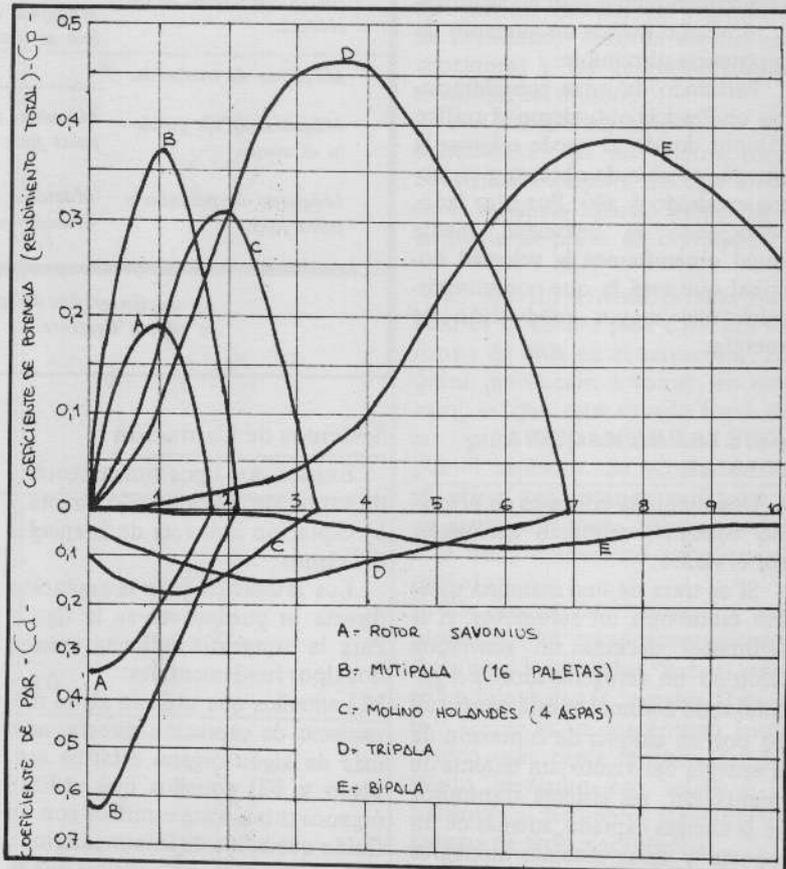
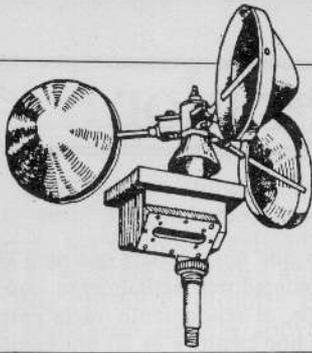


Tabla para el cálculo del rendimiento de los diferentes molinos.



ENERGIA DE UN MOLINO

Para calcular la energía que podemos extraer del viento debemos tener en cuenta que el aeromotor estará parado para velocidades bajas y que es a partir de una velocidad dada de el viento cuando suministra la máxima potencia dicha velocidad es conocida como velocidad nominal. Aunque el viento sobrepase la velocidad nominal esto no significará ni mucho menos un aumento de la potencia disponible.

Partiendo de estas consideraciones en Francia obtuvieron el gráfico adjunto donde se puede calcular la energía posible de obtener por metro cuadrado y año. Por otro lado, conociendo la velocidad media anual obtendremos la velocidad nominal que será la que nos suministrará una mayor producción de energía.

¿QUE ES UNA MAQUINA EOLICA?

Una máquina eólica es en principio cualquier artefacto accionado por el viento.

Si se trata de una máquina rotativa tendremos un aeromotor; si el aeromotor acciona un generador eléctrico un aerogenerador. En general todo aeromotor está constituido por un sistema de captación de la energía del viento, un sistema de orientación, un sistema transmisor de la energía captada, además de un soporte y unos sistemas auxiliares de regulación, de almacenaje, de transformación, etc.

Captación Directa

Desplazamiento de las palas en la misma dirección del viento.

Desplazamiento de las palas perpendicularmente al viento.

Captación Indirecta

Organos estáticos y dinámicos.

Máquinas de arrastre simple.

Máquinas de arrastre diferencial.

Máquinas con variación cíclica con ángulo de incidencia.

Máquinas de traslación.

Máquinas de eje paralelo al viento.

Máquinas de pantalla y palas fijas.

Máquinas con palas articuladas.

Desplazamiento de las palas en la misma dirección del viento.

Desplazamiento de las palas perpendicularmente al viento.

Máquinas de arrastre simple.

Máquinas de arrastre diferencial.

Máquinas de traslación.

Máquinas con variación cíclica de incidencia.

