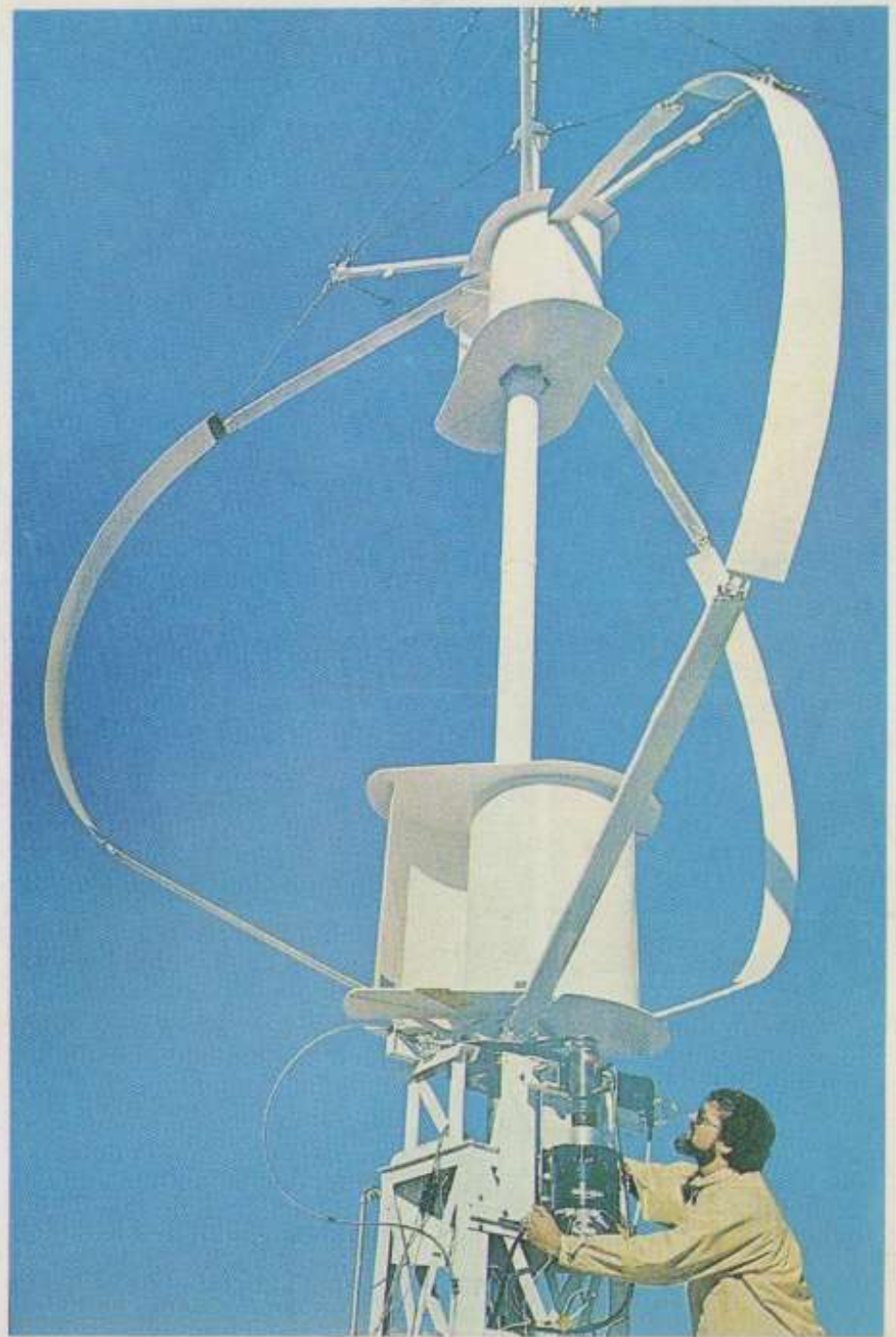


# El Poder Del Viento

Manual práctico para conocer  
y aprovechar la fuerza del viento.

Josep Puig  
Conrad Meseguer  
Miguel Cabre





# **El Poder Del Viento**





# **El Poder Del Viento**

**Josep Puig  
Conrad Meseguer  
Miguel Cabre**

**Ecotopía Ediciones**

---

*Primera edición: febrero de 1982*

©ECOTOPIA EDICIONES

✉ Apartado de correos 32.151

☎ 301 07 51

Barcelona.

Psje. Ojeda, 8 (bajos)

Sta. Cruz de Tenerife.

*Reservados todos los derechos conforme a la ley.*

ISBN: 84-85813-09-X

Dep. Leg.: B.-13.056/82

Colección Tecnologías Alternativas

Coordinación de la colección:

ECOTECNIA Societat Cooperativa

Casp 78, 3º

Tel: 246 66 09

Barcelona - 10

Impreso en Catalunya

Graficas Ampurias

Pl. La Fragua , s/n. Recinto industrial. Sector B - 2

Barcelona - 4

Fotolitos

Reprolit

Figueres (Girona)

Encuadernación

Hermanos Gregorio

C/ Prat de la Manta

L' Hospitalet (Barcelona)

## INTRODUCCIÓN

Con la publicación del presente libro empezamos una colección dedicada a las Tecnologías Alternativas, colección dirigida por los compañeros de la cooperativa Ecotecnia.

Toda la experiencia acumulada durante el tiempo que llevamos en el campo editorial nos ha hecho replantear el aspecto concreto de la producción; actualmente creemos que ya no son posible aquellos folletos, libros o revistas con una imagen poco cuidada, que la mayoría de veces evidenciaban más buena voluntad que profesionalidad. Bien seguro que la producción de este libro es alternativa en relación a las editoriales normales y que además de lo que aquí se dice está plenamente asumido por todo el colectivo de Ecotopía, pero hemos intentado hacer una cosa bien hecha.

Queremos agradecer a todos aquellos que han hecho posible que este libro llegara a vuestras manos; a los compañeros de Ecotecnia que han recopilado y escrito el material, a Liber, María y Roser que lo picaron (fotocomposición), a Isabel Montserrat que lo corrigió, a José M<sup>a</sup> Bernardo que hizo las fórmulas y los tabulados, a Ramón Sañé que hizo los dibujos técnicos, a José M<sup>a</sup> Bertrán y Ana M<sup>a</sup> Hernandez que hicieron los fotolitos, a Montserrat León en cuyos talleres se imprimió y a los hermanos Gregorio que realizaron la encuadernación. A todos ellos, gracias.

---

## INTRODUCCIÓN

Desde que el ingeniero aeronáutico Pedro Blanco Pedraza (director de la extinguida Comisión Nacional de Energías Especiales) escribió, en el año 1961, que *«el aprovechamiento industrial de la fuente de energía eólica era un asunto de gran interés para nuestro país, que no andaba sobrado de recursos energéticos»*, han transcurrido 20 años y nada se ha hecho para sentar las bases para el futuro aprovechamiento de una fuente de energía (entre otras) renovable, limpia y al alcance de todos como es la energía que nos proporciona y nos proporcionará el viento.

Eso sí, han ido desapareciendo aquellos artesanos que en sus pequeños talleres construían aeromotores y aerogeneradores, arruinados mayoritariamente por el desarrollo de los programas de electrificación imperantes en la época. Había, decían los «nuevos tecnoburócratas», que industrializar a toda costa, rápidamente y a gran escala el país, y para lograrlo, fué necesario romper los últimos vínculos que unían a las personas con las fuerzas de la naturaleza. El industrialismo se podría explicar como el proceso de expropiación del saber



popular y de las tecnologías acumuladas por la humanidad durante siglos. Rompiendo éste vínculo, se acentuaba considerablemente la dependencia de las personas y por tanto se las hacía controlables, ya que mientras conservasen algún atisbo de autosuficiencia (energética, alimenticia, de recursos, etc.) muy difícilmente se las podía manipular.

Bien puede ser ésta la historia de las fuentes renovables de energía, entre ellas el viento. Conocida desde siglos, utilizada a gran escala para la navegación y para la obtención de la fuerza motriz, tenía un defecto al decir de los tecnócratas: el estar al alcance de todo el mundo. Por eso era necesario apartarla y olvidarse de ella, aunque fuera sacando a relucir argumentaciones tan «científicas» como el que la energía eólica no era rentable en comparación con las fuentes «modernas» de energía, sobre todo si el petróleo continuaba siendo robado a los países productores a beneficio de las intocables naciones que, autootorgándose el título de desarrolladas, basaron su desarrollo en el despilfarro de energía.

No obstante y a pesar del descrédito in-

grato a que fueron sometidas las fuentes renovables de energía por los ideólogos del desarrollismo, algunos grupos las continuaron defendiendo hasta nuestros días.

Dos hechos favorecieron el amplio renacer de las energías derivadas de la solar (eólica, biomasa, etc.). Por un lado el desarrollo de los programas llamados «pacíficos» de la energía nuclear, como una justificación de las siempre crecientes «necesidades» armamentistas del complejo militar-industrial-burocrático. Por el otro, la inexorable ley de los rendimientos decrecientes que dejó sentir su influjo sobre el petróleo (aumentando el coste necesario para extraer la misma cantidad de combustible).

A partir de aquí, las naciones-estado «desarrolladas» y las que pretendían imitarlas, habiendo basado su «desarrollo» en fuentes no renovables de energía (petróleo sobre todo), se ven en la necesidad de plantearse su sustitución. Y encuentran la «solución» en la generación de energía eléctrica a partir de la fisión nuclear, solución puesta cada vez más en entredicho debido a la inmadurez de la tecnología utilizada y a la necesidad siempre creciente de más

normas de seguridad (originando ambas, constantes incrementos en el coste).

Así, mientras en los mismos EE.UU. los programas nucleares están prácticamente paralizados (desde el año 1974 sólo se han registrado 13 pedidos de Centrales Nucleares habiéndose cancelado 60 pedidos. Durante el año 1979 no ha habido ningún nuevo pedido, mientras que se han producido 11 cancelaciones), aún hay en nuestro país aquellos que, más papistas que el papa, abogan por una rápida nuclearización porque «así nos libramos de la dependencia de la maligna OPEP».

Del mismo modo, mientras los EE.UU. y otros países se plantean llegar a cubrir (año 2000) una tercera parte de la producción de electricidad mediante el aprovechamiento de la Energía Eólica a cualquier escala, en nuestro país, hasta bien entrada la próxima centuria, al decir de las predicciones al uso, las energías renovables no serán rentables y, en especial, el papel que desempeñará la energía eólica será insignificante.

He aquí el programa que el poder intentará imponer (eso sí, democráticamente):



● La nuclearización a gran escala del país (minas de uranio, fábricas de tratamiento del mineral, de fabricación de combustible, reactores nucleares de fisión, plantas de reprocesamiento, uso creciente de isótopos radiactivos en la industria, agricultura, medicina,... cementerios de residuos, armas nucleares, reactores de neutrones rápidos, reactores de fusión....)

● El desarrollo a escala de «gigante» del aprovechamiento de las energías renovables (satélites artificiales fuera de la atmósfera, aerogeneradores gigantes en la zona de las corrientes en chorro a 9 Km. de altura, etc.).

Si bien los dos caminos conducen a un aumento de la centralización de la producción energética (objetivo básico de las grandes corporaciones energéticas), es necesario distinguir entre la «vía nuclear» y la vía «renovable a lo tecnócrata», pues mientras la primera conduce irremisiblemente a un aumento del poder tecno-burocrático, la segunda es susceptible de una utilización ambivalente.

Así las tecnologías ligadas a las fuentes

de energía renovables pueden ser utilizadas de forma contrapuesta: bien reforzando la tendencia de la actual sociedad consumista-despilfarradora, contribuyendo al mantenimiento del control centralizado que la tecno-burocracia sustenta sobre las fuentes renovables de energía que son, en forma natural, descentralizadas; bien utilizadas para favorecer la autonomía de los individuos y las comunidades.

Además, las tecnologías ligadas a la opción nuclear conducen irremisiblemente a un callejón sin salida. Cuanto más introducida esté la vía nuclear más difícil será salir de ella.

Paralelamente a las formas de utilización de las Tecnologías ligadas a las Energías Renovables, surge el problema de la escala (tamaño) ¿a qué escala hay que utilizarlas?, ¿a pequeña escala?, ¿a gran escala?

Si bien, tal como decía Schummacher, «lo pequeño es hermoso», ¿cuán grande puede llegar a ser lo *pequeño*, antes de dejar de ser *hermoso*? y ¿cuán pequeño puede llegar a ser lo grande antes de dejar de ser eficiente? Parece evidente que el plantea-

miento del uso de las tecnologías energéticas a una escala muy pequeña (un aerogenerador en cada familia) beneficiaría al sistema económico vigente ya que los requerimientos en recursos materiales para la construcción de multitud de artefactos a escala doméstica es mucho mayor que los necesarios para la construcción de artefactos a escala media.

Ciertos tipos de tecnologías energéticas «alternativas» tienen sentido a escala doméstica, otros tipos a escala de pequeña comunidad y otras a escala comarcal, e incluso otras a mayor escala. ¿Implica ello que se deban rechazar todas las opciones a escala mayor? ¿debemos decir sí al aerogenerador de las escuelas TVIND (2 MW) y rechazar el MOD-2 americano (2,5 MW)?

Nuestra opción se inclina hacia la necesidad de concentrar los esfuerzos en desarrollar tecnologías y productos para cubrir las necesidades humanas, no tanto a escala unifamiliar o doméstica, sino a *escala comunitaria*.

Si somos capaces de llegar a demostrar esto en la práctica, seguramente habremos



contribuido a que las comunidades se sientan mucho más seguras de sí mismas, y se sientan, a la vez, mucho más independientes de la economía centralizada.

No obstante para hacer viable esa opción, nos encontramos con una realidad que en muchos casos imposibilita materialmente la implantación de estas alternativas energéticas. Nos referimos al uso de las energías renovables en las macroconcentraciones urbanas de nuestro país. Es por ello que creemos necesario centrar todos los esfuerzos hacia los pueblos y comarcas que han sufrido las consecuencias del desarrollismo, ya que si, en su forma original las fuentes de energía renovables son descentralizadas, descentralizada debe ser su forma de captación y utilización, tendiendo siempre a la *potenciación de las autonomías locales*. Ello no quiere decir que nada se pueda hacer en algunos barrios de nuestras megápolis de la península, en todo caso serán casos puntuales.

Sin ser pesimistas, creemos que las corporaciones energéticas presionarán a los órganos del estado (por más democrático que se diga), para que establezca todo un

cuerpo de leyes-decretos-regulaciones que entorpezcan e incluso impidan la captación y utilización descentralizada de las fuentes renovables de energía, argumentando criterios de rentabilidad económica, impacto ambiental, seguridad, etc.

Así, por ejemplo, intentarán que ningún autoprodutor de energía eléctrica (en nuestro caso producira por aerogeneradores) pueda estar conectado a la red, a menos que disponga de una potencia instalada superior a un número determinado de kilovatios. Ya se encargarán de que éste número sea suficientemente elevado para imposibilitar, en la práctica, la conexión de los pequeños y medianos autoprodutores de energía.

Esta será una batalla que debemos ser capaces de ganar, pues si actualmente las redes de transporte y distribución de electricidad llegan a muchos sitios y si las empresas productoras y distribuidoras de fluido eléctrico alardean de ser un servicio a la comunidad, que lo demuestren, y que demuestren su capacidad técnico-administrativa para garantizar una red a la que estén conectados muchos miles de

usuarios que sean a la vez productores y consumidores de energía.

Ganando esta batalla se facilitaría la rápida introducción de la energía eólica en muchas zonas en las que, por disponer ya de redes de distribución, sería irracional penalizarlas con costosos métodos para el almacenamiento de la energía producida, en el caso de que, al ser zonas eólicamente favorables, decidieran la utilización de aerogeneradores.

Si a ello se añadiera una política coherente de ayudas económicas para aquellas personas y/o comunidades que utilicen sistemas de energía eólica (política ya emprendida por algunos países y tímidamente iniciada en el Estado Español), se podría llegar, en un corto plazo de tiempo, a que las máquinas eólicas produjeran una importante cantidad de energía, colaborando de éste modo, a un ahorro sustancial de energía producida por métodos convencionales. Según una estimación publicada por el INI, en el Estado Español podría haber una potencia eléctrica instalada, de origen eólico, de  $9,625 \times 10^6$  kW (9.625 MW).

En muchos países ya hoy es rentable eco-



nomícamente el uso de pequeños aerogeneradores en zonas aisladas, donde no llegan las redes de distribución (¿cuántas zonas rurales existen en nuestro país aun sin electrificar?). Incluso ya están en el límite de la rentabilidad los sistemas aerogeneradores conectados a la red.

Por lo que hace referencia a los grandes sistemas, sus costos oscilan entre los 6,5 millones de coronas danesas (unos 85 millones de pesetas) del aerogenerador de TVIND y la de 6 millones de dólares (600 millones de pesetas) del MOD-1 americano (ambos tienen potencias parecidas). La producción energética de una máquina de estas características sería suficiente, en nuestro país, para suministrar toda la energía necesaria para unas 300-400 viviendas unifamiliares bien equipadas (suponiendo un consumo anual de cada vivienda comprendido entre 10 y 15 MWh).

Para valorar correctamente las inversiones necesarias para la construcción de estas máquinas es necesario tener en cuenta que toda inversión basada en fuentes renovables de energía aumenta de valor por cada año que transcurre, en proporción al precio

del combustible no renovable que se ahorra.

Es curioso destacar que entre los argumentos que la tecnoburocracia arguye, además de la no rentabilidad, está el del impacto ambiental que la utilización de aerogeneradores implicaría.

¿Será acaso que se están convirtiendo al ecologismo?. Porque cuando arguyen que los aerogeneradores alteran las migraciones de las aves, dañan a los murciélagos y a los insectos, a los pájaros cantores, destruyen el paisaje, incrementan la humedad del suelo, producen cambios de temperatura, etc., nos llegan al corazón. Lástima que estos mismo argumentos no los apliquen (o los olviden intencionadamente) en aquellas actividades ligadas al desarrollismo que tienen un efecto miles de veces más perturbador que los modestos aerogeneradores.

Cuando nos dicen que los aerogeneradores pueden causar accidentes (rotura de palas, caída de personas desde lo alto de las torres de soporte, peligro de electrocución en el caso de que una persona esté reparando la red de distribución y un aerogenerador introduzca energía a la red, que el

aeromotor actúa de pararrayos,...) nos confirman que, si son incapaces de solucionar estos problemas, menos pueden asegurar el funcionamiento sin accidentes de las grandes plantas nucleares de producción de energía.

Siendo realista, no habrá en nuestro país un significativo aporte energético por parte de la energía eólica, hasta que seamos capaces de influenciar a los diferentes órganos de poder local y regional/nacional para que se decidan a emprender unos enérgicos programas para el aprovechamiento de un recurso energético (viento) al que no se le presta ninguna atención y que fluye por los territorios donde dichos órganos tienen jurisdicción.

¿Habrá que esperar a que los rapaces de siempre instalen sus baterías de aerogeneradores gigantes en los desiertos campos del Estado Español, para suministrar la energía captada en las «zonas deprimidas» a los centros devoradores, llegado el momento en que se vean obligados a prescindir o a limitar el uso de los recursos energéticos no renovables?

Para evitarlo sugerimos que todos los mi-

---

nicipios y/o comunidades «autónomas», emprendan inmediatamente los trabajos necesarios para realizar una valoración de sus recursos renovables (entre ellos el viento) como paso previo a una introducción racional de los sistemas aerogeneradores.

Paralelamente hay que sentar las bases para el desarrollo de Sistemas Aerogeneradores (centros de investigación y de prueba) tecnológicamente avanzados (duraderos, eficientes, económicos, fácilmente reparables por los mismos usuarios, etc). Ello es una tarea que incumbe plenamente a los poderes políticos de las comunidades «autónomas», ya que solo facilitando la transición hacia sistemas renovables de energía se podrá hablar de Autonomías reales.

Por otro lado es necesario que desde los pueblos y comarcas los movimientos populares emprendan campañas para promover el uso descentralizado de las Energías Renovables, a la vez que fuercen el desarrollo de una legislación adecuada para facilitar al máximo la introducción de estos sistemas energéticos.