Máquinas con eje paralelo al viento.

Máquinas de pantalla y palas fijas. 1

Máquinas con palas articuladas y topes. 2

Máquinas con variación cíclica de la orientación de palas. 3

Molino. 4

Máquinas de flujo transversal. 5

Rotor de Savonius. 6

Máquina tipo persiana. 9

Máquina de perfil oscilante. 10

Palas fijas. 7

Máquinas con palas de orientación cíclica. 8

Muer pala. 14

Mono
Bi pala. 13
Tri

Convertidores ciclónicos.

Máquina tipo Ciervo volante. 12

La sección gráfica de estos modelos la encontraremos en la página siguiente.

Sistemas de Captación

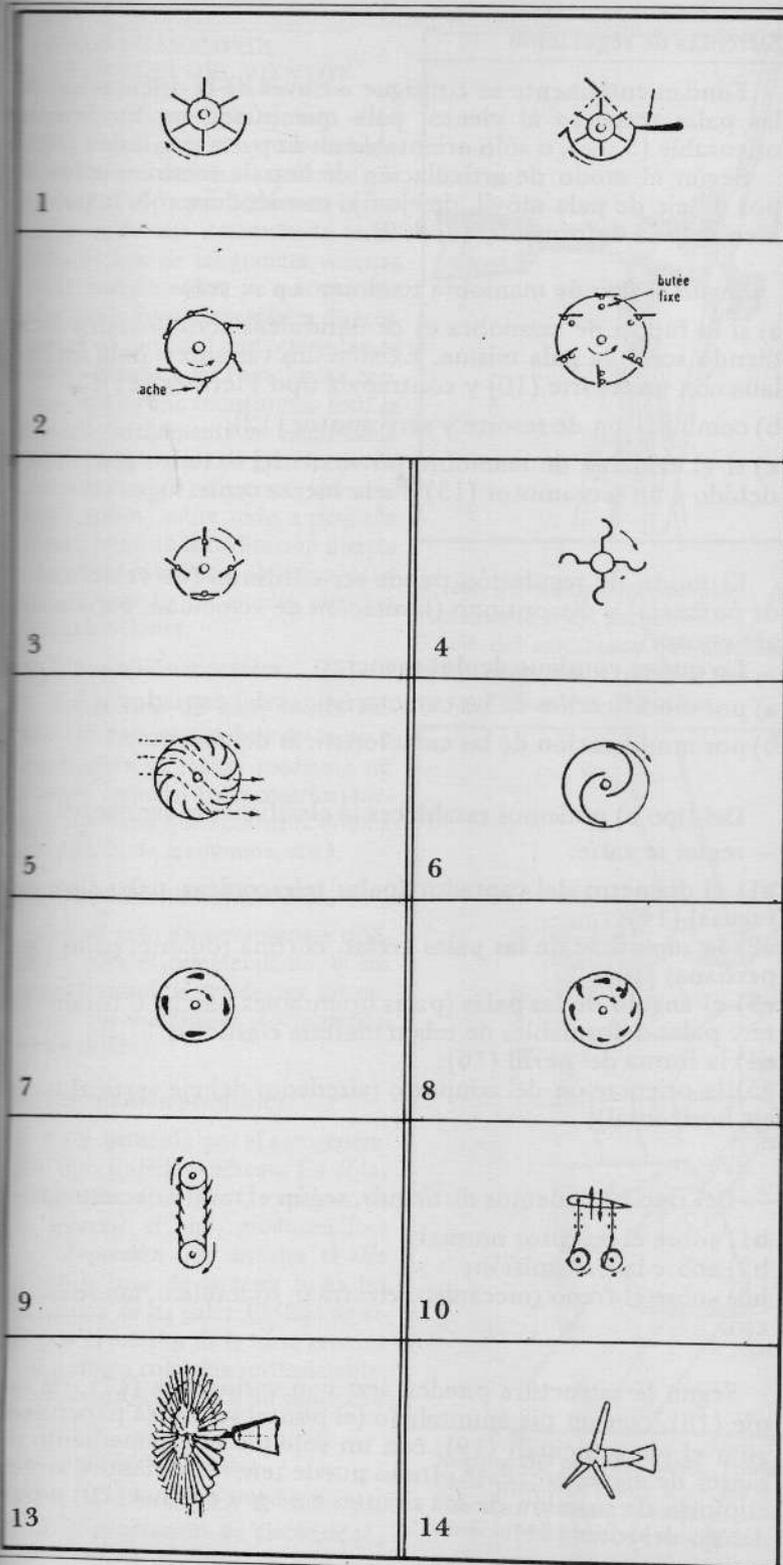
Existen dos tipos fundamentales de captación: a) captación directa y b) captación indirecta de la energía del viento.

Los artefactos para la captación directa se pueden ver en la fig. 2. Para la captación indirecta existen dos tipos fundamentales:

b1) aquellos que utilizan algún mecanismo de captación directa, además de algún órgano estático acoplado y b2) aquellos que utilizan órganos totalmente estáticos con un fluido que actúa de intermediario.

Los primeros son aquellos que se basan en la utilización de difusores,

concentradores, deflectores, efecto Ventouri, etc., lo que permite un aumento de la velocidad de rotación, de la potencia y del rendimiento. En máquinas de eje horizontal tiene poco interés, pues la construcción de difusores de gran diámetro acarrea muchos problemas de inercia (fig.) en cambio en máquinas de eje vertical resulta mucho más interesante. Este es el caso de los convertidores ciclónicos de los que actualmente existen tres propuestas: la de J. Yen (Grumman Aerospace), la de J. V. Zapata y la de E. Nazarre. Todos estos sistemas tratan de aprovechar los fenómenos de concentración energética que ex-



perimentan los flujos de aire cuando tienen que atravesar obstáculos interpuestos en su trayectoria, y los fenómenos ascensionales del aire por calentamiento. Ambos fenómenos, conjuntamente, dan lugar a un rotacional, es decir, la creación de un ciclón artificial confinado.

Un tercer sistema de captación indirecta de la energía eólica es el aprovechamiento de la energía del oleaje. Su captación no es más que la captación de la energía de los vientos marinos. El interés de la misma estriba en que, el fluido utilizado, en este caso el agua del mar, tiene una densidad mayor que la del aire.

Sistemas de orientación

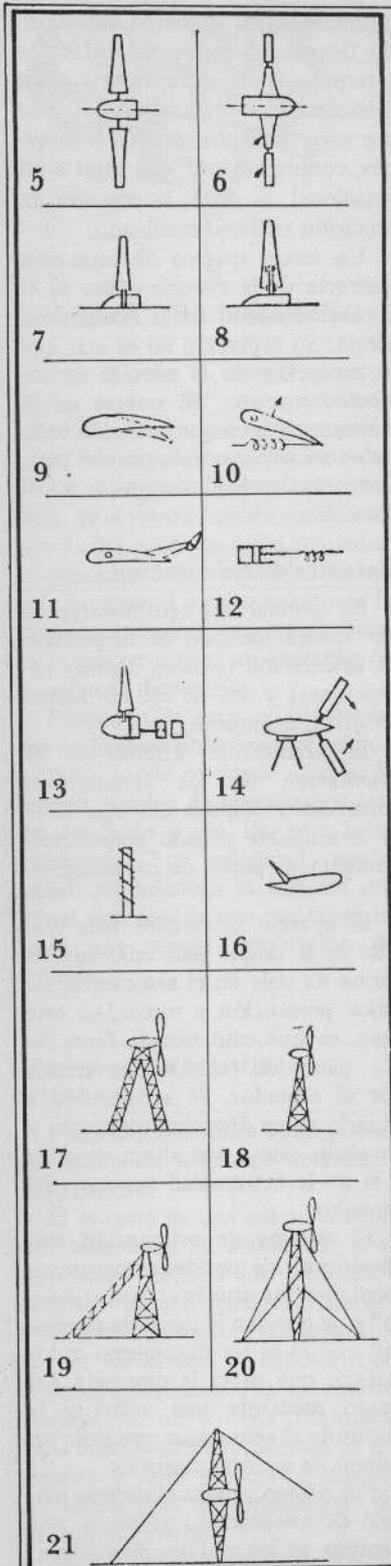
En general los aeromotores de eje vertical carecen de dispositivo de orientación (existen algunas excepciones) y los de eje horizontal necesitan del mismo.

El tradicional dispositivo de orientación de los aeromotores construidos después del año 1745 es el molinete situado perpendicularmente al plano de captación

El aparato orientador más sencillo es la simple pala colocada en forma de cola en el aeromotor. La única precaución a tomar, en este caso, es que esté situada fuera de la gama de turbulencias creada por el captador. Se acostumbra a situarla a una distancia suficiente y en algún caso a una altura superior a la de la extremidad superior del captador

El sistema de orientación empleado por los grandes aeromotores (bien sean los situados "cara al viento" o la que dan la "espalda al viento") es un mecanismo automático, que capta la dirección del viento mediante una veleta y la transmite al aeromotor mediante un sistema de servomecanismos.

Por último, queda el sistema manual de orientación, utilizado, por ejemplo, en los molinos manchegos.



Sistemas de regulación

Fundamentalmente se consigue a través de la orientación de las palas respecto al viento, pala que puede ser totalmente orientable (5), o sólo orientable en su parte periférica (6).