JOSEP PUIG



---

## INDICE

### 1. Formación de los vientos, 14

La atmósfera, 15  
Fuerzas inductoras de los vientos, 16  
La circulación en la atmósfera, 17  
Algunas nociones de frontología, 21

### 2. Los vientos y su medida, 24

El viento. Definición, 25  
Tipos de viento, 26  
Vientos en la Península Ibérica, 27  
Parámetros del viento, 28  
Observación y medida, 31  
Curvas eólicas anuales, 35

### 3. Historia de su aprovechamiento, 38

Orígenes de la energía eólica, 39  
Orígenes del aprovechamiento de la energía eólica en la Península Ibérica y Baleares, 45  
Historia contemporánea del aprovechamiento de la energía eólica, 54

### 4. Teoría básica de un aeromotor, 78

Potenica, 79  
Teorema de Benz, 80  
Coeficiente de irregularidad, 81  
Energía, 81  
Aeromotores, 82  
Sistemas de captación, 84  
Aerodinámica, 87

---

## **5. Aerogeneradores, 90**

Captador: tipos, dimensiones y materiales, 91  
Sistemas de orientación, 94  
Sistemas de transmisión: mecánica y eléctrica, 95  
Regulación, 97  
Soporte: tipos, dimensiones y materiales, 100  
Sistema eléctrico, 102

## **Cuadro de aplicaciones de la energía eólica, 107**

## **Apéndices, 109**

Anexo I: Unidades  
Anexo II: Esquema para la construcción de un aerogenerador, 116  
Anexo III: Construcción de un anemómetro, 122  
Anexo IV: Autoconstrucción de un molino para bombeo, 126  
Anexo V: Gráficos, 129  
Anexo VI: Perfiles, 132  
Anexo VII: La energía eólica en España momento actual, 138  
Anexo VIII: Legislación y facilidades financieras, 144  
Anexo IX: El Aerogenerador de Tvind, 148  
Anexo X: Bibliografía, fabricantes, contactos, 152

# 1 Formación de los Vientos

La Atmósfera. Fuerzas inductoras de los  
vientos. Nociones de frontología.





## LA ATMÓSFERA

El aire no es un elemento químico simple, sino una mezcla de elementos y combinaciones químicas que no reaccionan entre sí, que contienen en suspensión gran variedad de productos líquidos y sólidos en forma de finas gotas o partículas, desde materia orgánica hasta iones, material radioactivo y otras partículas contaminantes.

La atmósfera está compuesta por aire seco (nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, argón, gases inertes, hidrógeno,...), vapor de agua y diversas impurezas y partículas. Todos estos elementos tienen una influencia nada despreciable sobre los fenómenos meteorológicos y su evolución.

La atmósfera tiene forma de esferoide achatado y se caracteriza por tres variables: la presión, la temperatura y la humedad (fig. 1).

La presión puede considerarse como el peso por unidad de superficie de la atmósfera y se mide con ayuda del barómetro. La unidad de medida de la presión utilizada en meteorología es el milibar (mbar). Un milibar es la milésima parte de 1 bar, siendo un bar la presión ejercida por una columna de 750 mm. de mercurio.

La presión disminuye muy rápidamente con la altura: 1 bar a nivel del mar, 1 mbar. a 50 Km.

Las variaciones de presión en sentido horizontal son mucho menores que las variaciones en sentido vertical. Suelen ser menores de 3 mbar. por 100 Km. De hecho,

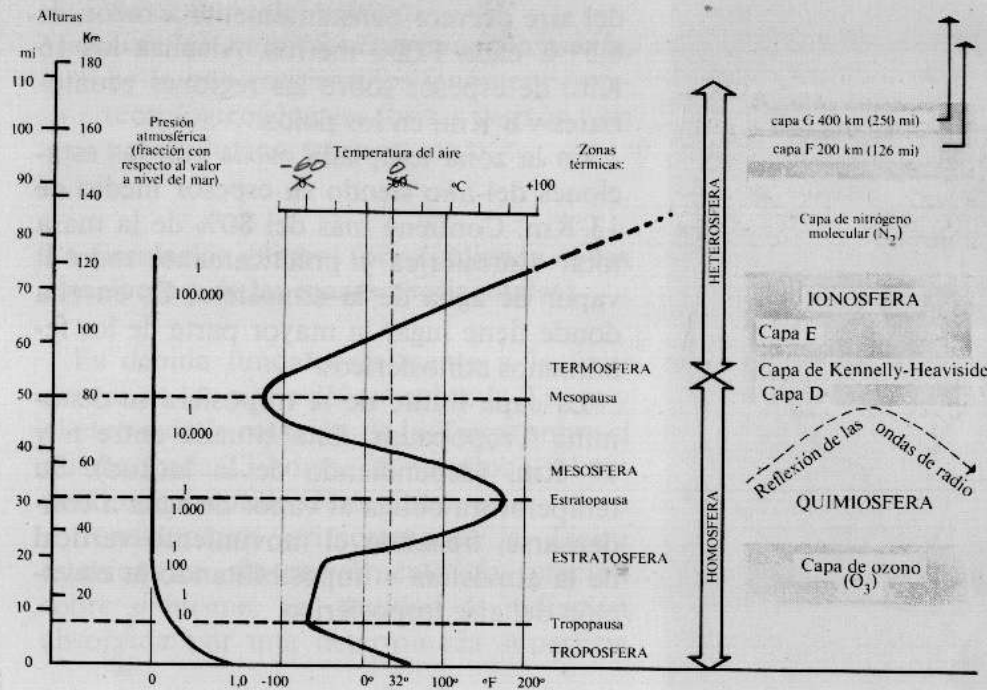


Figura 1. Estructura de la atmósfera.

estas variaciones de presión son las responsables del viento.

De acuerdo con sus propiedades térmicas, se distinguen en la atmósfera varias regiones: la troposfera, la estratosfera, la mesosfera y la termosfera.

### La Troposfera

Es la parte más baja de la atmósfera y donde se desarrolla la vida. Se caracteriza porque, en sentido vertical, la temperatura

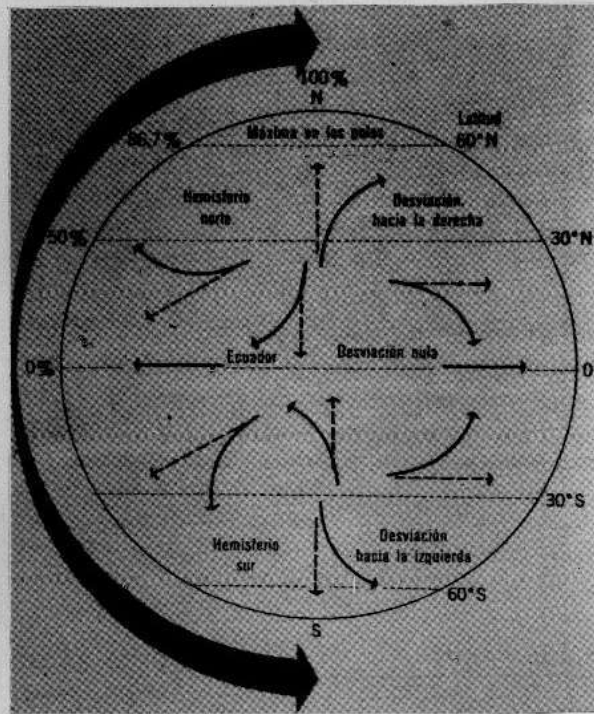


Figura 2. Fuerza desviadora producida por la rotación de la tierra.

del aire decrece constantemente a razón de  $6,5^{\circ}\text{C}$  cada 1.000 metros. Alcanza los 16 Km. de espesor sobre las regiones ecuatoriales y 8 Km. en los polos.

En la zona templada oscila con las estaciones del año siendo su espesor medio de 13 Km. Contiene más del 80% de la masa total atmosférica y prácticamente todo el vapor de agua de la atmósfera. Es en ella donde tiene lugar la mayor parte de los fenómenos atmosféricos.

La capa límite de la troposfera se denomina Tropopausa. Está situada entre 6 y 17 Km. (dependiendo de la latitud). Su temperatura obliga al vapor de agua a condensarse, frenando el movimiento vertical de la atmósfera e imposibilitando la elevación del aire troposférico.

### La Estratosfera

Es la capa situada encima de la Troposfera. La temperatura del aire en su seno, se mantiene casi constante en su parte inferior, aumentando en su parte superior. Este aumento de temperatura es debido a la absorción, por el Ozono, de la radiación ultravioleta (la fracción más energética del espectro de la radiación solar). En conjunto, la Troposfera y la Estratosfera contienen el 99,9% del total de la masa atmosférica.

La Estratopausa es la capa límite de la Estratosfera y está situada a una altura aproximada de 50 Km.

### La Mesosfera

Es la región atmosférica que se extiende hasta los 80-85 Km. de altura. Su temperatura decrece con la altura, teniendo un máximo térmico en su parte inferior.

Termina en la capa límite denominada Mesopausa.

### La Termosfera

En ella la temperatura aumenta sin cesar (la noción de temperatura en esta capa es difícil de asimilar ya que los choques entre moléculas son muy ~~frecuentes~~ infrecuentes).

Finaliza en la Termopausa, donde comienza la Exosfera o atmósfera exterior.

## FUERZAS INDUCTORAS DE LOS VIENTOS

La velocidad del viento en la atmósfera viene determinada por la resultante de las fuerzas que actúan sobre el volumen elemental de aire. Las principales son: a) *la fuerza debida al gradiente de presión* (aquella que acelera el aire cuando se establecen variaciones o gradientes de presión), b) *la fuerza gravitacional* (aquella que produce una aceleración igual a la aceleración de la gravedad), c) *la fuerza de fricción o rozamiento* (debida a las variaciones de velocidad y a la viscosidad; es importante en la capa límite de la atmósfera cercana a la superficie de la Tierra) y d) *la fuerza de*



*Coriolis o fuerza de deflexión horizontal* (describe los efectos producidos por la rotación de la Tierra sobre el movimiento del aire) (fig. 2).

A elevadas altitudes de la atmósfera (Tropósfera) los vientos principales son los denominados «vientos geostróficos» que vienen determinados por el balance entre las fuerzas del gradiente de presión y la de Coriolis. El viento geostrófico puede considerarse como una buena aproximación a los vientos que se dan por encima de los niveles donde las fuerzas de rozamiento son importantes (las fuerzas de fricción desaparecen por encima de los 1.000 m. del suelo). A tales alturas puede considerarse que la dirección del viento es paralela a las isobaras (líneas de igual presión). No obstante el paralelismo de la dirección del viento desaparece en las bajas altitudes, por lo que el viento a nivel del suelo tiene un sentido inclinado respecto a las isobaras y una dirección de las altas hacia las bajas presiones. (fig. 3)

## LA CIRCULACIÓN EN LA ATMÓSFERA

La circulación general de la atmósfera puede dividirse en tres categorías:

- circulación primaria, planetaria o general.* Es la producida por el calentamiento solar y modificada por la rotación de la Tierra.
- circulación secundaria, horizontal a gran escala o celular.* Es la que domi-

na el mapa del tiempo.

- circulación terciaria, a pequeña escala.* Es la que contiene los fenómenos meteorológicos locales (brisas de mar y de tierra, lluvias, truenos, etc.).

## La circulación general (prescindiendo de las estaciones y de las masas continentales)

Es debida fundamentalmente a la incidencia de los rayos del sol sobre la Tierra y al efecto de la rotación de la Tierra sobre sí misma (cada 23 horas, 56 minutos y 41 segundos, en sentido Oeste-Este).

Consideremos primeramente la Tierra estacionaria, sin movimiento de rotación sobre sí misma. La cantidad de radiación absorbida por una determinada superficie

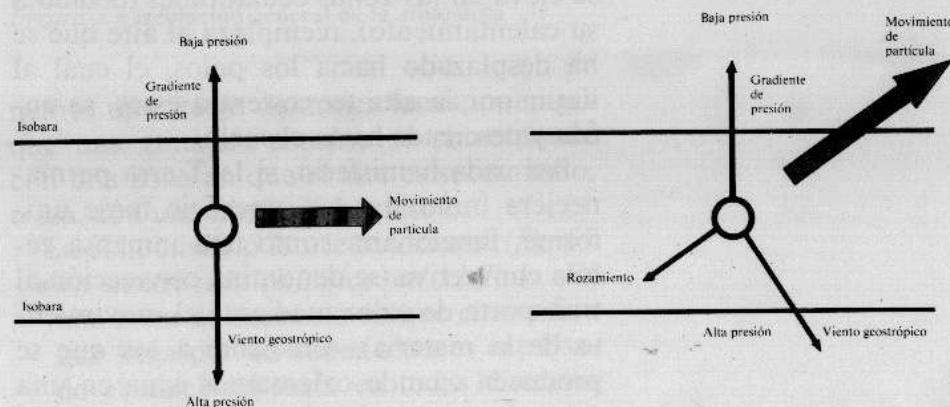


Figura 3. Diagrama vectorial para mostrar el equilibrio de una corriente de viento en el hemisferio Norte.

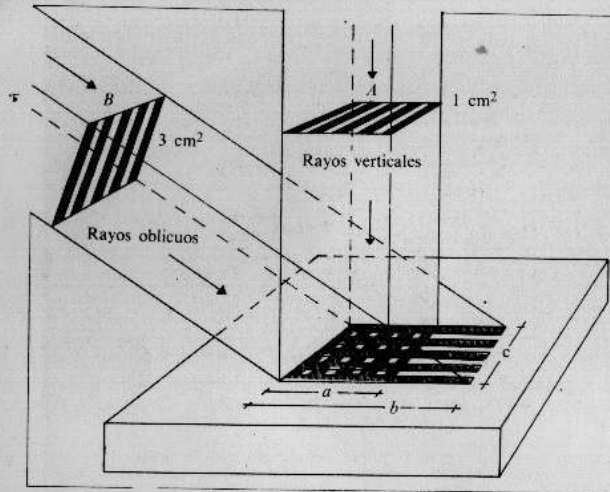


Figura 4. El ángulo de incidencia de los rayos solares determina la intensidad de insolación del suelo. Mientras que la energía de los rayos verticales *A* se concentra en el cuadrado *a*, la misma energía de los rayos oblicuos *B* se reparte sobre el rectángulo *b*.

depende del ángulo que forma con la dirección de propagación de los rayos solares, recibiendo más por unidad de superficie aquella que sea menor, es decir, la que esté situada perpendicularmente al rayo incidente (fig. 4).

El sol calienta las regiones ecuatoriales desproporcionadamente, induciendo una circulación térmica entre el ecuador y los polos. Esta circulación térmica se caracteriza por un flujo de aire en la misma dirección de los meridianos (de Sur a Norte en la alta troposfera) para compensar las bajas presiones de las frías regiones polares. Este flujo debe compensarse por otro que va desde los polos hasta el ecuador en las regiones de la capa límite de la troposfera sobre la superficie de la Tierra (fig. 5 parte A).

La circulación meridional en la alta troposfera, transfiere calor desde las regiones ecuatoriales hacia las polares. El aire que se eleva en las zonas ecuatoriales (debido a su calentamiento), reemplaza al aire que se ha desplazado hacia los polos, el cual al llegar por la alta troposfera a estos, se enfría y desciende hasta el suelo.

Así cada hemisferio, si la Tierra permaneciera inmóvil y su superficie fuese uniforme, funcionaría como una inmensa célula convectiva (se denomina convección al transporte de calor mediante el movimiento de la materia), semejante a los que se producen cuando calentamos agua en una cacerola.

Si consideramos la rotación de la Tierra sobre su eje, se producen unos vientos pa-

rales a las isobaras (en contraposición a los vientos meridionales que son perpendiculares a estas). Son los denominados vientos de poniente (del Oeste) y alisios (del Este).

Gracias a la acción de la fuerza desviadora de Coriolis, los vientos que en altura debieran soplar de Sur a Norte, se van apartando hacia su derecha y, a unos 30° de latitud en el hemisferio Norte, ya son vientos del Sudoeste a la vez que descienden por haberse enfriado. Las fuerzas desviadoras vuelven a actuar sobre el suelo dando lugar en el hemisferio Norte a vientos de dirección Nordeste; que es Sudeste en el hemisferio Sur: son los vientos alisios (en inglés: «trade winds» o vientos comerciales por su utilización en la navegación a vela).

Sin embargo en los polos se invierten los términos y el aire frío y pesado que se acumula, se desvía produciendo los vientos del Nordeste de las altas latitudes en el hemisferio Norte (Sudeste en el Sur). Al alejarse del polo se calientan y vuelven a ascender para regresar al polo como vientos de altura del Sudoeste en el hemisferio Norte (Norroeste en el Sur).

Por efecto de la rotación de la Tierra, la gran célula convectiva se ha dividido en dos células menos extensas en las que los vientos no siguen los meridianos ni en superficie ni en altura. Pero el espacio que hay entre los 30° y los 60° de latitud está ocupado por un aire no tan frío como el que queda al norte ni tan cálido como el que hay más al sur. En su borde Norte ac-



tua como aire caliente, tendiendo a subir favorecido por la zona de ascensión de los  $60^\circ$ , y en el borde Sur será aire frío que tenderá a bajar, favorecido por la zona de descenso de los  $30^\circ$ . Por tanto, en el hemisferio Norte tendremos los vientos del Su-doeste (Noroeste en el Sur) o ponientes. En altura, estos vientos serán del Noreste (hemisferio Norte) y Sudeste (hemisferio Sur).

Estas son pues las tres células convectivas (fig. 5 parte B) que forman un primer esquema de la Circulación General Atmosférica en ausencia de los continentes y sin tener en cuenta las estaciones (fig. 6).

El eje principal de esta circulación es el denominado «jet-stream» o chorro subtropical. Se produce a una altura de unos 9.000 m. (300 mbar de presión), siendo una corriente de aire del oeste que contornea al hemisferio Norte a unos  $45^\circ$  de latitud. Su velocidad media es de unos 200 Km/h, pudiendo sobrepasar los 500 Km/h (fig. 7).

El aire, en la atmósfera, parece que provenga de las zonas de alta presión (anticiclones), contorneándolas en el sentido de las agujas de un reloj (hemisferio Norte) y dirigiéndose hacia las zonas de baja presión (borrascas o ciclones), contorneándolas en sentido contrario (fig. 8).

Por su propia naturaleza los anticiclones despiden aire que va a pasar a las zonas en que la presión ha disminuido. Es como si las borrascas «succionaran» aire. Así se puede deducir que una zona de descenso despiden aire a ras de suelo y por lo tanto te-

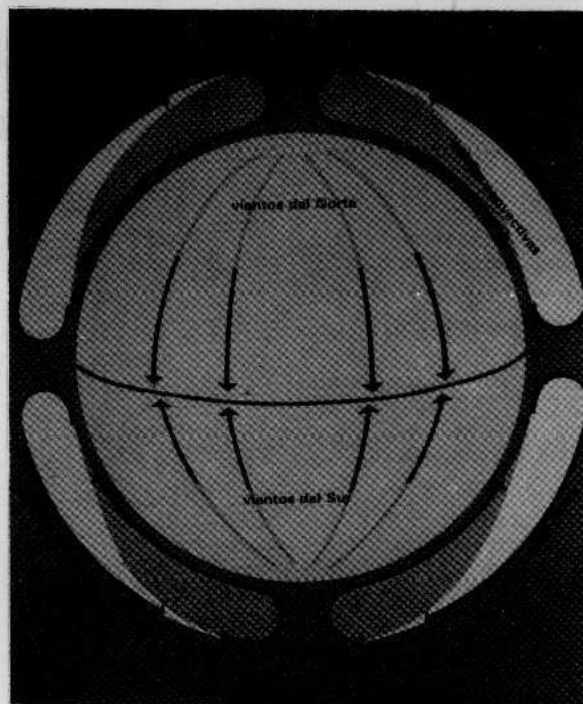


Figura 5. Circulación general de la atmósfera

nemos una franja de anticiclones, mientras que una zona de ascenso se corresponde con una zona en que el aire es succionado, o sea, con una franja de borrascas.

En el hemisferio Norte tendremos (fig. 6):

- *un centro anticiclónico en el Polo.* Es una zona de descenso en que el aire frío que llega por las capas altas es expulsado al nivel del suelo en todas direcciones.
- *una banda de bajas presiones, hacia los  $60^\circ$  de latitud.* A ella acuden los aires



Figura 5. Circulación general de la atmósfera

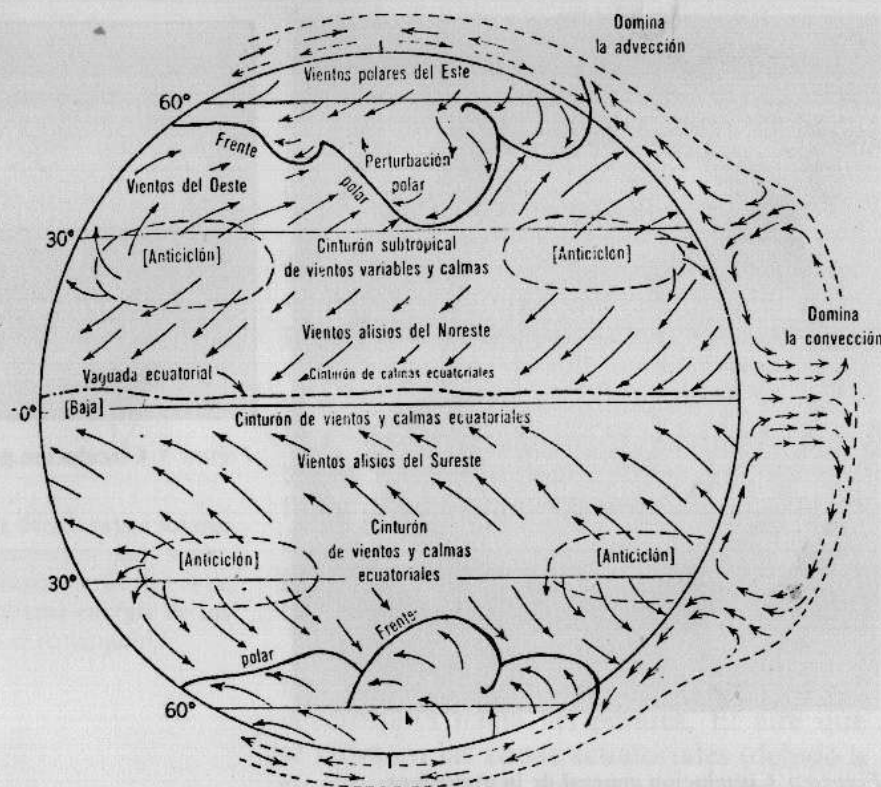


Figura 6. Esquema general de la circulación atmosférica.