Según el modo de articulación de la pala tendremos los tipos de eje de pala móvil, de eje fijo moviéndose sólo la pala, o bien de pala deformable. (7, 8, 9)

Según el tipo de maniobra tendremos a su vez:

a) si la fuerza de maniobra es de naturaleza aerodinámica incidiendo sobre la pala misma. Existen dos variantes: pala articulada con un resorte (10) y contrapala tipo Flettner (11);

b) combinación de resorte y servomotor (12);

c) si el esfuerzo de maniobra proviene del exterior (puede ser debido a un servomotor (13) o a la fuerza centrífuga.

El modo de regulación puede ser continuo (de velocidad o de potencia) o discontinuo (limitación de velocidad, parada del aeromotor).

Lo que se consigue de dos maneras:

a) por modificación de las características del captador y

b) por modificación de las características del receptor.

Del tipo a) podemos establecer la clasificación siguiente:

— según se varíe:

a1) el diámetro del captador (palas telescópicas, palas tipo paraguas) (14);

a2) la superficie de las palas (velas, cortina rodante, palas tipo persiana) (15);

a3) el ángulo de las palas (palas orientables parcial o totalmente y palas deformables de tela o materia elástica);

a4) la forma del perfil (16);

a5) la orientación del conjunto (alrededor del eje vertical o del eje horizontal);

Del tipo b) podemos distinguir, según el modo de actuación:

b1) sobre el receptor normal;

b2) sobre la transmisión;

b3) sobre el freno (mecánico, eléctrico, hidráulico, aerodinámico).

Según la estructura pueden ser: con varios pies (17), de un pie (18), con un pie apuntalado (el puntal se utiliza para hacer girar el pie principal) (19), con un solo pie sujeto mediante tirantes de cable, etc. Este último puede tener 2 variantes, según el punto de sujeción de los tirantes esté por encima (20) o por debajo del rotor (21).

¿COMO TRANSMITIR LA ENERGIA DEL VIENTO?

Como la energía captada debe transmitirse para su aprovechamiento, existen diversos mecanismos que permiten su transmisión para la realización de una determinada tarea. Esta es una de las grandes ventajas de la energía eólica ya que permite adaptar la fuente energética directamente al uso final que pretendemos darle. Frente a las tecnologías convencionales que transforman toda la energía inicialmente en electricidad para luego, a costa de grandes pérdidas, adaptarla a cada tarea, la tecnología eólica, sobre todo a pequeña escala, permite la realización directa de trabajo mecánico, eléctrico, calorífico, y todo un amplio espectro de realizaciones.

a) Transmisión mecánica.

En el caso de aeromotores empleados para el bombeo de agua, la transmisión se realiza mediante un sistema cigüeñal (o excéntrica)-biela a una barra que acciona la bomba de pistón, de membrana, etc.).

b) Transmisión oleohidráulica.

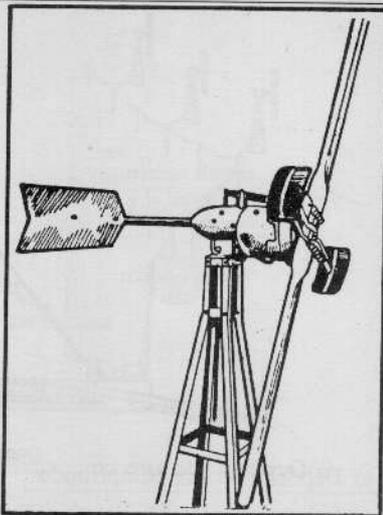
En el caso de aeromotores utilizados para el calentamiento, el sistema transmisor puede ser un circuito oleohidráulico (compresión de un fluido).

c) Transmisión neumática.

Es la utilizada por el aerogenerador tipo Enfield-Andreau. En él las palas huecas, al girar, expulsan de su interior el aire, produciéndose una depresión que arrastra el aire desde la base de la torre hasta los extremos de las palas. El flujo de aire por el interior de la torre acciona una turbina colocada verticalmente, la cual está acoplada a un generador eléctrico.

d) Transmisión eléctrica.

En el caso de los aeromotores para la generación de electricidad, existen varias opciones:



1. eje del aeromotor acoplado directamente al eje del generador.
2. eje del aeromotor que actúa sobre el generador a través de una etapa multiplicadora de vueltas.

3. generador eléctrico, accionado por la parte periférica del captador eólico.