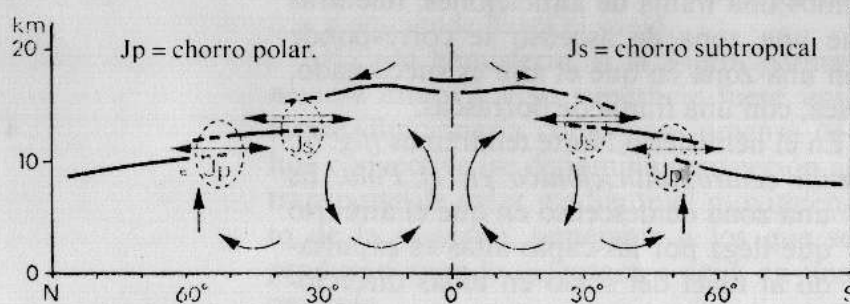


Figura 7. Sección transversal a lo largo de un meridiano terrestre, mostrando la circulación y el intercambio horizontal (flechas curvas) en la región de la tropopausa (línea gruesa).

frios y secos del Nordeste y los vientos tropicales, cálidos y húmedos. Al chocar entre sí forman el frente polar.

- una banda de altas presiones hacia los 30° de latitud. Produce los vientos del Sudoeste hacia el Polo y los del Nordeste hacia el Ecuador. Es la zona denominada de los ponientes pues es constante la componente oeste de los vientos.
- una franja de bajas presiones en el Ecuador. A ambos lados los vientos son flojos (en cambio las corrientes verticales en sentido ascendente son muy intensas). A ella llegan los alisios (del NE en el Norte y del SE en el Sur). Es la zona de las llamadas calmas ecuatoriales.

**La circulación general teniendo en cuenta las estaciones del año.**

La Tierra gira alrededor del Sol describiendo una órbita elíptica uno de cuyos focos es el mismo Sol. Por tanto la intensidad de la radiación solar recibida por las diferentes zonas de la Tierra es distinta según las estaciones del año (fig. 9).

El efecto producido sobre la Circulación General descrita es el siguiente: las diferentes masas de aire polar, tropical y ecuatorial, así como las franjas anticiclónicas y de bajas presiones, se desplazan siguiendo las estaciones en el mismo sentido del movimiento aparente del Sol. Así en invierno ocurre una traslación general hacia el Nor-



te y en verano hacia el Sur (fig. 10 y 11).

### La circulación general afectada por las masas continentales y oceánicas.

La presencia de las grandes masas continentales y los océanos tiene sus efectos térmicos sobre la Circulación General:

- en el océano glacial ártico un anticiclón permanente.
- en el océano atlántico la borrasca de Islandia a  $60^\circ$  de latitud Norte; el anticiclón de las Azores a  $30^\circ$  de latitud Norte.
- los vientos alisios que soplan del NE bordeando el anticiclón de las Azores son regulares y de unos 15-30 Km/h.

### ALGUNAS NOCIONES DE FRONTOLOGÍA

Hemos visto que la atmósfera no es homogénea, sino que puede considerarse formada por un gran número de masas de aire más o menos cálidas.

La transición entre dos masas de aire puede ser lenta y continua o, al contrario, brusca. En ambos casos existe una zona de transición muy delgada que separa las dos masas de aire y que puede asimilarse a una superficie frontal, la cual tiene una determinada pendiente ya que al aire cálido, más ligero, se superpone el aire frío, más denso. La intersección de esta superficie frontal con el suelo se denomina *frente*.

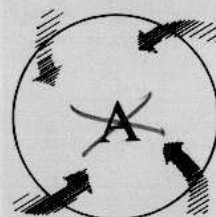


Figura 8. Alta presión. Baja

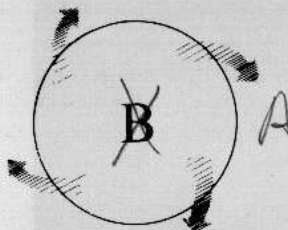
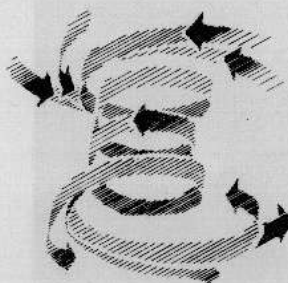


Figura 8. Baja presión. Alta

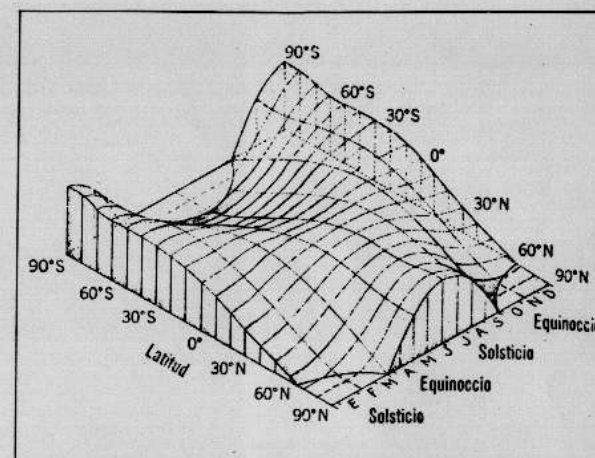


Figura 9. La influencia de la latitud y la estación del año sobre la intensidad de insolación se representa en esta figura para todo el globo. En una determinada latitud y fecha, la energía recibida es proporcional a la altura de la superficie, contada a partir de la base de la figura.

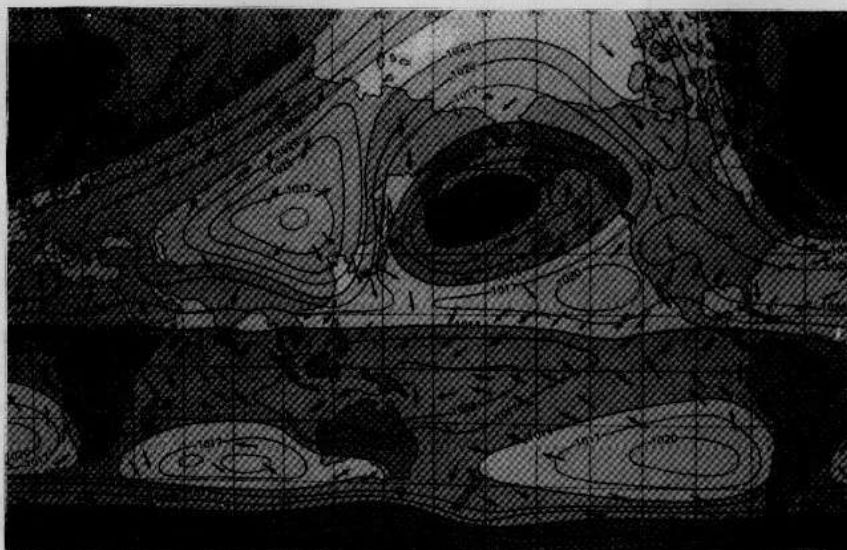


Figura 10. Circulación general considerando las estaciones del año. Invierno.

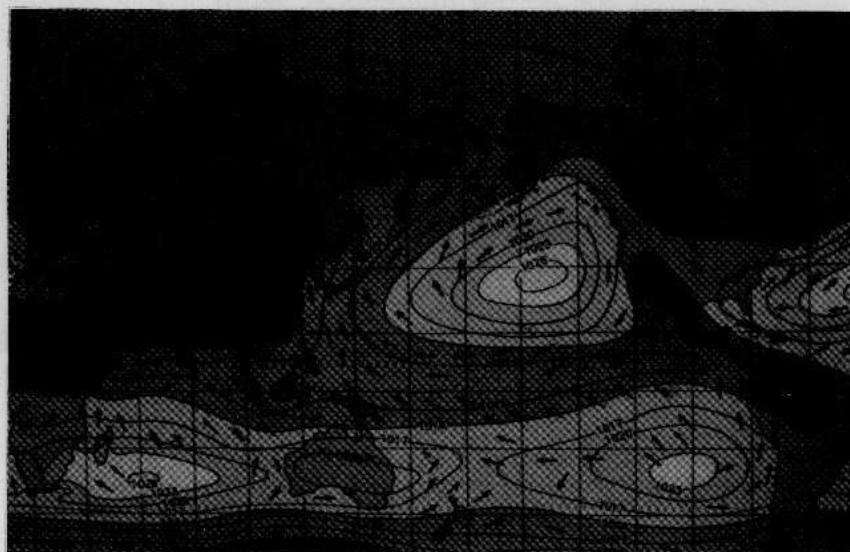


Figura 11. Circulación general considerando las estaciones del año. Verano.

*Frontogénesis* es el proceso de formación de un frente. Un ejemplo típico para el hemisferio Norte es el caso del Frente Polar Atlántico que representa la superficie de separación entre el aire polar dirigido por la depresión o borrasca de Islandia y el aire Tropical conducido por el anticiclón de las Azores.

Los frentes no permanecen quietos ya que el aire frío tiende a «bajar» hacia el Ecuador, mientras que el aire cálido tiende a «subir» hacia el Polo, creándose en un punto una ondulación que acentuándose, es impulsada por las corrientes del Oeste, formando una borrasca móvil.

La «subida» del aire caliente crea un frente cálido, mientras que la «bajada» de aire frío crea un frente frío. El conjunto frente frío-frente cálido, constituye una perturbación (fig. 12).

De esta manera cuando se forma una ondulación en el frente polar, el aire caliente penetra en él, el aire frío fluye detrás del cálido y éste, que es más ligero, fluye por encima del aire frío. Tanto el frente cálido como el frío son zonas donde el aire caliente se eleva, condensándose el vapor de agua dando lugar a las lluvias. En algún caso puede ocurrir que las masas de aire frío anterior y posterior a los frentes se pongan en contacto, empujando hacia arriba el aire caliente y dando lugar a un frente *ocluido*.

Las borrascas suelen asociarse al tiempo variable, lluvioso y ventoso. Tienen un diámetro que oscila entre 150 y 3.000 Km. En



el hemisferio Norte los vientos soplan en torno suyo en sentido contrario al las agujas del reloj.

Los anticiclones se asocian al tiempo cálido, estable y soleado en verano y frío en invierno. Los vientos soplan a su alrededor en el sentido de las agujas del reloj. A veces persisten sobre una zona durante largos períodos de tiempo, desviando a las borrascas que se acercan hacia el norte o hacia el sur.

## Mapas del tiempo.

A partir de los datos recogidos en las estaciones de medida (bién sean terrestres, marinas o espaciales), se confeccionan los mapas del tiempo (fig. 13).

De las presiones registradas se dibujan las isobaras (uniendo los puntos con igual presión). Se añaden los frentes fríos, calientes y ocluidos, obteniéndose una carta sinóptica o resumen de las condiciones del tiempo a partir de la cual se pueden hacer predicciones.

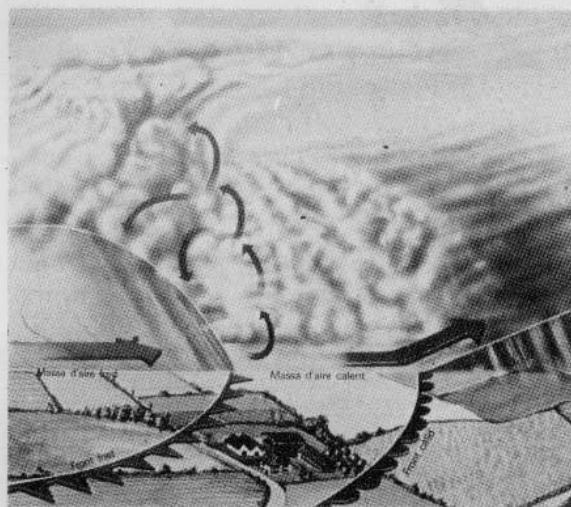


Figura 12. Perturbación atmosférica frente cálido y frente frío.



Figura 13. Mapa del tiempo.

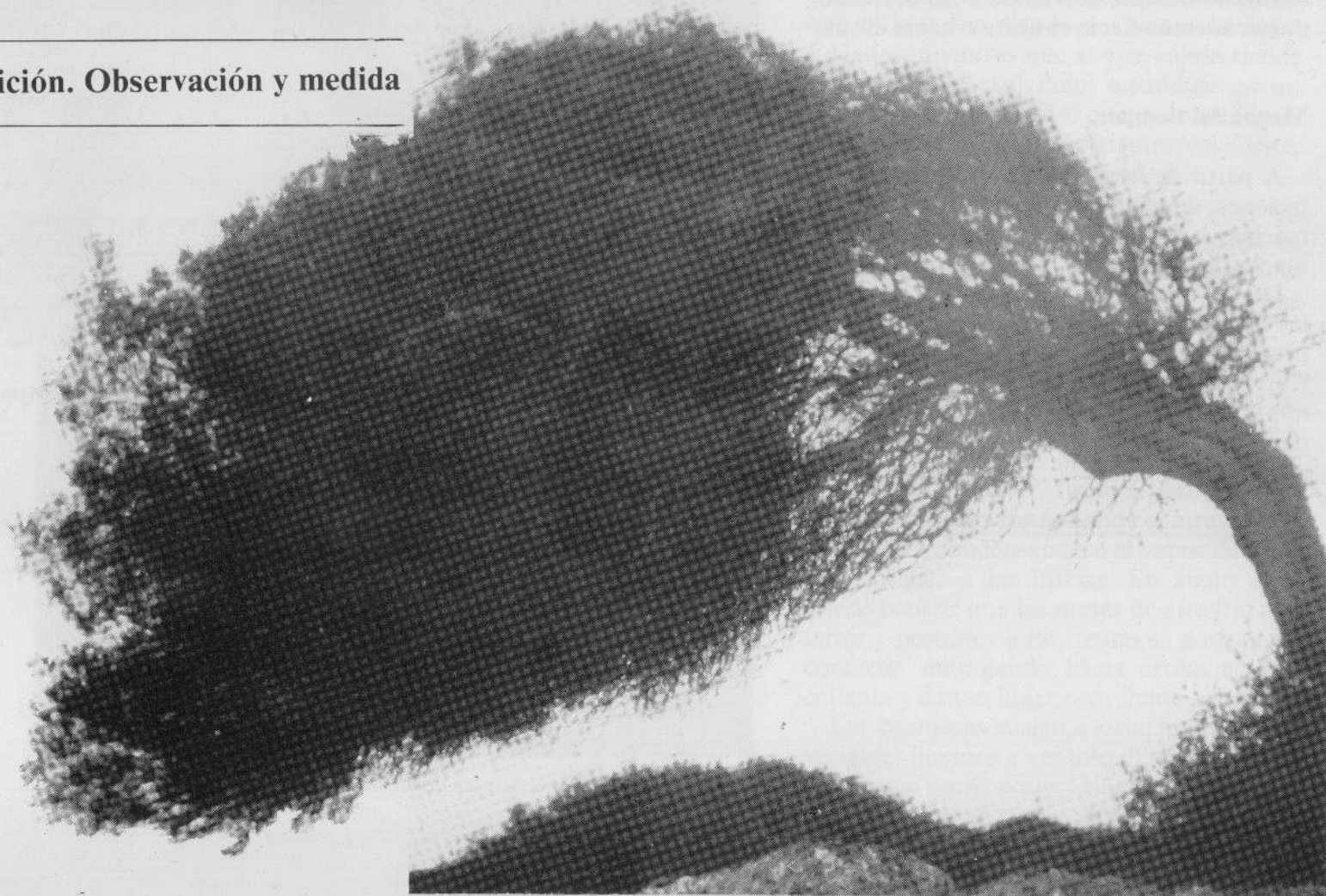
# 2

## Los Vientos y su medida

---

Composición. Observación y medida

---



## EL VIENTO. SU DEFINICIÓN

Es un fenómeno que se conoce desde la antigüedad y por lo tanto ya en aquellas épocas intentaban describirlo. Así Descartes dijo: «*Toda agitación de aire que es sensible se llama viento*». También en la escuela nos definieron el viento haciéndonos aprender con machaconería: «*El viento es el aire en movimiento*».

Estas y muchas otras podrían ser definiciones del fenómeno, pero es más exacto decir que el viento es una corriente de aire resultante de las diferencias de presión atmosféricas, provocadas en la mayoría de los casos por variaciones de la temperatura.

## Mitología.

En la prehistoria ya conocían el fenómeno y la especial importancia en su vida cotidiana. Debido a la falta de conocimientos lo elevaron a la categoría de Dios.

En la antigüedad, según opinan los especialistas, Hermes fué la divinidad del viento. En la antigua Grecia el Dios padre de los vientos era Eolo de ahí viene el nombre de Energía Eólica. Tenía el poder de mandar a otros fenómenos (divinidades) y era el intermediario entre el gran dios (Zeus) y los pequeños dioses eólicos (fig. 14).

Estos estaban divididos en dos grupos, los benefactores y los funestos. Dentro de los primeros el viento del Norte, Boreas, el del Sur, Notos, el del Sureste, Euros, y el

del Oeste, Zefiros. Benefactores pero no tanto lo eran el del Nordeste, Kebias, el del Este, Afeliotes, el del Suroeste, Lips y el del Noroeste, Skioron. Por contra Tyferus, dios del huracán, era el funesto.

Para las civilizaciones eslavas el dios de los vientos era Striborg, para los vikingos este Dios era el famoso Thor. Así iríamos comentando las divinidades de cada civilización que ha existido y ha visto en el viento una fuerza sobrenatural y desconocida.

Pero no sólo veían al viento como un dios sino que intentaban que les afectase lo menos posible; en China se orientaban las aberturas de las viviendas en unas direcciones determinadas, aunque desde el punto de vista del confort estuviesen mal orientadas.

Pero el atribuir orígenes divinos al viento no es sólo patrimonio de la Antigüedad. No hace tanto, en 1.904, se editaban libros sobre conocimientos populares que también le atribuían orígenes divinos. El Lunario Perfecto de Jerónimo Cortés decía textualmente: «*Viento, según los filósofos, es una exaltación a manera de vaho, caliente y seca, que se produce en las entrañas de la tierra, y después de haber salido con la virtud y la fuerza de los rayos del Sol, se mueve alrededor de ella con tanta fuerza y vehemencia como muchas veces vemos y experimentamos. La causa eficiente de los vientos es el Sol, como está dicho, atrayendo y tirando hacia sí las exalaciones, las cuales siendo evaporadas y queriendo subir a lo alto, son expeditas de la frialdad que*

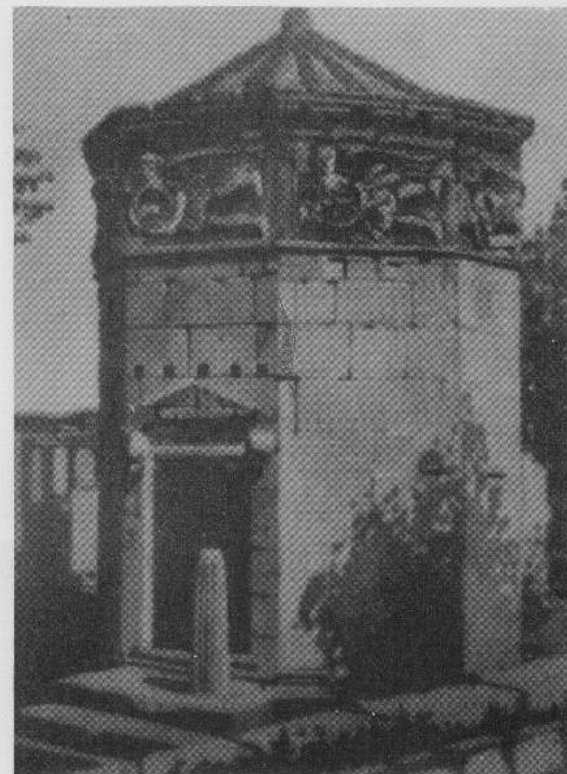


Figura 14. Los dioses eólicos.



*está en la media región del aire y según son las tierras y regiones por donde pasan, así suelen ser nombrados y reciben cualidades diferentes y causan diferentes efectos».*

### Calendarios y anuarios

Hemos reproducido un fragmento de uno de los anuarios famosos de principios de siglo. Estos anuarios, que se parecían a un libro, o los calendarios que tenían más pinta de sumarios, eran los elementos comunicativos que daban cultura científica al pueblo. Originales de la época alquimista y posteriormente manipulados por la Iglesia, han sobrevivido hasta nuestros días.

Los anuarios perdieron credibilidad popular ante los avances científicos, pero los calendarios debido a una remodelación de noticias han sobrevivido perfectamente, como el «*Calendari del Pagés*», que además de señalar las ferias, fiestas y tiempos de siembra o siega predice con antelación de más de un año el estado meteorológico y por ello del viento que soplará, equivocándose la mayoría de las veces.

### TIPOS DE VIENTO

Los vientos generales que circundan el globo terrestre, se llaman macroclimáticos. Estos debido a la orografía del terreno y las diferencias de presión varían sus características, lo que origina los vientos llamados

microclimáticos o locales.

Centrándonos en estos últimos podemos clasificarlos en: vientos inducidos termicamente, vientos inducidos por la orografía y vientos generales influenciados por los efectos climáticos locales.

### Vientos inducidos termicamente.

Son aquellos producidos por las diferencias de presión que originan las fluctuaciones de temperatura, como las brisas de mar que soplan del mar a la tierra durante el día (mediodía y tarde), las brisas de tierra que soplan hacia el mar durante la noche y el amanecer, los vientos de puerto (de montaña) que soplan durante la noche desde la montaña al valle, y los vientos del valle que soplan hacia la montaña durante el día (fig. 15).

Las brisas son vientos de poca velocidad aunque alcancen en ciertos sitios hasta los 13 m/seg. Las de mar, debido a la evaporación que provocan, son refrescantes y en los países cálidos les dan el nombre de *Doctor Curativo*.

### Vientos inducidos por la orografía.

Estos vientos se forman por la variación de las condiciones térmicas de los vientos macroclimáticos, al pasar por zonas de orografía muy variada como las zonas montañosas. Al ganar altura, condensan el



agua que contienen, provocando cuantiosas lluvias y elevando la temperatura del aire al descender por la ladera opuesta. Algunos de ellos provocan terribles aludes como el *Föhn* que sopla del sur de los Alpes hacia Alemania y Austria ocasionando desgracias durante la primavera, sobrepasando algunas veces los 28° C. de salto térmico en dos horas. O como el *Chinook* en las montañas Rocosas que origina las zonas desiertas del centro de U.S.A.

**Vientos generales influenciados por los efectos climáticos locales.**

Debido a depresiones locales que afectan a los vientos generales se producen unos vientos particulares como el *Bora*, el *Mistral* (fig. 16), etc.

## VIENTOS EN ESPAÑA

Cada nación de España tiene vientos característicos, siendo «les Illes», Valencia y Catalunya los de mayor cultura eólica.

La tradición marinera mallorquina dice que los vientos son ocho: «*Llevant (E), Xaloc i Mitjorn (S), Llebeig, Ponent (W) i Mestral, Tramuntana (N) i Gregal, vet aci els vuit vents del mon\**» como canta María del Mar Bonet.

En conjunto, el viento en estas zonas se dirige desde el Sureste al Noroeste, es decir predominan los ponientes a altos niveles de

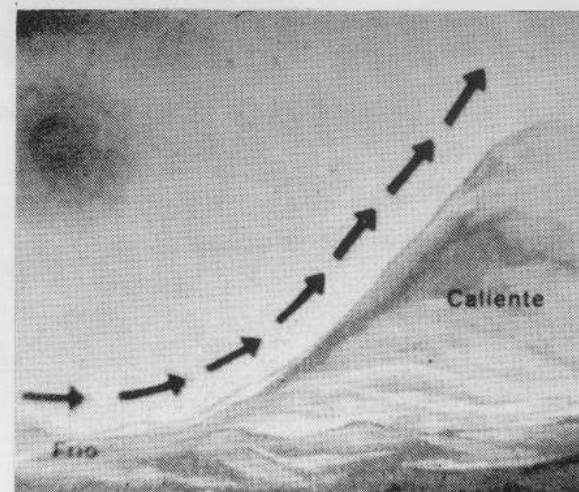
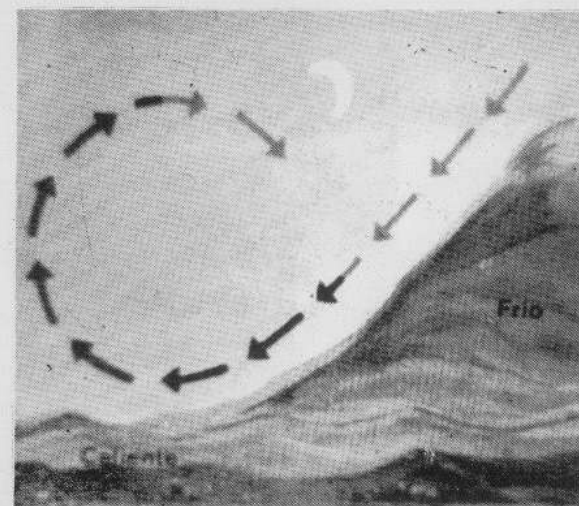
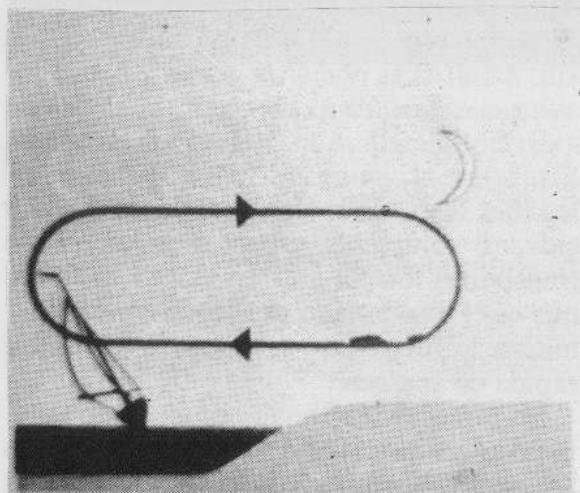
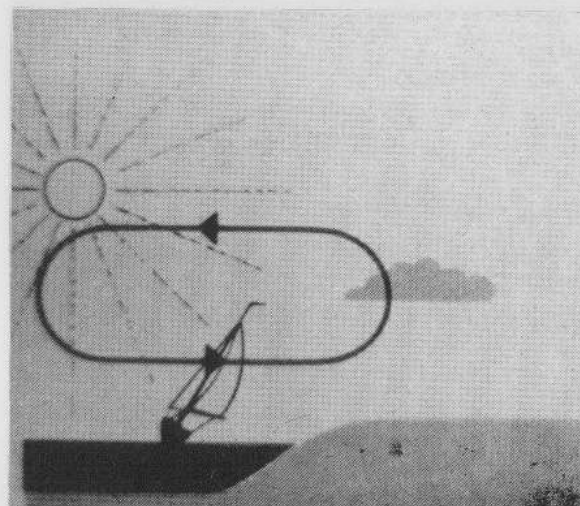


Figura 15. a) Brisas de mar, b) brisas de tierra, c) vientos de puerto, d) vientos de valle.

la atmósfera. Los vientos más característicos de la zona son: *La Tramuntana*, que sopla en las comarcas de l'Empordà y en

\*he aquí los ocho vientos del mundo.

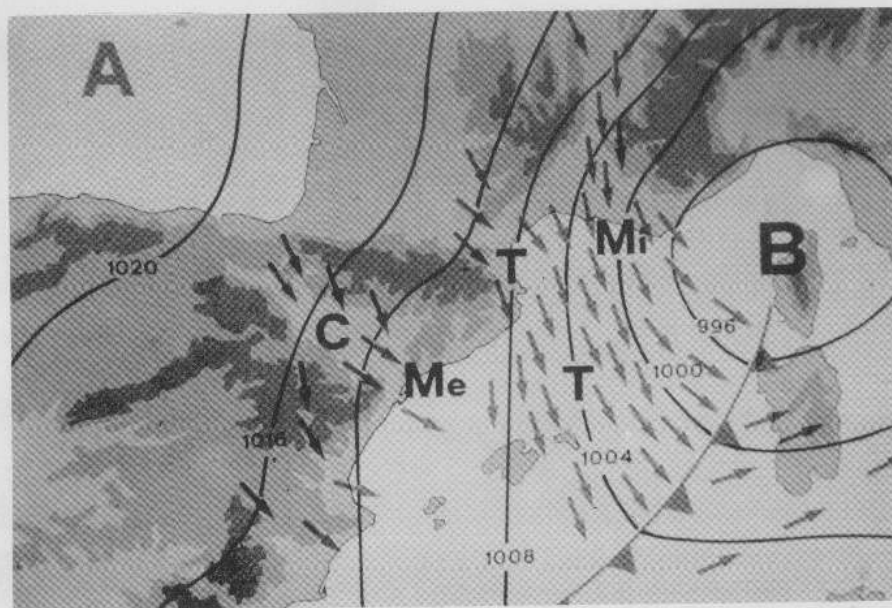


Figura 16. Vientos producidos por efectos climáticos locales.

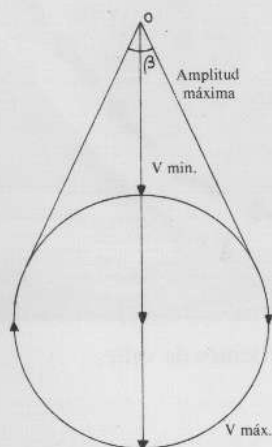


Figura 17. Componente rectilíneo y circular del viento.

les Illes llegando a alcanzar altísimas velocidades, rompiendo puentes y derribando transportes férreos en Port-Bou. El *Llevant* que es el más temido por los marineros debido a lo fuerte que es y a su manera tan rápida de aparecer.

En el Valle del Ebro se produce un viento muy característico llamado *Cierzo* en Aragón, *Cerç* en el Baix Ebre, y el *Mistral* o *Mestral* en el resto de la zona. Los vientos que proceden del Mediterráneo y que suben por el valle, se llaman *Bochornos* ya que son muy calientes y húmedos. El viento que procede del Sur recibe el nombre de *Abrego*.

En la Costa Cantábrica y concretamente en Asturias se producen vientos del tipo *Föhen*, siendo los más populares el *Gallego* (W) que produce mal tiempo y el *Gregal* (NE) que lo produce bueno. Los temporales proceden del NE, S y W. Las Galernas son temporales típicos de toda la costa, caracterizados por vientos del W y NW.

Otros vientos típicos de España son el *Abrego* que sopla en Cádiz desde el Sur (en Madrid le llaman Viento de Toledo). En Castilla y Euskadi se da el nombre de *Solano* a todo viento cálido y sofocante. En la zona Sur de Andalucía sopla desde Africa el *Vendaval* y *Austro*. En León y Extremadura se conoce el viento del W como *Algarche* o *Céfiro*. En Galicia el viento del NE se le conoce como *Cauro* o *Regañón*.

Según los meses, los vientos dominantes cambian de dirección siendo los más predominantes los del SE y menos los del E.

## PARÁMETROS DEL VIENTO

Siendo el viento una corriente de aire no uniforme, es decir, turbulenta, hay que desglosarla a efectos de poder entenderlo y medirlo en dos componentes: una de velocidad rectilínea y otra circular. (fig. 17)

La suma de estas dos dan el viento real y para definir una y otra se usa un módulo y una dirección.

En la realidad, estos análisis científicos son poco útiles para los empíricos y los parámetros del viento más utilizados son la

velocidad y la dirección en un plano horizontal, siendo de destacar que también hay vientos verticales, más importantes cuanto más accidentado sea el terreno.

## Estructura.

Tal como lo conocemos, el viento siempre es turbulento aumentando y disminuyendo la velocidad rápidamente. Los valores máximos de esta velocidad reciben el nombre de ráfagas, que prácticamente son variaciones bruscas de la velocidad de viento —se han registrado variaciones de más de 14 m/seg. en 0,25 segundos—.

Los valores máximos de la velocidad del viento que se han registrado en niveles cercanos al suelo son muy elevados. En la Antártida se han registrado velocidades de 90 m/seg. (325 Km/h.). En España (Gran Canarias) se ha registrado el valor máximo de 60 m/seg. (215 Km/h.). La velocidad del viento varía horaria y diariamente.

Siempre que los vientos sean de tipo local se repite un ciclo diario, siendo superior la velocidad durante el día. La máxima se produce entre las 12 y las 16 horas solares. (fig. 18) En las ciudades costeras se puede producir la máxima a la salida del Sol. Generalmente la velocidad media diaria de un día respecto a otro es muy variable.

Las variaciones mensuales y estacionales son más cíclicas, siendo los valores medios bastante iguales para los mismos meses de diferentes años. Durante los meses de vera-

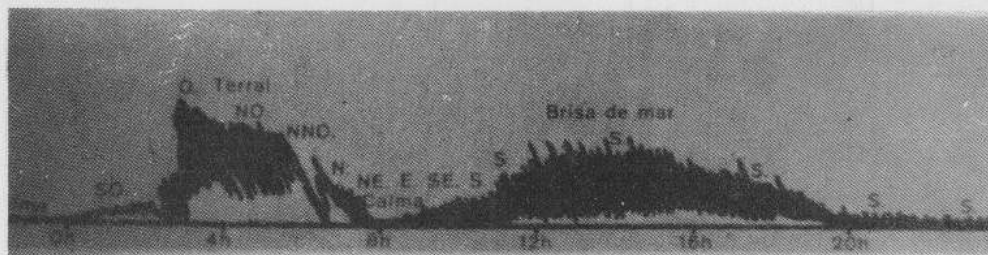


Figura 18. Registro anemométrico.

no la velocidad del viento es un 60% ó 90% menor que durante los de invierno. El máximo de velocidad en España se produce en los meses de Febrero y Marzo (fig. 19).

La dirección del viento tampoco es constante, variando tan rápidamente como la velocidad y a esta variación se la llama turbulencia. El grado de turbulencia se mide por la relación entre la oscilación máxima de la velocidad del viento y la velocidad media. Vale 0 cuando es laminar y 2 cuando es un torbellino o remolino.

## Variación en altura.

Debido al rozamiento entre el aire y la tierra se produce un frenado de los vientos de los bajos niveles, provocando un gradiente de velocidades. Este gradiente no sólo es función del tipo de terreno sino que depende de la velocidad del viento, de la topografía, etc.

Hay fórmulas que dicen cuanto varía el viento en altura, siendo la menos compleja



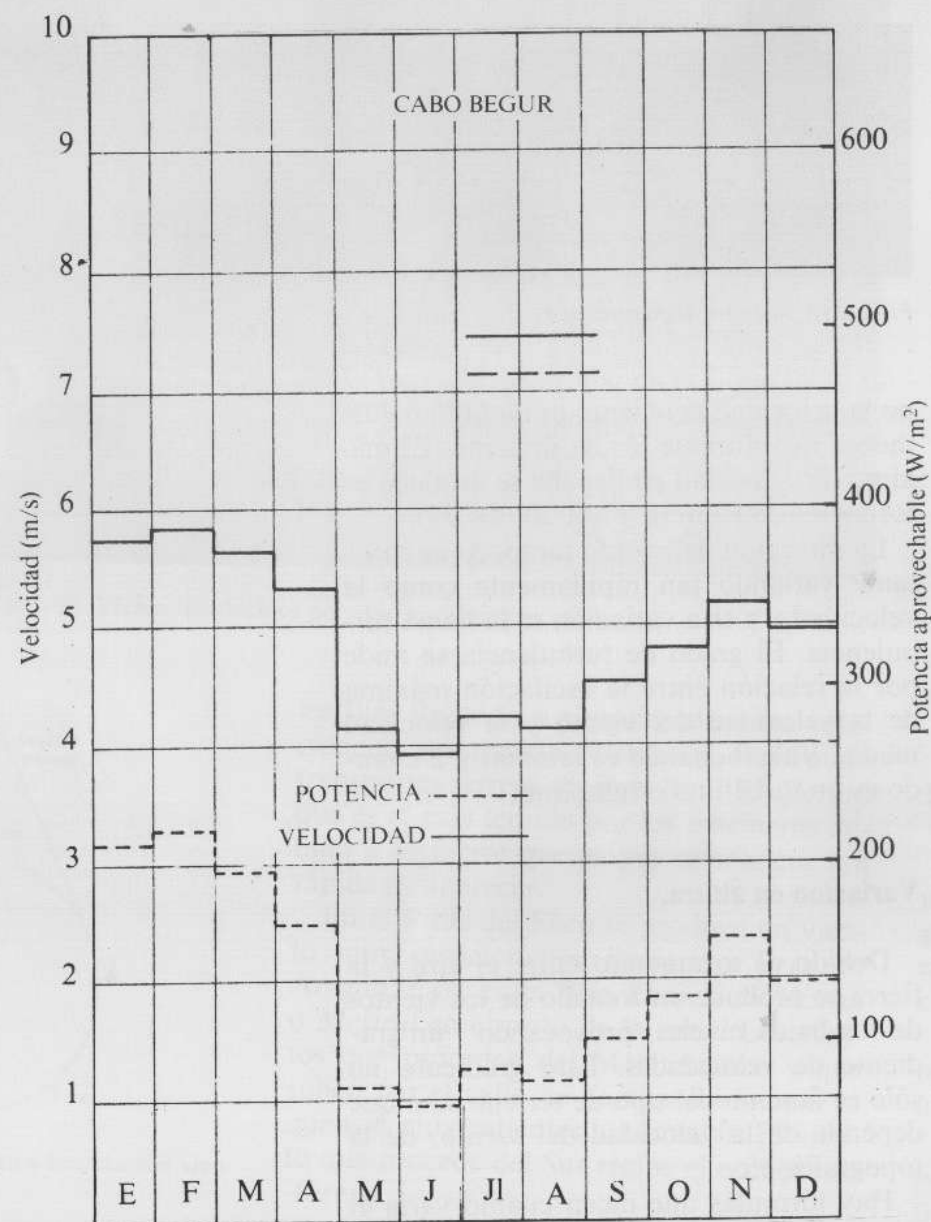


Figura 19. Variación media mensual del viento en Begur (Gerona).

la siguiente

$$\frac{V}{V_{10}} = \left( \frac{H (m)}{10 (m)} \right)^{\alpha}$$

Siendo  $\alpha$  en función del terreno (fig. 20), en las zonas urbanas el rozamiento es muy grande y sólo se obtienen velocidades elevadas a alturas considerables, en cambio en los prados ya a poca altura la velocidad es elevada.

Cuando el viento encuentra obstáculos, tiene que comprimirse para poder pasarlos, aumentando así su velocidad. Este tipo de obstáculos, como las colinas y las montañas, producen un incremento considerable de la velocidad que en ciertos casos puede llegar a ser el doble de la normal del viento no perturbado. (fig. 21)

En España el Servicio Meteorológico Nacional mide la velocidad del viento en altura mediante globos sonda (fig. 22). Tiene algunos centros de envío de globos en: La Coruña, Madrid, Canarias, etc. Con los datos recogidos se obtiene su velocidad o lo que es lo mismo el gradiente vertical de velocidades. El conocimiento de éste es básico para determinar velocidades en puntos donde no se tiene ningún dato u observatorio cercano.

Antes de 1936 el «Servei Meteorològic de Catalunya», fundado por Eduard Font-seré, realizó sondeos durante 17 años determinándose en la vertical del Aeropuerto del Prat del Llobregat las velocidades y direcciones del viento a diferentes alturas.

# OBSERVACIÓN Y MEDIDA

Desde la antigüedad el hombre observa el viento, sus efectos y sus influencias sin cuantificarlo demasiado. En cambio sí que lo cualificó, ya que intentó establecer el efecto- causa del fenómeno para acondicionarse en su hábitat y evitar desastres mediante la previsión.

El objeto básico de esta observación era pues la predicción del fenómeno. Ante la falta de cultura numérica hizo frases y refranes relacionando al viento con otros fenómenos, así, en los calendarios-anuarios de los frailes se lee, según Leopoldo: «Si en el mes de Marzo se oyeren los primeros truenos, significa haber muchos vientos en el reino que se oyeren».

Pero las ansias investigadoras de la humanidad llevaron a la necesidad de cuantificar el viento mediante otros medios para su posterior predicción. Ya desde siglos antes de Cristo se medía su dirección mediante veletas con una precisión muy alta. En 1760 se utilizó el primer aparato para medir su velocidad y en el siglo XIX se utilizaron escalas gráficas para medirla sin ayuda de aparatos.

Los métodos para determinar los parámetros del viento:

- velocidad
- dirección

son:

- La medida con aparatos.
- La observación sin aparatos.

## Observación.

Para efectuar esta medida se recurre en la actualidad a la escala de Beaufort (fig. 23) que está graduada en fuerza que corresponde a velocidad y no da unidades a los valores. Fuerza 4, por ejemplo, quiere decir una velocidad del viento entre 5,5 y 7,9 m/seg. La dirección del viento se mide según los puntos cardinales. Con estos medios se puede determinar en un punto y en un tiempo dado como es el viento.