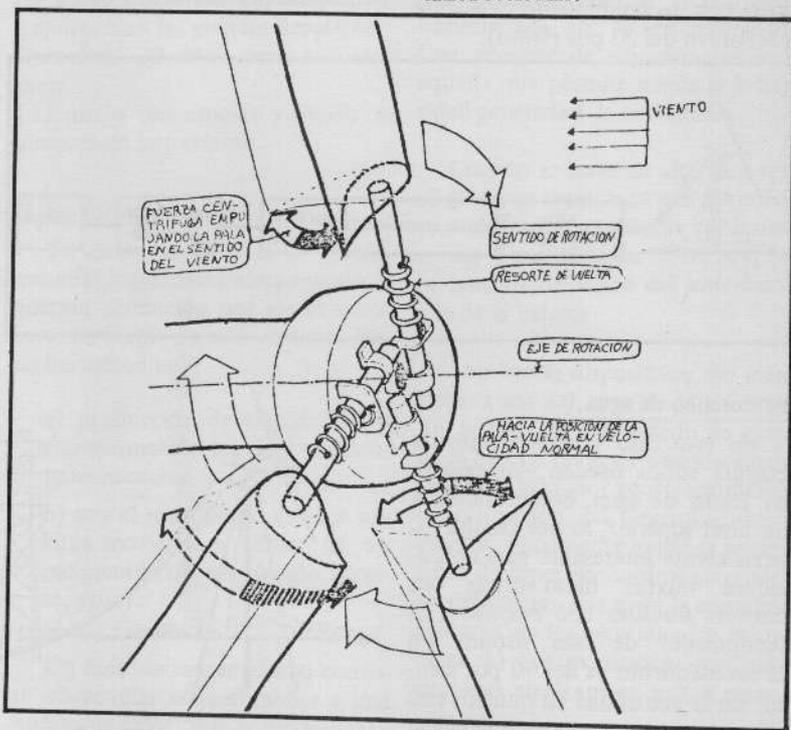
4. aeromotor a contrarrotación, con dos juegos de palas girando inversamente, y cada juego actuando directamente con las dos partes del generador eléctrico.

Sistema de soporte

- Según el sistema de articulación rotor-soporte, existen tres tipos:

- a) soporte fijo con orientación del rotor en la cúspide del mismo.
- b) soporte orientable, bien en su parte inferior o en algún punto intermedio.
- c) soporte abatible; para el montaje y el mantenimiento del rotor.

Según el método constructivo pueden ser de obra (en general hormigón), tubo metálico o torre metálica reticular.



Regulación para las palas. Tomamos como ejemplo una hélice tripala. Cada pala está fijada a un eje y mantenido al calado de arranque gracias a un resorte. El empuje del viento tiende a recoger las palas y a reducir la velocidad de rotación.

Sistemas de almacenamiento de la energía

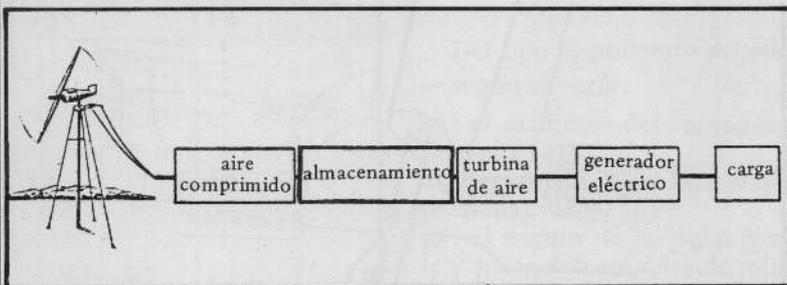
Cuando se tiene un aerogenerador produciendo energía eléctrica a un sistema aislado, resulta necesario almacenar la energía producida en exceso para períodos de carencia de viento.

Para este almacenamiento energético contamos con los sistemas de:

a) Volantes de inercia.

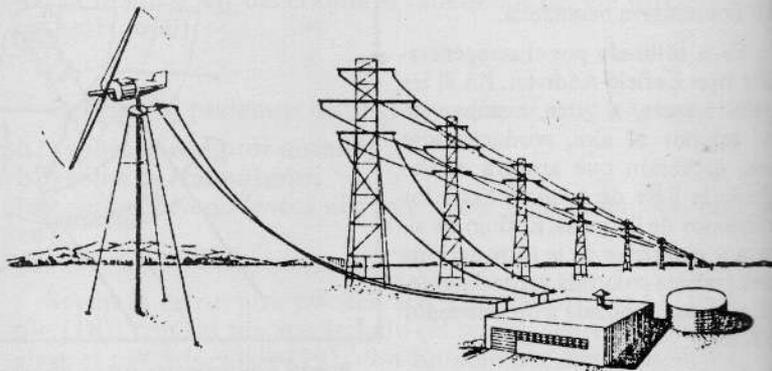
La energía producida por el aeromotor se emplea en la rotación del volante, mediante el frenado del mismo podremos recuperar la energía almacenada. Actualmente investigadores americanos experimentan con volantes mixtos (fibra y metal) con muy buenos resultados.

Aún cuando ésta técnica no está al alcance de los autoconstructores, permite restituir la energía almacenada con un rendimiento excelente (del orden del 80 por ciento).

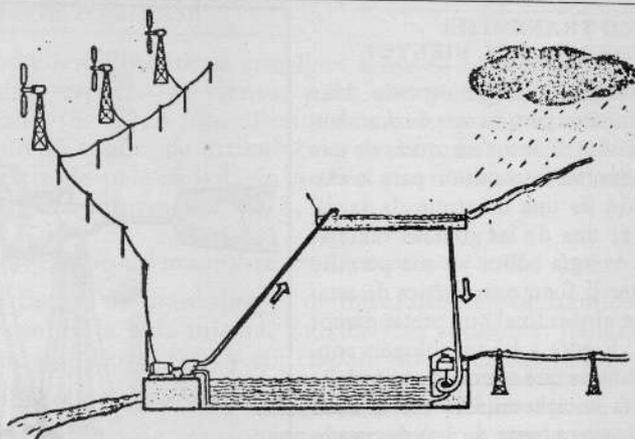


b) Bombeo de agua.

En este caso los excedentes de energía eólica pueden almacenarse en forma de agua, bombeándola a un nivel superior, lo que resulta especialmente interesante para aplicaciones mixtas hidro-eólicas, en cuencas fluviales con embalses. El rendimiento de este sistema de almacenamiento es del 70 por ciento. En la actualidad en muchos embalses hidro-eléctricos se bombea el agua para emplear los excedentes de energía eléctrica en horas valle (de poco consumo), producida por térmicas y/o nucleares.



Aerogenerador conectado a una planta productora eléctrica.



c) Depósito de aire comprimido.

Los excedentes de energía eólica se utilizan para la compresión de aire y su almacenamiento en depósitos (o cavidades subterráneas, pozos de gas agotados, etc.) a presión constante. El rendimiento es del orden del 80 por ciento.

d) Producción de hidrógeno.

La electricidad generada sirve para la producción de oxígeno e hidrógeno por descomposición electrolítica del agua. El hidrógeno se almacena y se distribuye por medio de conducciones y tiene múltiples aplicaciones: como combustible en automóviles, aviones, cocinas, etc. Aplicación especial son las células de combustible, en cuyo interior tiene lugar la combinación del oxígeno y del hidrógeno con la producción de corriente eléctrica continua. Este sistema (las células de combustible) es objeto de gran interés en muchos países. En EE.UU. funciona ya una planta comercial. El rendimiento es del orden del 70 por ciento.

e) Baterías.

Una batería es un artefacto que transforma la energía eléctrica en energía química almacenable y la restituye en forma elástica con un rendimiento del 60 por ciento. En el caso de escoger este sistema de almacenamiento energético, será necesario calcular la capacidad de las mismas en función del número máximo de días sin viento en el lugar y en función de las necesidades eléctricas del usuario.

La capacidad de una batería se expresa en KWh o en A-h (Amperio-hora). La capacidad en Kwh será igual a la de Amperios multiplicada por la diferencia de potencial en bornes de la batería, expresada en Voltios (es prácticamente constante).

Fundamentalmente existen dos tipos de batería: las de Plomo y las alcalinas (Cadmio-Niquel, Niquel-Hierro, Plata-Zinc).

Las ventajas e inconvenientes de ambos tipos son:

- Las de plomo:

La curva de descarga obliga a un consumo débil para una utilización óptima.

La corriente de carga no debe sobrepasar una 30 av parte de la capacidad de la batería, bajo riesgo de dañarla.

No soporta las sobrecargas, que la hacen inutilizable.

No soporta grandes descargas.

No mantiene bien la carga (pierde a lo mejor un 3 por ciento al mes).

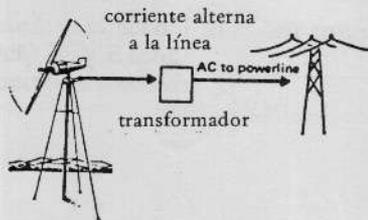
Duración aproximada 10 años.

Las de placas espesas soportan mejor el régimen de carga y descarga continuo debido a los aerogeneradores.

Causan polución debida a la industria del Plomo.

- Las alcalinas:

La curva de descarga permite un consumo importante en un corto espacio de tiempo.



La corriente de carga debe ser superior a la 20 parte de la capacidad de la batería, de aquí que haya muchas pérdidas si no se regula la velocidad para vientos débiles.

En el caso de sobrecargas, es necesario añadir nuevamente más agua.

Soporta bien las grandes descargas.

Duración: 30 años pero son más caras.

Las placas son espesas y tienen un almacenaje importante.

f) En forma de calor.