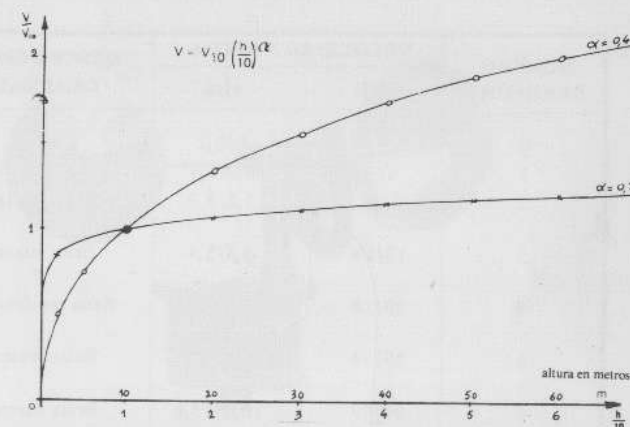


Figura 20. Gráfico de las variaciones del viento en función de la altitud.

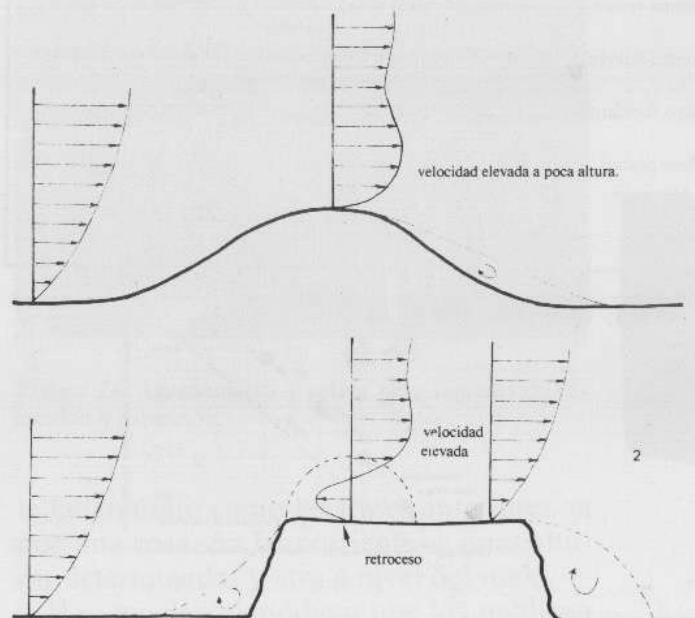


Figura 21. Incremento de la velocidad producido por diferentes obstáculos.

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		

Figura 23. Escala de Beaufort.

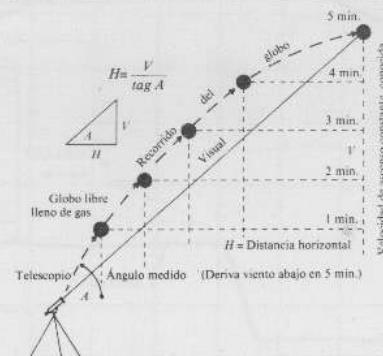


Figura 22. La velocidad del viento puede calcularse siguiendo el recorrido de un globo libre lleno de gas por medio de un instrumento telescópico.

### Medida con aparatos.

A causa de la imprevisión de los métodos anteriores se utilizan unos aparatos que cuantifican perfectamente la velocidad y la dirección.

El anemómetro (fig. 24) es un aparato que mide la velocidad del viento en m/seg., Km/h. o en nudos. Esta velocidad la registra, pudiéndose conocer velocidades medias diarias, mensuales y anuales.

Existen diferentes tipos siendo los más utilizados los de Cazoletas (fig. 25), de Hélice (fig. 26), de Depresión (fig. 27) y de Hilo caliente (en el Anexo III se explica la construcción de dos anemómetros).

La veleta es un aparato que mide la dirección del viento respecto al Norte geográfico (fig. 28), pudiendo tener varias formas. Registra la dirección del viento en los 8 ó 16 rumbos de la Rosa de los Vientos. Cada rumbo, que se denomina por alguna o algunas de las cuatro letras de los puntos cardinales, abarca un sector de circunferencia de  $45^\circ$  o de  $22,5^\circ$ , según se elijan los 8 ó 16 rumbos como una unidad de medida.

Para medir el viento se necesitan una veleta y un anemómetro. Se debe medir la velocidad media en m/seg. y el rumbo, para determinar la Rosa de los vientos media.

### Previsión.

Vistos los métodos para determinar valores del viento en periodos largos y cíclicos,



veamos qué decían los tratados antiguos sobre su previsión.

El «*Tratado de Astrología Rústica Pastoral. Importante para labradores, pastores y navegantes*» decía que a través del Sol se conocerían los vientos. «*Si cuando el Sol naciere mostrase tener en sí alguna concavidad, señala vientos húmedos*». «*Cuando al salir el Sol se mostrase más grande de lo acostumbrado, señala fuertes vientos al tercer día*». También por medio de la Luna: «*Cuando la Luna se mostrase muy rubicunda tres días o después de su conjunción, o si tuviese algún círculo de dicho color, señala fortísimos vientos*». Las estrellas indicaban cosas parejas. «*Cuando las estrellas de noche parece que centellean mucho y aún parece que se mueven, señala recios vientos al otro día*». Las nubes: «*Cuando las nubes corren a diversas partes y ellas son muy delgadas o en el atardecer se volviere el cielo rojizo denotan vientos*». Incluso las aves y pescados: «*Cuando las golondrinas vuelan junto a la tierra o agua y con las alas van tocando el agua o la tierra, señalan vientos fortísimos*». Y las cosas sin sentido: «*Cuando el fuego centellea mucho, denota vientos*». «*Cuando las campanas sonaren más de lo acostumbrado es señal de vientos húmedos*». A pesar de parecer-nos raras, estas frases son el fruto de años de investigación popular y por lo tanto la mayor parte de las veces se cumplen.

En la actualidad se recurre a los mapas meteorológicos para la previsión de los vientos en los días siguientes. Normalmen-

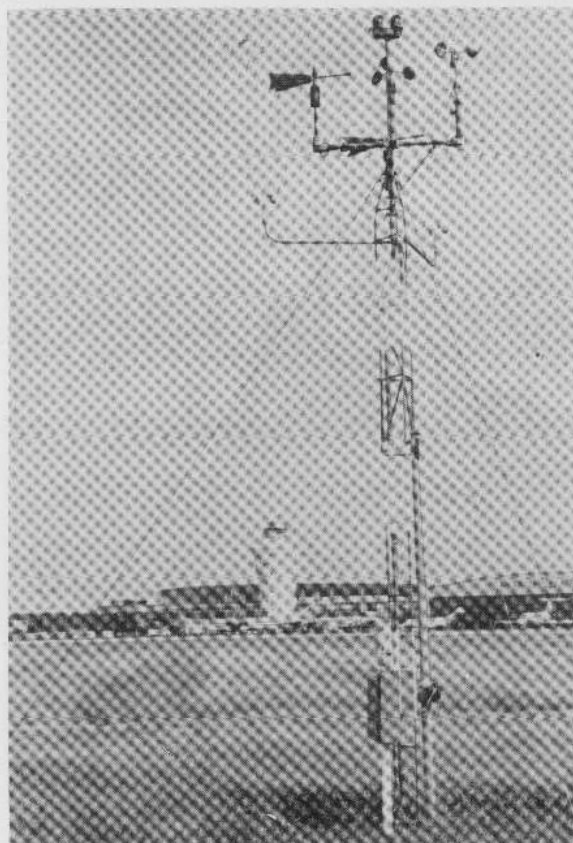


Figura 24. Anemómetro y veleta para registro de velocidad y dirección.

te fallan tanto como las frases anteriores ya que una cosa son las corrientes a unas alturas determinadas y otra a nivel del suelo.

Hay muchos periódicos que los publican y la mayoría son bastante imprecisos desde el punto de vista del viento. (fig. 29)

Para cuantificar el viento de una zona se

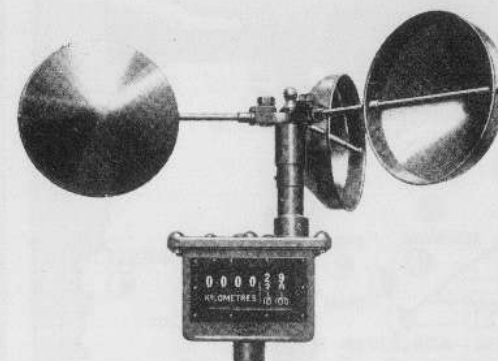


Figura 25. Anemómetro de cazoletas.

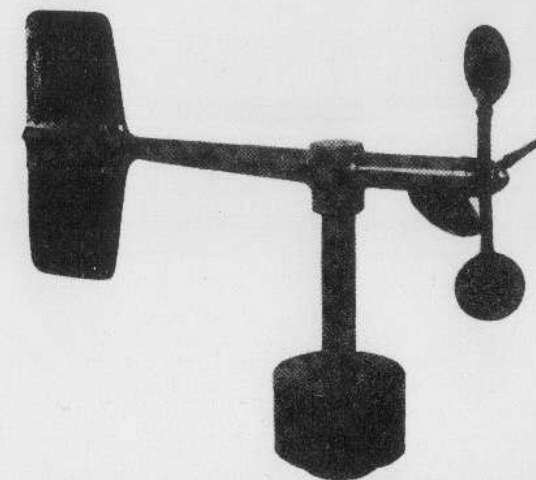


Figura 26. Anemómetro de hélices.

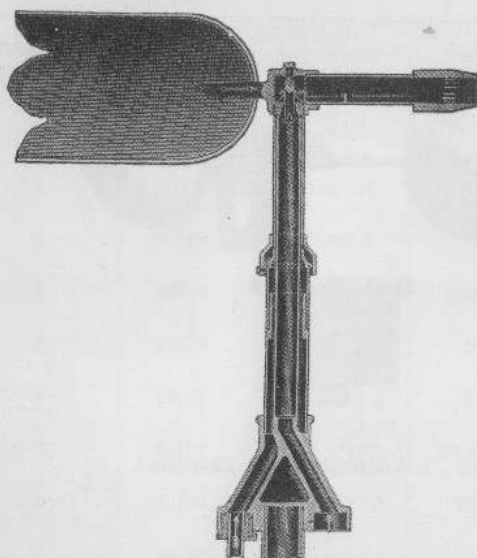


Figura 27. Anemómetro de depresión.

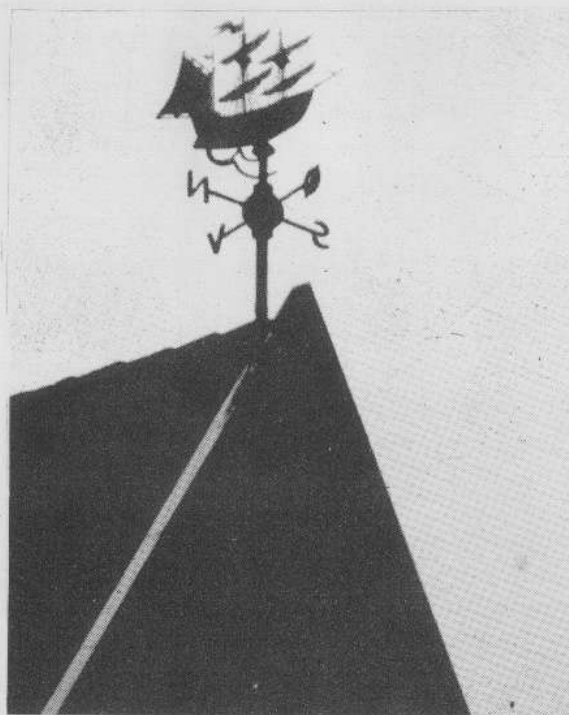


Figura 28. Velea.

tiene que recurrir a la medida de las velocidades medias anuales que se repiten cada año en más/menos un 10% y a la Rosa de los Vientos.

Con estos datos se puede predecir qué viento hará en los años siguientes y para obtenerlos es necesario que se mida el viento durante períodos de varios años. Normalmente se toman períodos de más de 11 años, aunque también son válidos períodos más cortos. Un año por ejemplo, es suficiente en la mayoría de los casos.

Se concluye, pues, que para conocer y predecir el viento en períodos cortos de tiempo, no hay métodos precisos, todos adolecerán de grandes errores, en cambio, para períodos largos (un año o más), el error es pequeño, caso de que se conozcan los valores medios anuales del viento.

#### Instituto Nacional de Meteorología.

Hemos visto que es necesario disponer de los datos de la velocidad media anual y de la Rosa de los Vientos. En la actualidad el organismo encargado de disponer de estos es el I.N.M. Constituido en los años 40, dispone de 132 estaciones de medida completas para la previsión meteorológica, pero no para medir los vientos de las zonas favorables. El viento se mide con anemómetros de cazoletas registrándose la velocidad en unas bandas de papel llamadas anemogramas, lo mismo se hace con la dirección. La altura media de los aparatos es de 7 m. sobre el nivel del suelo. El resto de estaciones meteorológicas mide el viento a ojo con la Escala de Beaufort.

Estos datos, si se precisan, pueden solicitarse al Servicio Meteorológico Regional (dependiente del INM). Además de estas estaciones, existen otras en algunas centrales de producción de energía y en los aeropuertos.

Actualmente el INM está realizando medidas puntuales de viento en el marco del «Mapa Eólico Nacional».

### Mapas Eólicos.

Estos valores de velocidad y dirección permiten determinar qué zonas tienen un viento más fuerte que otras y qué direcciones son las predominantes. En Catalunya el «Servei Meteorològic de Catalunya», que dirigido por E. Fontseré hizo los mejores estudios sobre el viento que se han hecho en España y que son aún hoy en día de gran valor científico.

Partiendo de todos estos datos se confeccionan los mapas de zonas de vientos de España (fig. 30 y 31). Estos sirven para determinar, en caso de que no se disponga de datos de una zona, la velocidad media anual y la dirección predominante. El margen de error es grande ya que la influencia del terreno hace que entre dos puntos separados por pocos metros la velocidad pueda ser el doble.

Lo realmente interesante de ellos es conocer cuantitativamente qué zonas son eólicamente favorables. Estas coinciden con las zonas ventosas. La del estrecho de Gibraltar, la de las Ribas Gallegas y la del Empordà (Catalunya), así como les Illes y Canarias. También existen zonas buenas en los altos de las montañas, en el valle del Ebro y en su desembocadura (a pesar de que en el mapa español no está nada bien indicado) y en otras regiones, la mayoría de zonas costeras, debido a los efectos térmicos ya descritos anteriormente, con velocidades de viento anuales superiores a 4 m/seg.

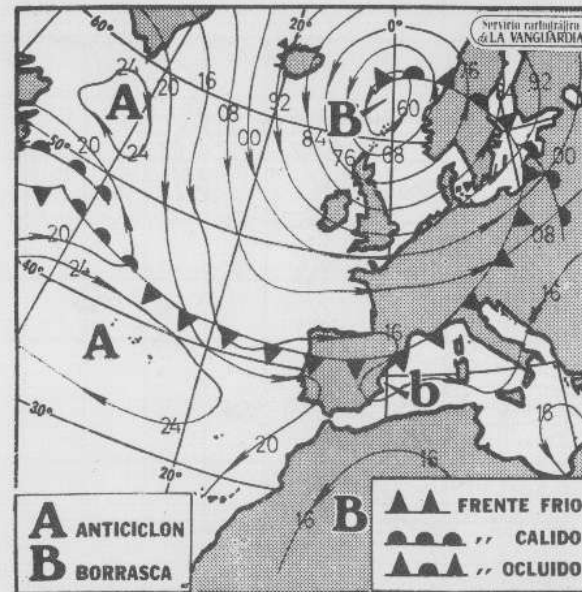


Figura 29. Mapas del tiempo (diarios).

### Curvas eólicas anuales.

Si pensamos aprovechar la energía del viento y utilizamos los valores de las velocidades medias anuales tendremos muchas imprecisiones en el cálculo.

Para la determinación y conocimiento exacto de los vientos así como de la energía obtenible, se necesitan las curvas eólicas siguientes:

- Curva anual de frecuencia de velocidades.
- Curva anual de duración de velocidades.





Figura 30. Velocidad media del viento en la península (en m/seg.).

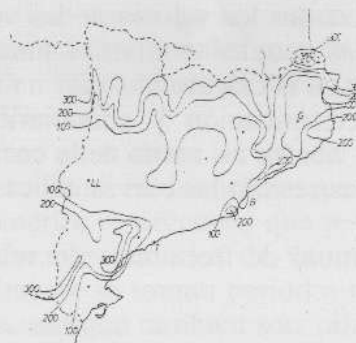


Figura 31. Potencia media anual en Cataluña (en  $W/m^2$ )

**Curva anual frecuencia de velocidades (fig. 32).**

Para determinar esta curva se debe conocer cuantas horas el viento a tenido una velocidad determinada (cuantas ha sido de 2 m/seg. o cuantas de 10 m/seg). Con esta curva podremos determinar las horas de funcionamiento de cada aparato. Pero para determinar la energía debemos luego sumar todas estas horas y por eso se utiliza más la curva de duración de velocidades.

**Curva anual duración de velocidades (fig. 33).**

Esta curva indica el número de horas al año en que la velocidad del viento es superior a un valor determinado. El área comprendida por la curva es proporcional a la energía del viento y por lo tanto, a mayor velocidad, mayor área. La curva no termina en las 8.760 horas sino que lo hace antes, esto es debido a que hay unos períodos de calma cuyo número de horas al año es igual a la diferencia entre las totales anuales y las correspondientes al punto de intersección de la curva con el eje horizontal.

Estas curvas son de difícil obtención puesto que el INM no hace esta tarea, primero por que no es un trabajo y segundo porque aunque quisiera, no podría hacerlo ya que sólo dispone de tres medidas de velocidad diarias (a las 7, 13 y 18 horas) necesitándose realmente 24 mediciones de velocidad que corresponden a la velocidad media horaria.

En la figura se ven diferentes emplazamientos, en concreto tres: A, B y C, cuyas velocidades medias anuales son de 11.5 y 3 m/seg. respectivamente.

La curva de duración de velocidades indica que para el emplazamiento A, al cabo del año, la velocidad del viento es superior a 10 m/seg. (36 Km/h.), unas 5.000 horas. En cambio en el B sólo hay unas 2.000 y en el C sólo unas 200.

La curva de frecuencias de velocidades (fig. 32) nos indica que el emplazamiento A ha tenido unas 300 horas con velocidad de 10 m/seg. (36 Km/h.), el B ha tenido unas 150 y el C unas 15.

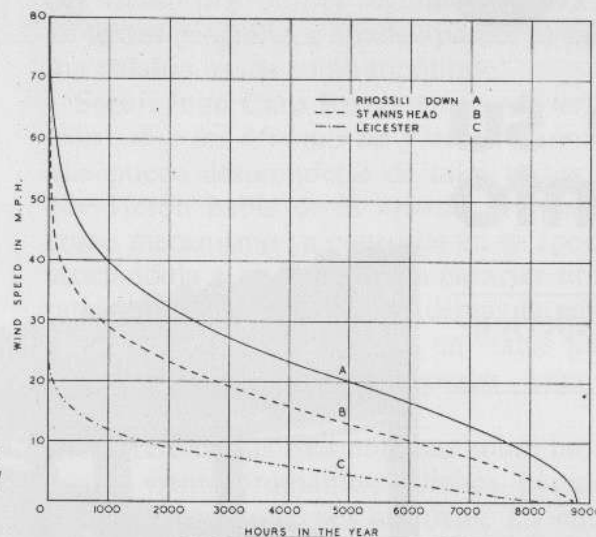


Figura 32. Curva anual de frecuencia de velocidades.

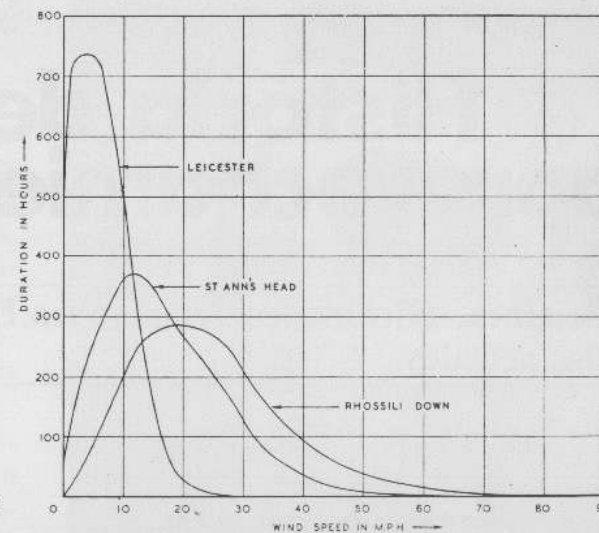


Figura 33. Curva anual de duración de velocidades.

# 3

## Historia de su aprovechamiento

Orígenes. Historia contemporánea. Experiencias actuales.