Ya entre la 1ª y la 2ª guerra mundial los daneses almacenaron la energía producida por los aeromotores en forma de calor. Existen distintos métodos:

a) producción de electricidad y transformación en calor mediante resistencias.

b) por el rozamiento de unas paletas moviéndose dentro de un recipiente con un líquido (aceite, agua).

Un método más moderno consiste en acoplar un aeromotor a una bomba de calor: si la eólica suministra una energía al compresor de una bomba de calor, se puede recuperar en forma de calor una energía de 3 a 5 veces mayor...

Sistemas auxiliares

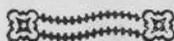
En el caso de aeromotores para la producción de electricidad (bien sea por medio de dínamo o de alternador) debemos contar con una serie de sistemas de protección en el circuito de carga de las baterías. Si se trata de dínamos: un diodo de potencia evita la descarga en ausencia del viento, o cuando está parado el aeromotor; un interruptor y un fusible en el circuito de carga, el primero para cortar la carga cuando la batería está completamente cargada y el segundo para protección; opcionalmente un interruptor y un fusible en el circuito de alimentación para la protección del sistema en caso de cortocircuito prolongado en el circuito del usuario; un voltímetro para verificar el estado de carga de la batería y un amperímetro (o cualquier otro dispositivo) que permita observar la corriente suministrada por el aerogenerador. Una variante de amperímetro será aquella que permite medir la intensidad generada y la consumida.

Cuando se trata de alternadores, el diodo se reemplaza por un puente rectificador, pudiendo intercalarse un transformador para adaptar la tensión de salida del alternador a la de la batería.

Los demás dispositivos son idénticos a los del caso de la dinamo. En ambos casos el estado de carga de la batería debe ser periódicamente controlado, por verificación de la concentración del electrolito de la batería. Finalmente existe la posibilidad de tener un control automático del sistema que evite la completa descarga de las baterías o su sobrecarga, lo que se consigue mediante circuitos electrónicos más o menos complejos.



diseño de una instalacion eolica



1. Buscar un sitio adecuado. Puede ser una colina.

Debe estar lejos y por encima de los árboles.

No debe estar detrás de la casa.

Si se coloca encima de un edificio debe estar alto.

2. Conocer la velocidad media anual del viento en el emplazamiento elegido.

Métodos:

- Mapas eólicos
- Observación (Escala de Beaufort)
- Medida con anemómetro

3. Conocer la energía que puede proporcionarnos.

Método:

- Tabla de la figura 5
- Obtienes los Kwh/m² año que te dá el viento y la velocidad nominal (m/s).

4. Calcular cuales son fus necesidades

Método:

- Suma la energía que consumirán los aparatos de que dispones según la tabla siguiente:

Concepto	Potencia (W)	Utilización (h/día)	Consumo (kwh/día)	varios
Alumbrado (1) incandescen.	40 W	1	0,04	
Alumbrado (1) fluorescente	18 W	5	0,09	
Bombeo agua 8 personas	250 W	1	0,25	
Refrigeración	130 W	4	0,52	
Radio	40 W	4	0,16	
T.V.	100 W	4	0,4	
Baterías para acumulación			Adicionar consumo aparatos x 0,2	

5. Divide los valores encontrados en los apartados 3 y 4. Obtendrás la superficie del aeromotor que necesitas.

$$S (m^2) = \frac{4}{3} = \frac{KWh/año}{KWh /año m^2}$$

el diámetro será igual a

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \text{ m}$$

6. Con la velocidad nominal obtenida en el apartado 3 y la superficie recurrimos a la fórmula siguiente:

$P = \eta \cdot 0,37 \cdot S V_N^3$ y obtenemos la potencia del aeromotor

η = es el rendimiento aproximado de la instalación que puede considerarse comprendida entre el 30 por ciento y el 70 por ciento dependiendo de la experiencia y la habilidad.

7. Dimensionado de las baterías

Método: Comenzamos por conocer la tensión de trabajo μ_6 (12, 24, 110V) la potencia media diaria permanente (P) se calcula dividiendo:

$$P = \frac{\text{Consumo anual de APARATOS}}{\text{Nº de horas del año (8760)}}$$

y el período máximo de días sin viento (N) es decir, la autonomía, por aplicación de la fórmula. No debemos tener en cuenta las pérdidas de la batería.

$$\text{Capacidad (Ah)} = \frac{N \times 24 \times P}{U_b}$$

Baterías

NOTA: En el caso que la velocidad media anual sea inferior a la mínima del gráfico del apartado 3 debemos recurrir a extrapolación.

EJEMPLO DE APLICACION PRACTICA

Condiciones

Se supone que disponemos de una colina en la cual la velocidad media anual es 4m/s (no es alta ya que la media de Cataluña es 3,75 m/s). Deseamos producir electricidad para algunos aparatos y luz, junto con almacenamiento en baterías para compensar los períodos de calma.