## ORÍGENES DE LA ENERGÍA EÓLICA

Las primeras referencias que se tienen con respecto al aprovechamiento de la energía eólica son unos dibujos en los que se observa una embarcación a vela, navegando por el río Nilo (fig. 34). Datan de unos 5.000 años antes de nuestra era.

También la civilización sumeria empleaba barcos a vela en sus desplazamientos por los ríos Tigris y Eufrates y por el golfo Pérsico unos 4.000 años antes de la era actual. Thor Heyerdal construyó en Irak la embarcación «Tigris» a base de juncos (fig. 35) y viajó desde las Costas de Omán hasta la entrada del mar Rojo (1977-78) intentando demostrar que estas civilizaciones podían haber utilizado la navegación a vela.

Algunos autores afirman que en épocas tan remotas como 600-400 años antes de nuestra era, se usaban molinos de eje vertical para bombear agua en lo que hoy es Persia. Otros autores se remontan al año 1700 anterior a nuestra era, afirmando que el emperador Hammurabi de Babilonia pensaba usar la energía del viento para sus ambiciosos proyectos de irrigación.

También algunos autores defienden que la civilización griega de los siglos I y II de nuestra era conocía el molino de viento. Se basan en dos argumentos: el primero se refiere a que en un texto de carácter técnico de Herón de Alejandría aparece la palabra griega «anemurion» al describir un artefacto que emite sonidos mediante la acción

del viento (fig. 36); el segundo, basándose en textos geográficos donde aparece la misma palabra usada como topónimo.

Según Julio Caro Baroja en su «Disertación sobre los Molinos de Viento» lo único que puede desprenderse de tales textos es que Herón habla de la «rueda de viento» como mecanismo ya conocido en su época, asociándola a un ingenio sin carácter utilitario: un juguete musical. Además la palabra «anemurion» empleada en textos geográficos seguramente designaba lugares muy ventosos.

Las referencias más antiguas sobre molinos de viento propiamente dichos, parecen apuntar hacia orígenes asiáticos. La enciclopedia histórica y geográfica titulada «Muruj aldhaha wa ma'adin al-juwahir» cuyo autor fue Abu-Hassan'Ali ibn al-Hou-sain ibn'Ali al-Mas'udi, y que fue escrita en el año 944 de nuestra era y revisada en los años 956-957, deja irrefutablemente claro que en aquella época existían molinos de viento en el Sijistán (zona comprendida entre lo que hoy son Persia y Afganistán).

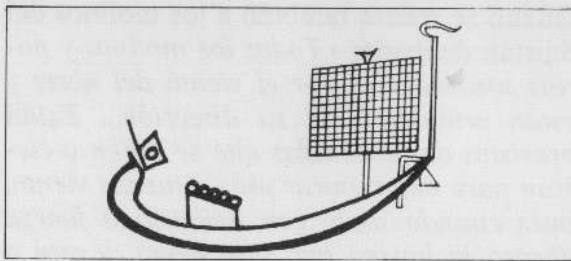


Figura 34. Grabado egipcio de una embarcación

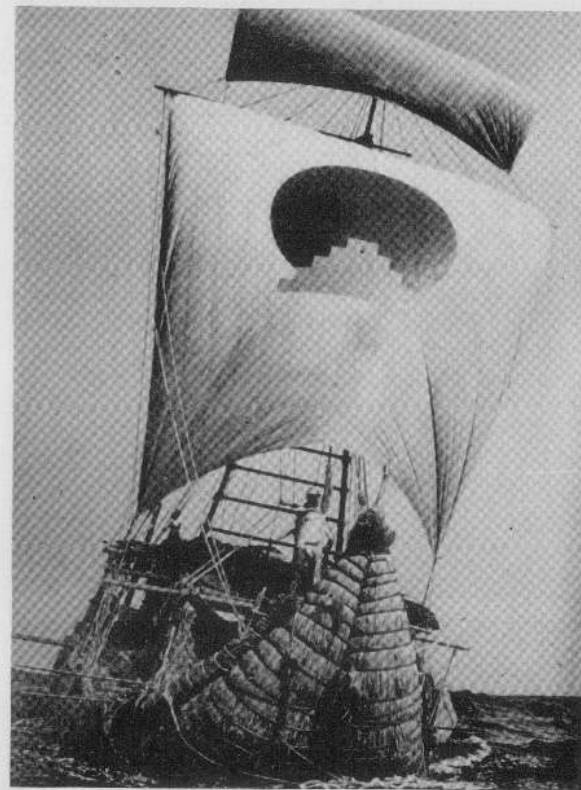


Figura 35. Embarcación Tigris.

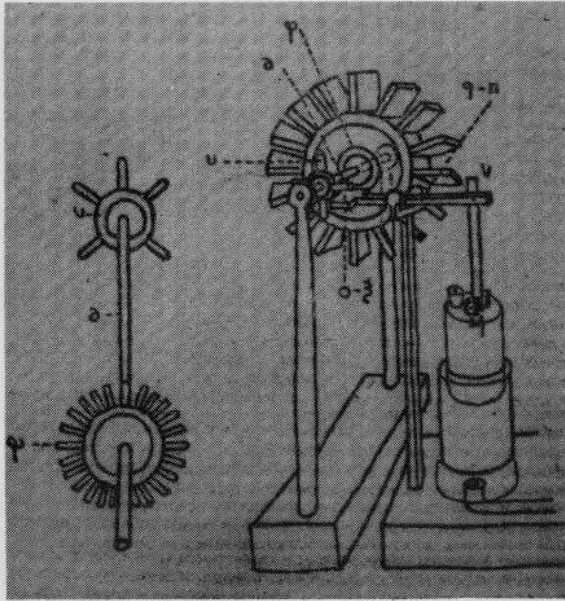


Figura 36. Artefacto mecánico de Herón de Alejandría.

También Baroja, cita una obra de Al-Mas'udi titulada *«Las Praderas del Oro»* en la que se puede leer: *«El Sijistan es, por excelencia, el país de los vientos y de las arenas; es famoso por la industria que emplea el viento para mover muelas y para sacar agua de los pozos con la que luego riegan los jardines»*.

En el mismo siglo (X) otros autores árabes mencionan los molinos del Sijistan. Entre ellos Shamsu'd-din abu Abdullah Mohammed ibn Ahmad ibn Abi Bekr al-Banna al-Basschari al-Mokkaddassi, Abu Ishad Ibrahim ibn Muhammed al-Farisi al-Istakhri, Abu'l-Masim Ibn Hawkal.

Al-Farisi, geógrafo que vivió por el año 950 dice: *«El suelo del Sijistán es estéril y arenoso, el terreno uniforme,... El viento sopla sin interrupción y tiene la fuerza suficiente para hacer mover las muelas que los habitantes han colocado en todas partes.»*

Ibn Hawkal, también geógrafo, dice: *«Los vientos del Sijistán son hasta tal punto intensos y continuos que los habitantes de aquella zona han levantado molinos que se mueven a su impulso.»*

Un autor de época más tardía (1412), Al-Guzuli se refiere también a los molinos del Sijistán diciendo: *«Todos los molinos y norias son movidos por el viento del norte y están orientados en su dirección... Están provistos de ventanillas que se abren o cierran para dejar entrar más o menos viento, pues cuando sopla con demasiada fuerza abrasa la harina que sale negra, y aun a veces las mismas muelas se ponen incan-*

*descentes y se deshacen en pedazos»*.

Este fuerte viento, denominado *«badi sad ubid ruz»* (que sopla continuamente durante 120 días) empieza a soplar entre primeros de mayo y mediados de junio y dura hasta finales de septiembre con dirección de N a W a más de 100 Km./h.

Estos molinos están formados por una torre cuadrangular situada verticalmente en cuyo interior se ubican las palas. Están provistos de 8 aspas que se instalan detrás de un estrechamiento en forma de cuña, por el interior del cual pasa el viento. Las aspas están colocadas en torno a un eje vertical cuya parte inferior acciona la muela (fig. 37)

Según el mismo Caro Baroja existen razones para pensar que la invención de los molinos de eje es preislámica. Caro dice textualmente: *«es muy probable que mucho antes del siglo X, existieran molinos de viento de eje vertical y cabe hacer muy lícitamente, la conjetura de que algún ingeniero del imperio sasanida, familiarizado con la mecánica helenística y grecoromana, tuviera la idea de aplicar la extraordinaria y periódica fuerza del aire de la Drangiana, con su dirección única, a un fin utilitario»*.

Existe una anécdota citada por Caro Baroja y Washington Irving relativa a que el asesino del califa Omar se ofreció para construir un molino de viento (el asesinato ocurrió en el año 644). El asesino era un persa mazdeista (el imperio sossanida fué derrotado por el Islam en el año 651). Ello parece probar que los persas ya conocían

tales molinos en esta época.

Ingenios parecidos a los molinos del Sijistán son citados por exploradores y viajeros en China en épocas relativamente lejanas como 1655. Eran artefactos movidos por velas colocadas en relación a un eje vertical (fig. 38). Se usaban sobre todo para elevar agua en las salinas. A diferencia de los persas, éste molino se mueve bajo el impulso de cualquier viento.

La relación que pueda existir entre dos tipos de máquinas no ha sido aún puesta en claro.

Por lo que hace referencia a los primeros molinos europeos, muchos autores están de acuerdo en que fueron inventados alrededor del siglo XII y que los primeros textos que aluden a tales ingenios datan de ésta época.

Baroja cita un artículo titulado «Moulin» del «Dictionnaire d'Achéologie chétienne et de Liturgie». Es del año 1105 y en él se hace referencia a un documento del conde Mortain autorizando al Abad de Savigny la instalación de un «*Molendium ad Ventum*».

En Normandía el registro más antiguo sobre molinos de viento aparece en 1180; en el Sudeste de Inglaterra en 1191 y en el Sudoeste de Bélgica en 1197. Según J.C. Notebaart el triángulo formado por Normandía, SE de Inglaterra y SW de Bélgica debe considerarse la región de Europa cuna de los molinos de viento.

No obstante las primeras reproducciones de molinos aparecen en el siglo XIII.

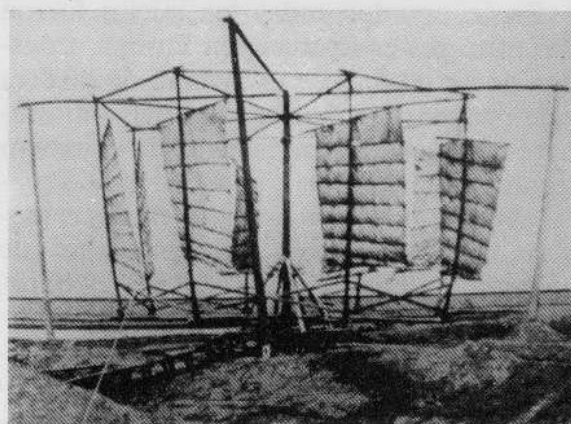
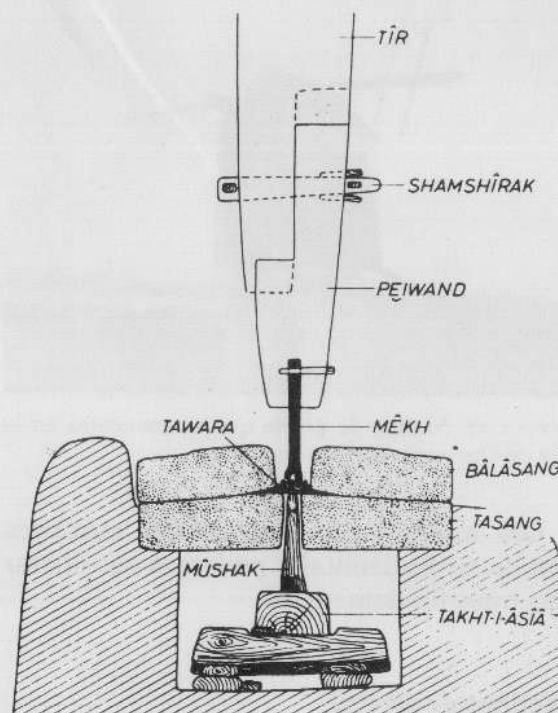


Figura 37. Molino Afgano-Persa.

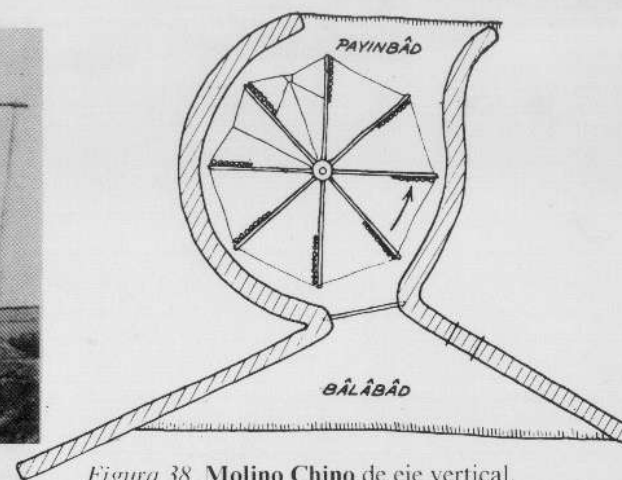
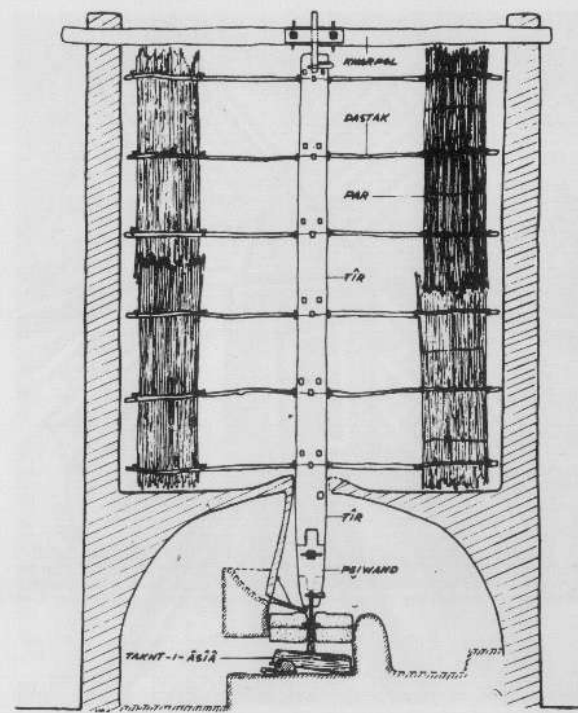


Figura 38. Molino Chino de eje vertical.



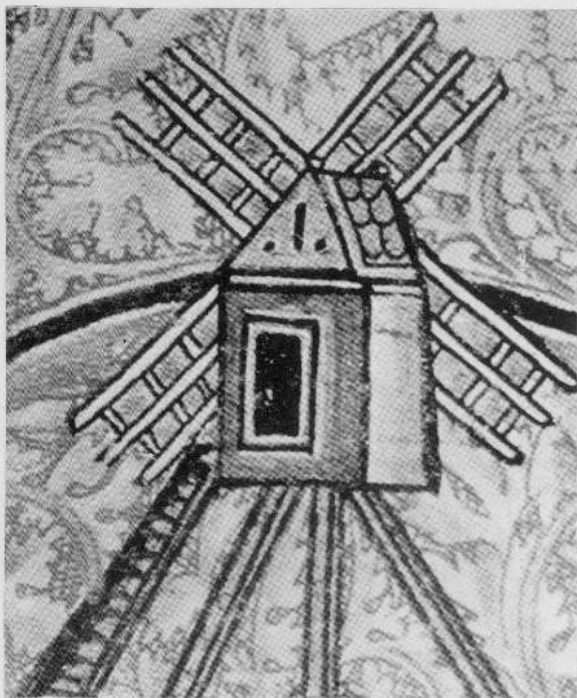


Figura 40. Molino de trípode.



Figura 39. Molino de pivote que se encuentra en la isla de Ouessant (Bretaña francesa).

Los molinos que llamaremos europeos son de eje horizontal y podemos considerar tres tipos fundamentales.

#### Molinos de pivote.

Según apuntan todos los inicios fueron los primeros en aparecer en Europa. Constata de un poste y de un recinto de madera que contiene las muelas y los ejes transmisores de la energía captada. Todo el recinto giraba sobre el poste siendo orientado manualmente. Las primeras ilustraciones gráficas de estos molinos son miniaturas que ilustran la «Física» de Aristóteles (publicada en Inglaterra en el S. XIII) y los «Decretales» de Gregorio IX (siglo XIV); o también esculturas sobre madera, como la conservada en un banco de la Iglesia de Torham (Norfolk). Un esquema de molino de

pivote aparece reproducido en la obra de Jerónimo Cardan (1501-1576) «*De rerum varietate*».

En la actualidad, casi no existen molinos de éste tipo, pudiendo ser uno de ellos el ilustrado en la figura (39.), que se conserva en la isla de Ouessant (Bretaña Francesa).

#### Molinos de trípode.

Paralelamente a los molinos de pivote se construyeron los denominados de trípode, ya que en su parte inferior el pivote estaba sujeto por unas barras de madera en esa forma.

La ilustración más antigua que se conserva es la miniatura de un psalterio de 1920 (fig. 40). Hacia 1430 un «ingeniero» hussita hizo un croquis en el que se detallan sus partes constituyentes. Tales molinos aparecen reproducidos a menudo en las pinturas de maestros flamencos (S. XV-XVII) que se pueden contemplar en el Museo del Prado. (fig. 41)

Más tarde aparecieron los que podemos denominar de «Trípode recubierto» en los que la base se aprovecha como almacén de grano (fig. 43)

#### Molinos de torre.

Algunos autores relacionan la invención o difusión de los molinos con las Cruzadas basándose en la coincidencia de que la 2ª y

3ª Cruzadas tienen lugar en el momento en que los molinos empiezan a conocerse en Europa.

Según Caro Baroja, la referencias que han llegado hasta nosotros de los molinos de torre, son más modernas que las de los molinos del Sijistan o de pivote o trípode.

En la Edad Media se hallan ubicados los molinos de torre en las plazas fuertes cristianas ocupadas por caballeros de las órdenes que se desarrollaron después de las cruzadas.

A partir del siglo XVI los molinos de torre penetran en Europa septentrional.

No sólo se utilizaron los molinos de viento para moler grano sino que, al igual que en Persia, los molinos europeos se dedicaron a bombear agua. Alrededor de 1350 se empiezan a usar aeromotores para desecar zonas húmedas situadas bajo el nivel del mar. Otras aplicaciones de la energía del viento fueron: molinos de aceite (el primero se construyó en Holanda en el año 1582), de pasta de papel (construido en el año 1586), etc. También en el siglo XVI se usó la energía eólica para accionar industrias de la madera.

Se encuentran descripciones de artefactos eólicos en obras de diversos ingenieros de aquella época. Así, en el libro *«Téâtre des instruments mathématiques et mécaniques»*, Jacques Bresson (1578) describe una máquina de eje vertical que acciona una noria (fig. 44). También Agostino Ramelli (1588) describe, en *«Le diverse et artificione machine»* un ingenio eólico para ali-

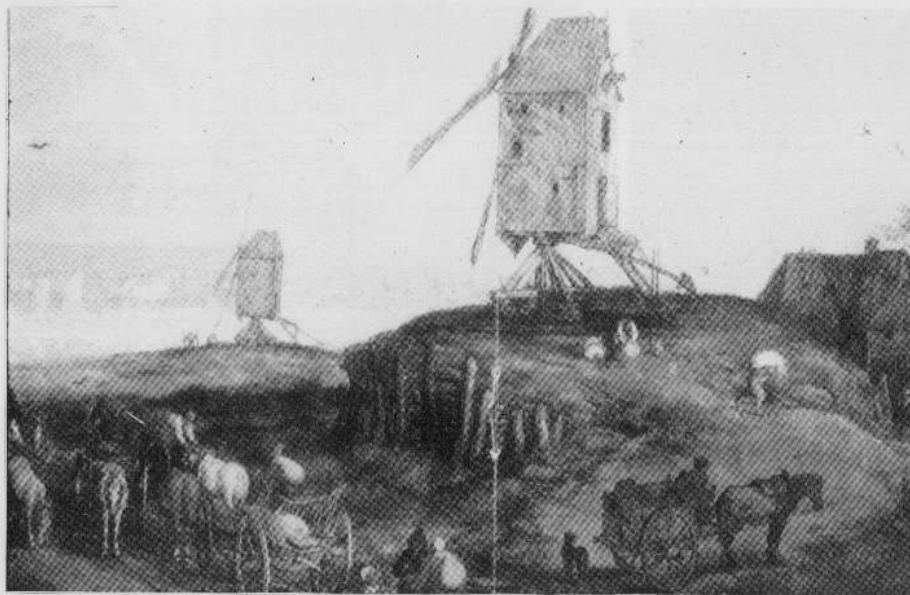


Figura 41. Pintura de Jan Breughel del siglo XVII.

mentar una fuente decorativa con una noria doble.(fig. 45)

Asimismo en *«Theatrum machinarum novum»* André Bäckler (1686) describe una aeromotor que acciona una noria mediante un doble juego de engranajes.

Entre los años 1608 y 1620, se drenó el Polder de Beemster que estaba situado 3 metros bajo el nivel del mar, mediante 26 molinos de hasta 50 CV cada uno, trabajando en dos niveles. El Polder de Scherner fué drenado en 4 años: 14 molinos bombeaban agua hacia un depósito intermedio a razón de 1.000 m<sup>3</sup>/minuto y 35 molinos más la bombeaban desde el depósito hasta el mar del Norte. (fig. 46)



Figura 42. Escudo de armas de la asociación de molineros de Copenhague (1648).



Figura 43. Molino de trípode recubierto.

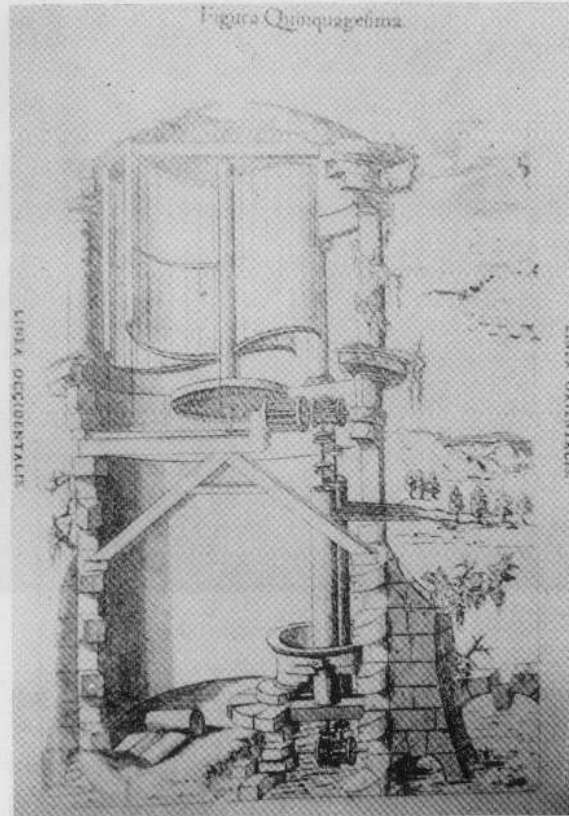


Figura 44. Molino de eje vertical descrito por Jacques Bresson (1578).

Si bien puede afirmarse que la estructura de los molinos de viento no cambió mucho desde el siglo XV hasta el XVIII, es a partir del 1700 cuando empiezan a realizarse mejoras tecnológicas.

Ya en el año 1724 Jacob Leupold, de Leipzig, describe en su obra *«Theatrum machinarum Hydraulicarum»* un aparato eólico con regulación automática mediante

palas orientables y resortes. El aeromotor accionaba una bomba de pistón de efecto simple. (fig. 47)

También Belidor, en el año 1739, publicó *«Architecture Hydraulique»*, en donde se describen aeromotores que alguien ha considerado como precursores de los modernos aerogeneradores. (fig. 48)

Es en el mismo siglo XVIII, cuando se inventa un dispositivo para la orientación automática de los molinos (fig. 49). Su inventor fué Edmund Lee (1745) según unos o Andrew Meikle de Dunbar (1760) según otros, el cual inventó también las aspas de tipo persiana.

En el año 1759 el inglés Smeaton presentó a la Royal Society su memoria titulada *«On the construction and effects of Windwill sails»* resultado de sus experiencias con modelos a escala reducida.

La energía extraída del viento no sólo se utilizó para accionar artefactos, moler grano, bombear agua, etc., sino que, al igual que en sus orígenes, se empleó en la navegación a vela. Ya los vikingos alrededor del año 1000 llegaron a Groenlandia, impulsados por el viento, e incluso algún proyecto francés de invasión de Inglaterra se basaba en máquinas flotantes impulsadas por la acción del viento sobre unas aspas de molino las cuales transmitían el movimiento a una rueda de palas (fig. 50). Este artefacto bien pudiera considerarse como precursor de los modernos *«hover-craft»*, también llamados en castellano aerodeslizadores.



# ORÍGENES DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN LA PENÍNSULA IBÉRICA Y BALEARES

Las referencias más antiguas de que se puede disponer acerca de los molinos de la península son de la época del Califato de Córdoba. Así E.E. Lévi-Provençal, hablando del Califato en el siglo X en su obra *«L'Espagne musulmane au X siècle. Institutions et vie sociale»* manifiesta: «los molinos eran numerosos en el campo, los había de viento y, sobre todo, de agua en los ríos». En otra obra suya *«La péninsule Ibérique au moyen-âge d'après le Kitab ar-rad al-mi 'Tar fi habar al-aktar d'Ibn Abd Mun'im al-Hynyari»* dice: «una de las curiosidades de Tarragona consiste en los molinos de viento que fueron montados por los antiguos; funcionan cuando sopla el viento y se para cuando este cesa».

Lo que no puede decirse es que estos molinos tan tempranos fueran del tipo torre ¿serían de eje vertical?

En cambio parece poder afirmarse que los molinos de torre ya eran conocidos alrededor del año 1300 en la parte cristiana de la península y, según Caro Baroja, fueron levantados en oscuros períodos de la Edad Media.

El arcipreste de Hita, en su *«Libro del Buen Amor»* (1330) repite un par de versos: «Fazen con mucho viento andar las atahonas». El vocablo «tahuna» es usado ya por los primeros autores árabes al describir los molinos del Sijistan.

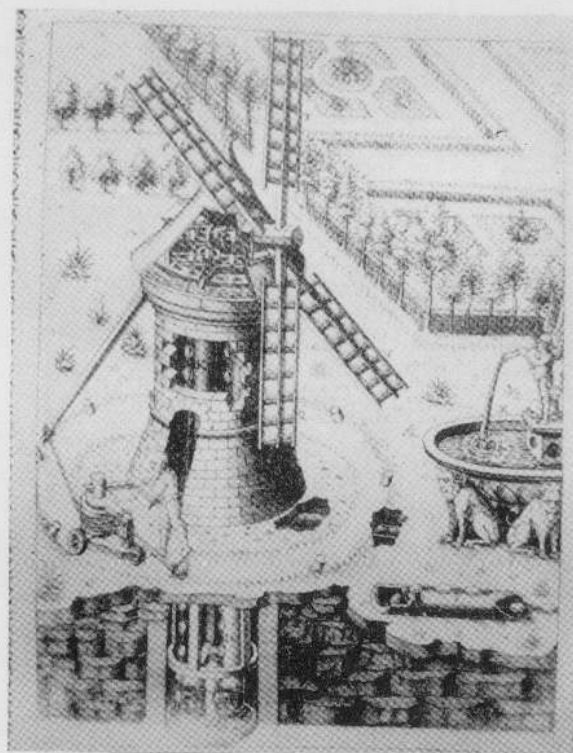


Figura 45. Molino accionado por una noria (1686).  
accionando

A principios del siglo XVI el molino de torre era ampliamente conocido según se desprende de las *«Relaciones topográficas»* reunidas por orden de Felipe II.

Es popularmente conocida la frase que Cervantes introdujo en el Quijote: «en esto descubrieron 30 ó 40 molinos de viento que hay en aquel campo» posiblemente refiriéndose a los que había en el Campo de Criptana.

Las primeras ilustraciones gráficas refe-

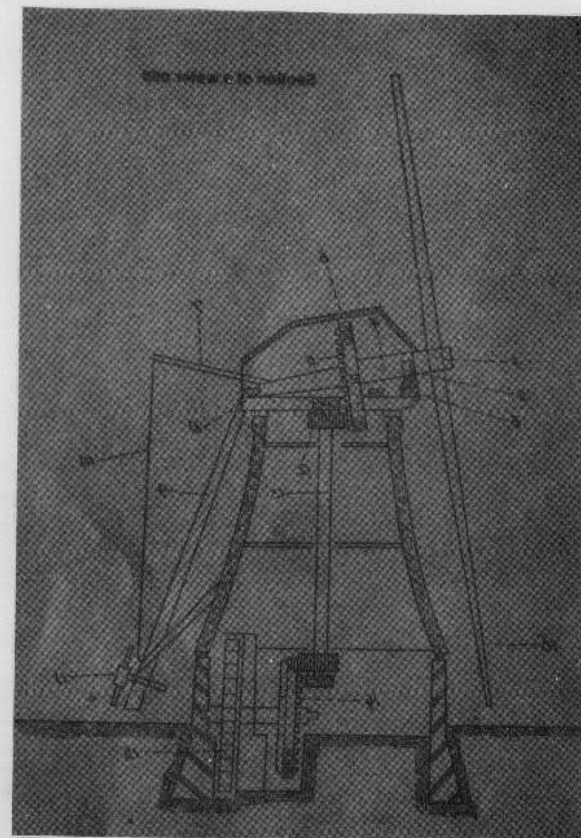


Figura 46. Esquema de molino holandés.

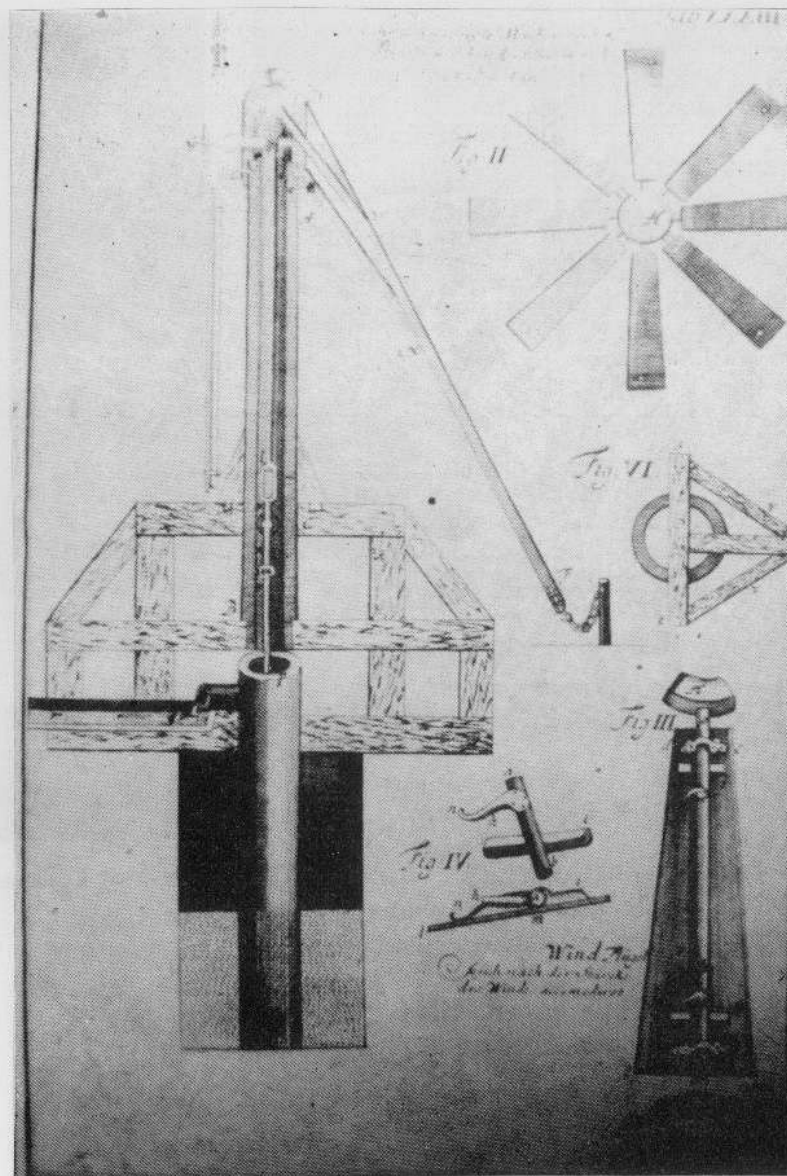


Figura 47. Artefacto eólico de palas orientables descrito por J. Leopold

rentes a molinos de torre en la Península, según J. Caro Baroja, son: un plano de Madrid de Pedro de Texeira (1656) en el que aparece un molino de aspas junto a la puerta de Sta. Bárbara y un molino de aspas en Bujaraloz (1668).

Aparte de los molinos portugueses en la Península se desarrollaron básicamente tres tipos de molinos: los manchegos, los andaluces y los cartageneros.

### Los molinos de la Mancha.

En la crónica de la provincia de Ciudad Real de José de Horta (1865) se puede leer «lo que más abunda de un modo sorprendente son los molinos de viento, pues casi no hay cerro o pequeña eminencia en donde no se presenten aquellas formidables aspas...»

Los molinos manchegos son cilíndricos, de mampostería, con una cubierta cónica de tablas. Tienen una puerta de acceso y varias ventanillas. De la cubierta sale un grueso tronco: el eje, al que se traban las 4 aspas. Cada una junto con otras 4 varas paralelas y 18 travesaños, constituyen el armazón al que se sujeta la vela. En el interior de la torre suele haber tres pisos: el inferior para almacenar los sacos de trigo no molido, el superior donde está la muela que tritura el grano y el intermedio donde cae la harina. (fig. 51.)

## Los molinos andaluces.

De los molinos andaluces pueden destacarse dos tipos: los de Cádiz y los de Huelva.

La estructura de los molinos gaditanos (Conil, Vejer de la Frontera), recordaba bastante a la de ciertos molinos portugueses.

También parecidos a estos eran los de la comarca de Andévalo (Huelva). Así en la Puebla de Guzmán había en los años 30 unos 20 molinos, que funcionaban todos por el 1880 y que, en un día de buen viento, molían 24 fanegas de trigo (unos 1.000 Kgr) cada uno. Cada fanega era suficiente para hacer 28 panes de Kilo y medio. Eran molinos de piedra y barro, con muros de 7 metros de altura (10 m. con el tejado). En la base el diámetro exterior era de 8 metros y los muros de 1,5 metros de espesor. Tenían una puerta de entrada y mediante una escalera se subía a un único piso. Del eje saliente del tejado salían 8 varas (4 soportaban la vela y 4 la mantenían tensada). De la punta del eje de las aspas, salía un cable que se utilizaba para orientar el ingenio en la dirección del viento.(fig. 52)

## Los molinos del Campo de Cartagena.

Sólo en el término de Algor, que tiene unas 8.000 Ha., parece ser que había unos 120 molinos. A diferencia de los dos tipos anteriores (manchegos y andaluces) fueron

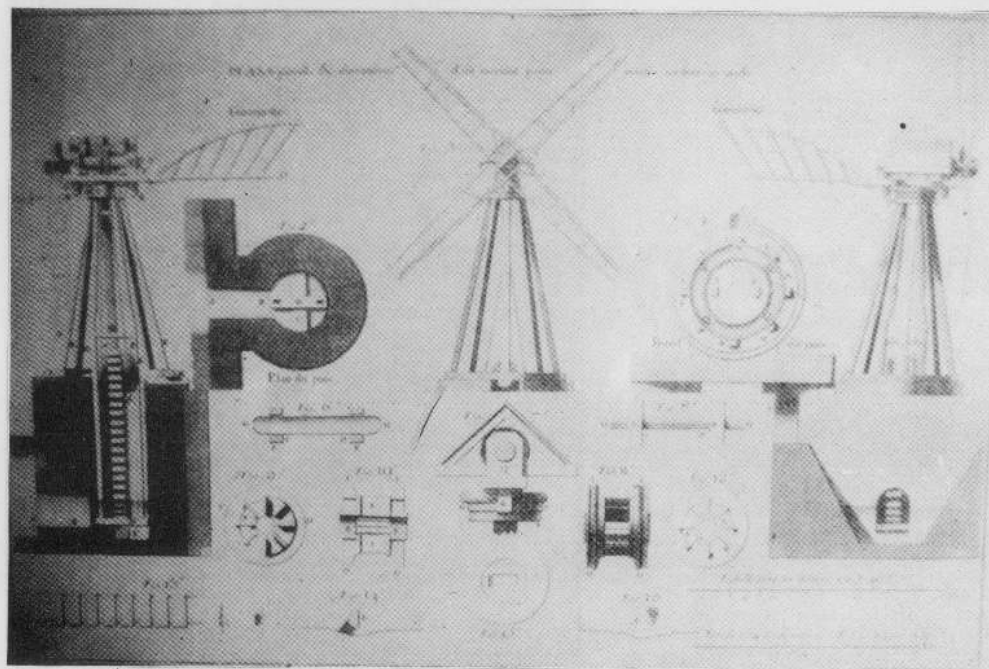


Figura 48. Aeromotor descrito por Belidor (1739).

utilizados para la irrigación. Tenían una base circular con la torre de piedra a uno de cuyos lados se hallaba la rueda de arcabuces. El agua bombeada, iba por un pequeño canal a un depósito de diámetro parecido al de la base del molino. Los viejos tenían 8 aspas con otras tantas velas triangulares. Los más nuevos tenían 10 aspas.(fig. 53)

Se ha puesto en funcionamiento alguno de ellos para recuperar el petróleo con que se ha contaminado algunos acuíferos de la zona.





Figura 49. Dispositivo automático de orientación.



Figura 50. Máquina flotadora

### Los molinos de las Baleares.

Además de los molinos Peninsulares, se desarrollaron en gran manera acormotores en las Baleares.

Según Francesc de Barja Moll la nomenclatura de los molinos de viento tiene como nota distintiva el carácter eminente romántico de sus componentes y no contiene ni una sola palabra de procedencia árabe. Se refiere a los molinos de torre estudiados por él mismo.

Parece ser que en el momento de la conquista de las islas no existían aún molinos de torre, según puede desprenderse de los *«Capitols de moliners i traginers»* promulgados en 1436 y en donde para nada se habla de molinos de viento. No obstante, consta documentalmente la existencia de un molino en el año 1395 en la ciudad de Mallorca, cerca de la puerta de «St. Antoni». Pero no se puede afirmar con certeza si era de tipo persa o de tipo mediterráneo.

En el museo diocesano de Mallorca existe un bonito retablo (1468) de la escuela flamenca en el que aparece un molino de viento con torre cilíndrica, cubierta cónica móvil y 6 aspas. (fig. 54)

Los molinos de las Baleares son muy parecidos a los de Sicilia y a uno que aparece en un croquis medieval de la ciudad de Rodas de finales de siglo XV (fig. 55).

Citando a M. Sanchís Guarner: *«el molinar més conegut és el del Jonquet al raval de Sta. Catalina, al ponent de Palma, els molins de vent del qual, figuren ja en el bell*

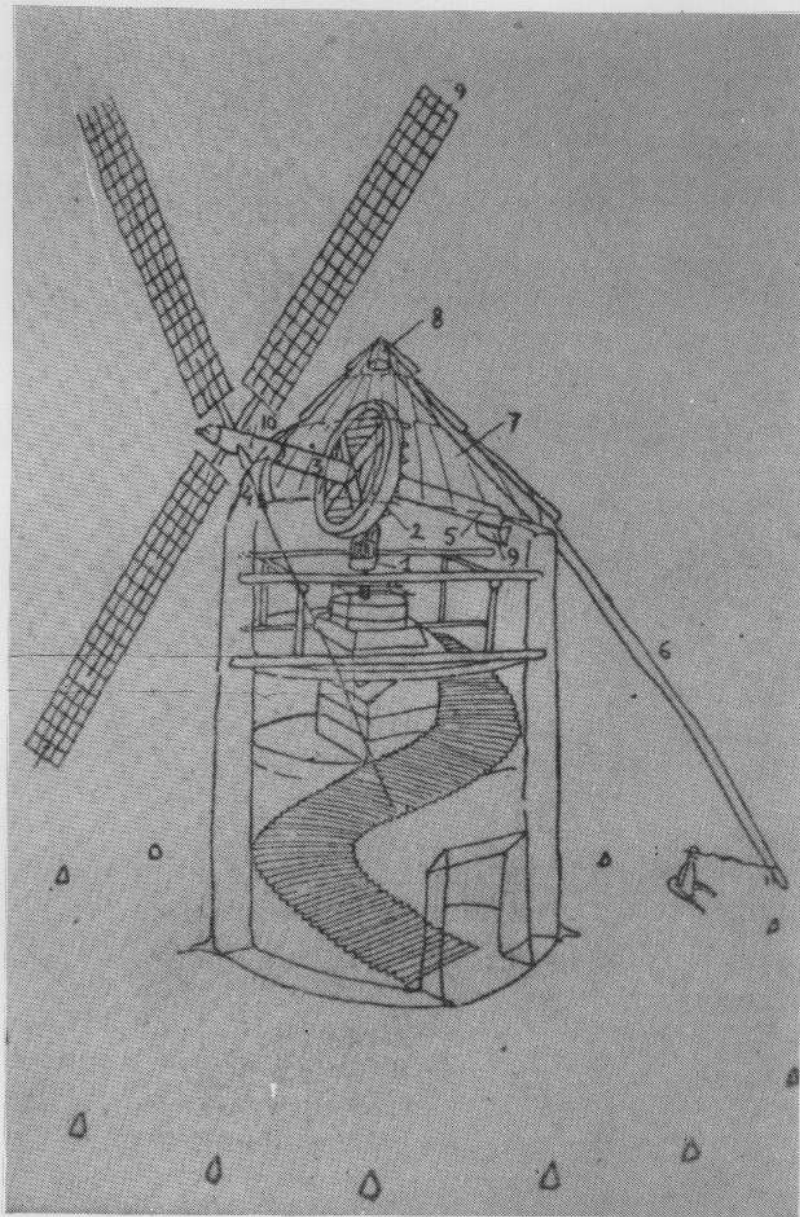


Figura 51. Molinos manchegos.