Cálculo

2. Velocidad media anual

En el caso real debe ser medida en este caso la suponemos igual a 4 m/s (14,4 km/h).

3. Energía y Velocidad Nominal

Como la gráfica sólo nos da el valor mínimo de 5 m/s, extrapolamos obteniendo una velocidad nominal de 7m/s y una energía producida de 100 kmh/m² año.

4. Consumo

Perdidos por acumulación en Baterías

$$2,39 \times 0,2 = 0,48$$

- Alumbrado	Fluorescentes x 0,04 = 0,16 kwh/día
	10 bombillas x 0,09 = 0,90 "
- Bombeo agua	1 bomba x 0,250 = 0,25 "
- Refrigeración	1 nevera x 0,52 = 0,52 "
- Radio	1 radio x 0,16 = 0,16 "
- T.V.	1 T.V. x 0,40 = 0,40 "

CONSUMO DIARIO APARATOS 2,39 Kwh/día

CONSUMO TOTAL DIARIO

$$2,87 \text{ kwh/ día}$$

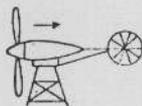
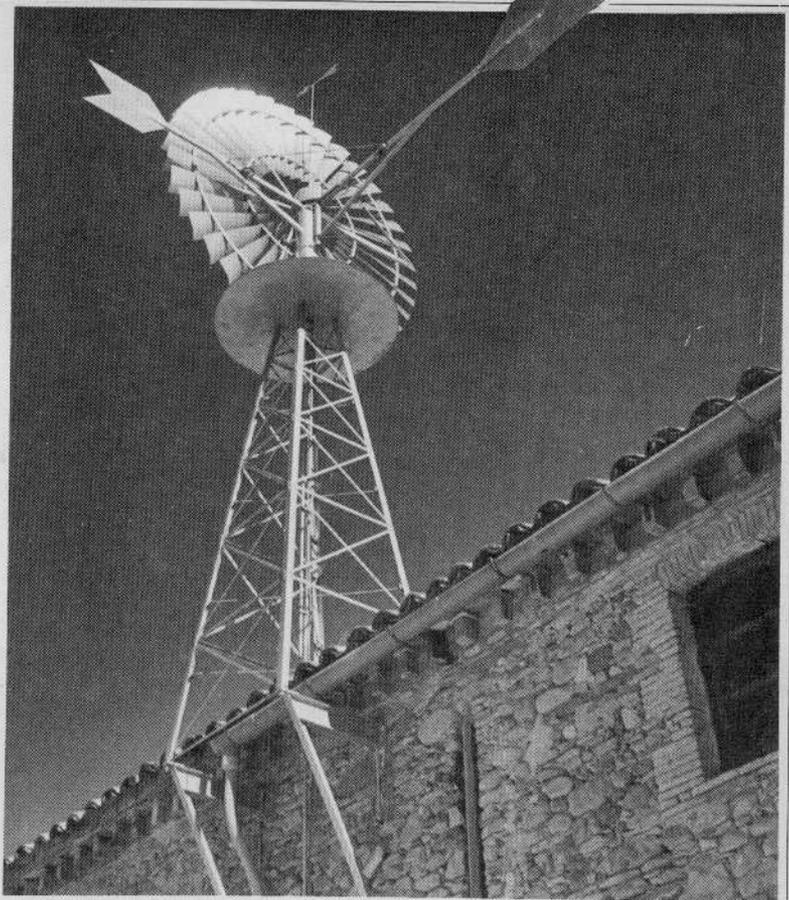
El consumo total anual será de 1048 KWh

5. Superficie y diámetro del aeromotor

$$S(m^2) = \frac{1048 \text{ Kwh/año}}{100 \text{ Kwh/m}^2 \text{ año}} = 10,48 \text{ m}^2$$

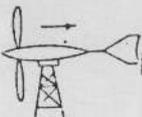
$$\text{Diámetro (m)} = \sqrt{10,48 \cdot 4} = 3,65 \text{ m.}$$

$$3,14$$



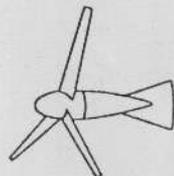
6. Potencia Nominal

$$P_N = 0,6 \cdot 0,37 \cdot 10,48 \cdot 7^3 = 800 \text{ W}$$



7. Baterías

$$\text{Potencia media} = \frac{2,39 \times 365}{8760} = 100 \text{ W}$$



Período sin viento (días)	Tensión Batería (V)	Consumo durante la calma Wh	Capacidad de las Baterías (Ah)
5	24	12.000	500
7	24	16.800	700
10	24	24.000	1000