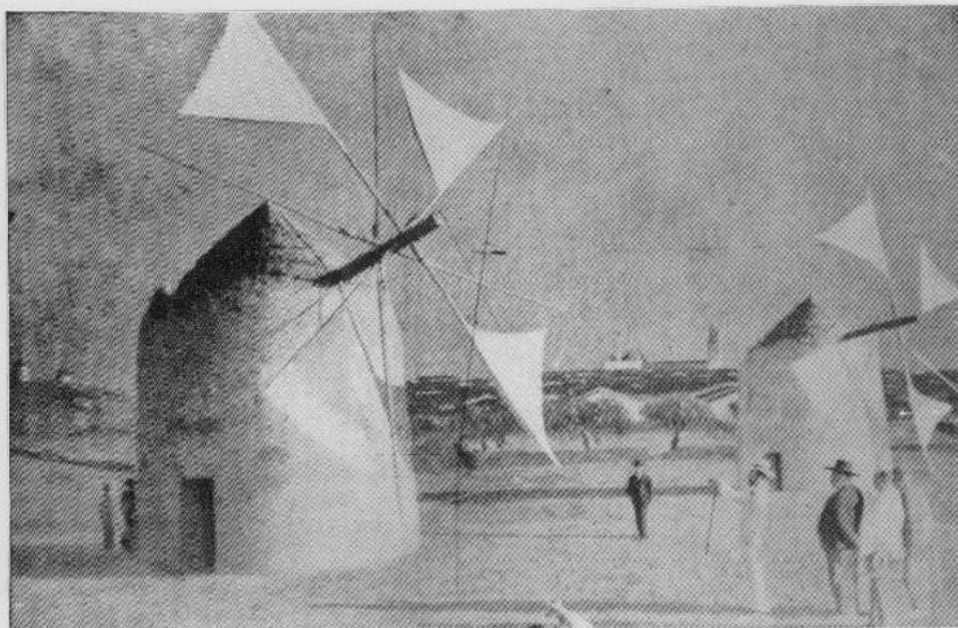
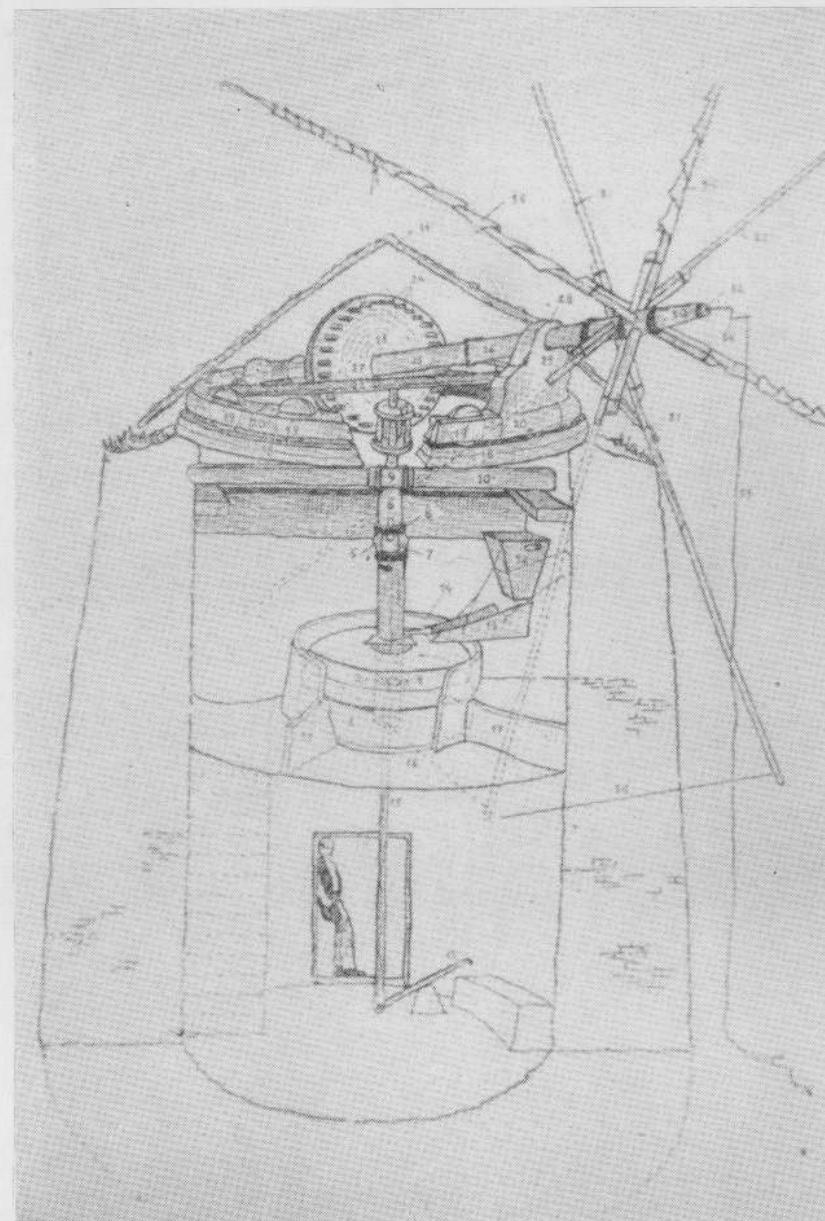


Figura 52. Molinos de la Puebla de Guzmán.





*i curios plà de la Ciutat de Mallorca, confeccionat l'any 1644 per Antoni Garau».\**

Estos mismos molinos del Jonquet son citados ya en un documento de 1860.

Ya en el siglo XVIII los molineros que venían cuidando de los molinos de viento estaban constituidos en gremio.

En cambio, los molinos de viento no se introdujeron en Ibiza hasta mediados del siglo XIX. La fecha más antigua que Spelbrink llegó a encontrar en un molino ibicenco es la de 1840 en San Antoni.

Según Moll existían centenares de molinos de viento de torre hacia el año 1884, mientras que en el año 1933 estaban ya en trance de desaparecer, lo que sucedió a consecuencia del riguroso intervencionismo del estado durante los años siguientes a la guerra civil.

El molino de las Baleares tiene bastantes variantes. Generalmente estaba dispuesto en filas de 5 o más (fig. 56). Sus torres de base circular (con un diámetro interior aproximado de 3,5 m.) se asentaban sobre una base mucho más ancha (circular, cuadrangular o romboidal). Las paredes tenían un grosor de 60-70 cms.

La torre tenía una cubierta móvil cónica recubierta de juncos. El molino solía tener 3 ó 4 pisos. La altura de la torre oscilaba de 8 a 10 m. sin la cubierta. En Menorca y generalmente en Mallorca la torre estaba ubicada encima de la vivienda del molinero, con una terraza que servía para colocar las velas sobre las aspas del molino.

Las aspas o antenas, generalmente 6, es-

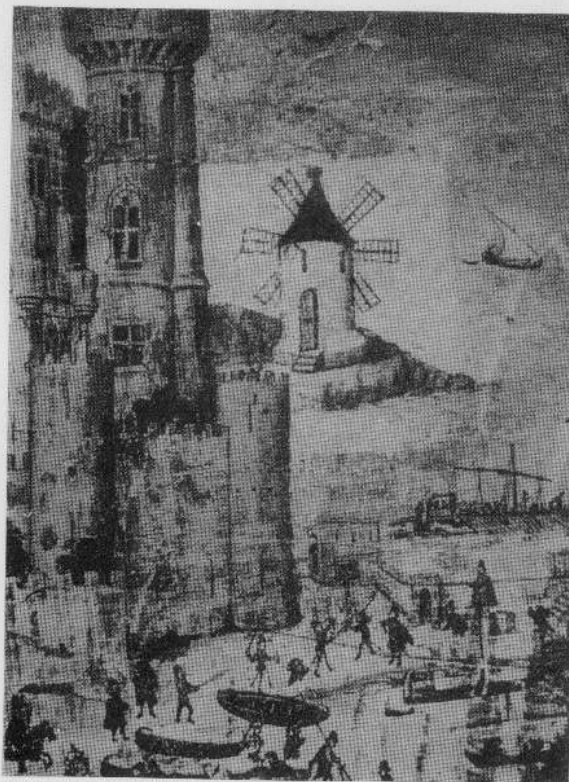


Figura 54. Retable flamenco (1468).

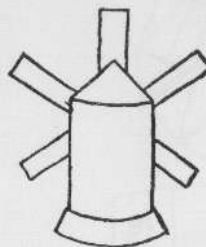


Figura 55. Molino de la ciudad de Rodas (Siglo XV).

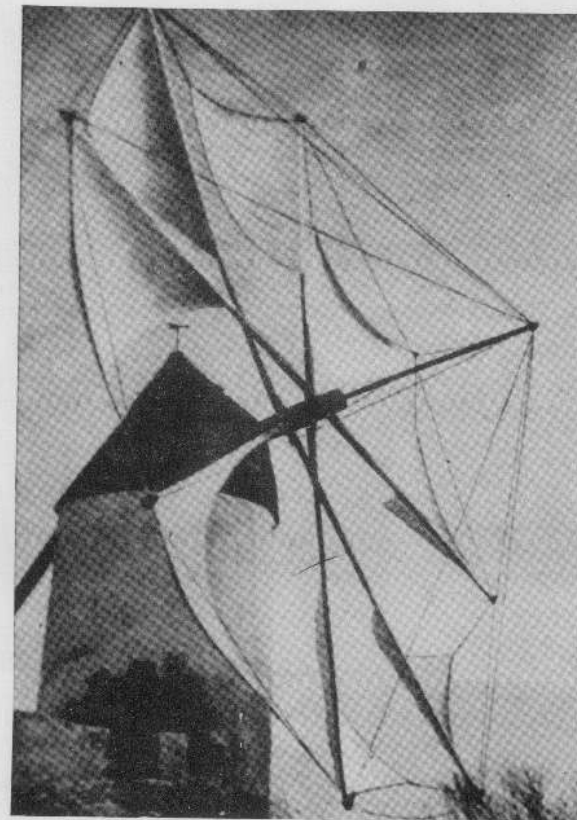


Figura 53. Molino cartagenero.

\*«El molinero más conocido es el de Jonquet, en el barrio de Sta. Catalina, a poniente de Palma, los molinos de viento del cual, figuran ya en el bello y curioso plano de la Ciutat de Mallorca, confeccionado en el año 1644 por Antonio Garau».

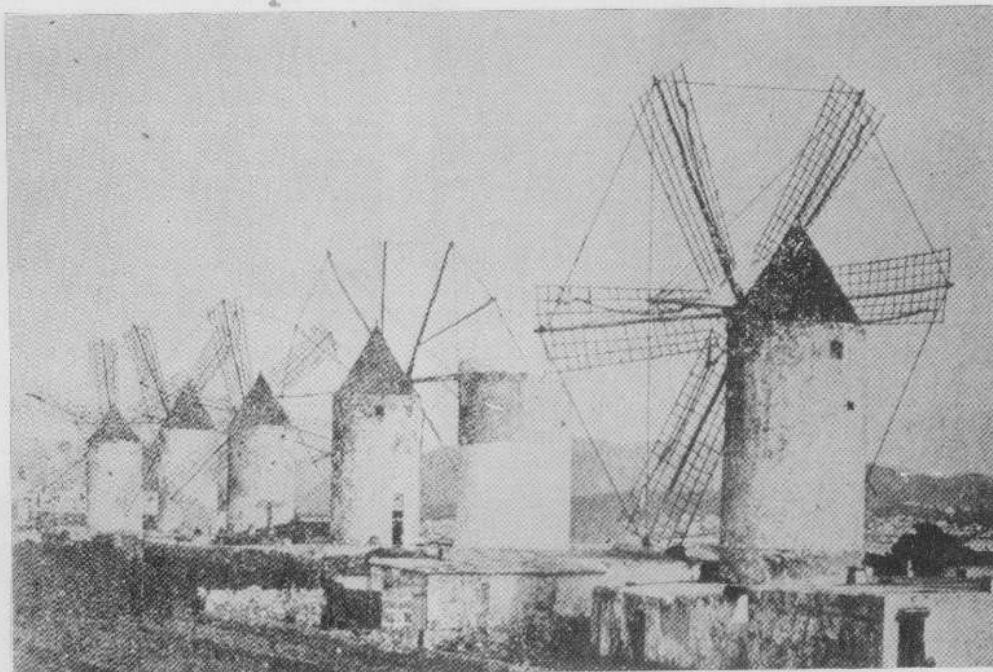


Figura 56. Molino de Palma.

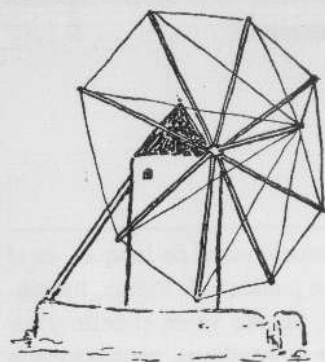


Figura 58. Molino de Alcudia.

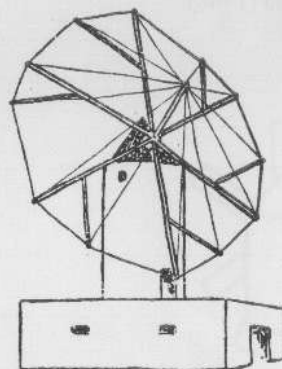


Figura 59. Molino de Inca.

taban constituidas por troncos de 7 a 10 m. de longitud, atravesados en toda su extensión por unas barras que formaban una parrilla con las barras colocadas paralelamente. El plano de la parrilla de cada aspa con el plano de los troncos de las antenas formaba un pequeño ángulo para facilitar la incidencia del viento. Este ángulo podía ser variado por el molinero, tensando o destensando las cuerdas que unían las puntas de las palas con la punta del eje de giro (fig. 57).

También existieron en Mallorca molinos con otros tipos de antenas. Así en Alcudia había uno con 8 antenas sin parrilla, con velas triangulares (fig. 58). Este molino era parecido a los andaluces de la Puebla de Guzman (en Mykonos habían molinos parecidos pero con 12 antenas). También en Inca existió un molino de 6 aspas sin parrilla y en el que de la mitad de cada aspa salía otra barra que formaba un ángulo de  $45^\circ$ . La figura formada por las aspas era un dodecágono y tenía 12 velas triangulares (fig. 59).

Las velas, que se sujetaban a la parrilla de las anteriores, eran cuadrangulares y, generalmente, de algodón. El molinero se encargaba de «regular» la superficie de la vela expuesta al viento recogiéndola más o menos diagonalmente (fig. 60).

La transmisión de la energía captada se realizaba a través de una rueda motriz solidaria al eje que transmitía el movimiento a las ruedas que molían el grano. Solían ser ruedas de piedra de 2 m. de diámetro, sien-

do la superior la parte activa.

La orientación del molino para poder captar el máximo de energía se realizaba manualmente mediante una palanca y pernos, era una operación lenta y difícil.

Aparte de los molinos que se dedicaban a la molturación de cereales, se desarrollaron en las Baleares los aeromotores para el bombeo de agua, siendo el más conocido el denominado «molí de ramell» (fig. 61), y el metálico con torre de base cuadrada. En un censo realizado en el año 1958, en la huerta de levante de Palma, se llegaron a contar 1.401 molinos de todas las clases.

### Molinos de viento en los «Països Catalans».

En Catalunya también hubo molinos de viento. Consta la existencia de uno en Palamós (1512). Así mismo en el año 1584 los «consellers» municipales de Barcelona, hicieron construir dos cerca de Cruz Cubierta (Hostràfrancs); en el año 1628 decidieron repararlos y levantar dos más en la muralla y en el año 1644 acordaron la construcción de algunos más.

En el País Valencià había a principios del siglo XX muchos molinos de viento de los cuales sólo se conservan algunas torres casi destruidas.

De la gran cantidad de molinos que existieron en épocas pasadas en nuestro país, quedan muy contados ejemplares en la actualidad, y menos aún son los reconstrui-

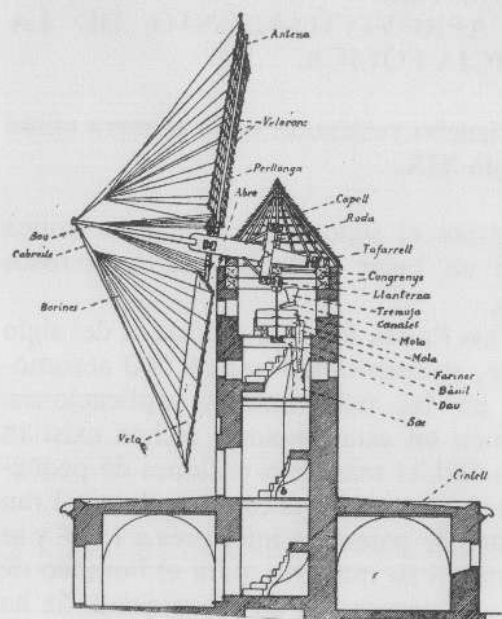


Figura 57. Esquema de molino Balear.

dos en los que se pueda observar el funcionamiento de sus partes esenciales.

Al contrario de lo que ha ocurrido en muchos países (Dinamarca, Países Bajos, Inglaterra, etc.), en España parece existir un interés en olvidar lo que un día fueron aquellos extraños artefactos que captaban la energía del diós Eólo. Así se puede comprender el porqué en nuestro país se han dedicado tan pocos esfuerzos al estudio y a la conservación de los molinos de viento que en su día jugaron un papel importante para cubrir las necesidades energéticas de la sociedad.



Figura 61. Molino de Ramell.

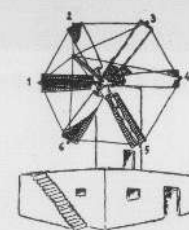


Figura 60. Posiciones de las velas.



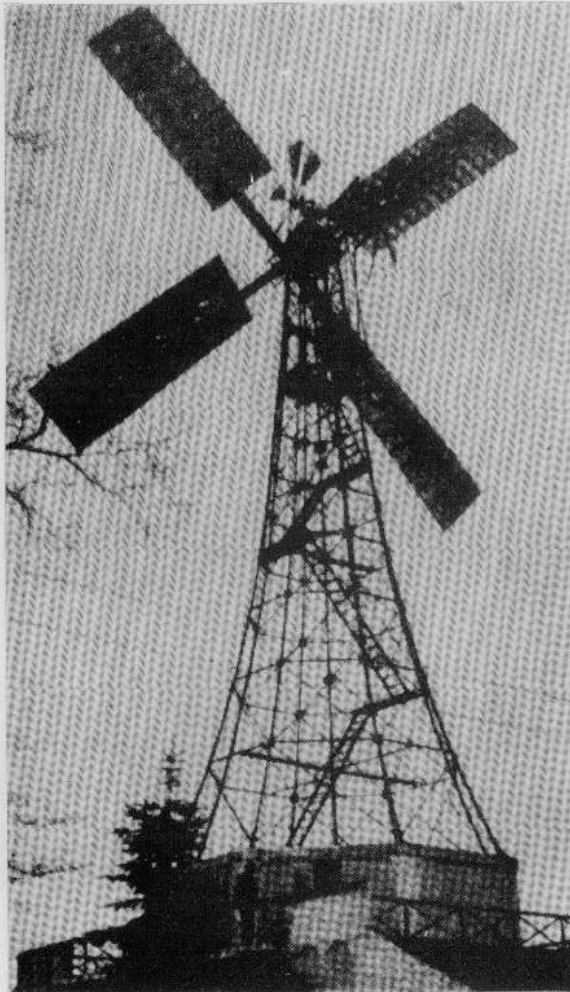


Figura 62. Aerogenerador de la Cour en Askov.

## LA HISTORIA CONTEMPORANEA DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA.

### Experiencias realizadas en la primera mitad del siglo XIX.

Durante el siglo XIX la energía eólica ocupó un lugar destacado en numerosos países.

En los Países Bajos, a mediados del siglo pasado, se empleaban unos 9.000 aeromotores en las más variadas aplicaciones. También en estas mismas fechas existían en los EEUU más de 6 millones de pequeños aeromotores y aerogeneradores. Eran aparatos de potencias inferiores a 1 CV y se usaban, en su mayoría, para el bombeo de agua y la generación de electricidad. Se ha estimado que estas máquinas producían un trabajo equivalente a más de 1.000 millones de kWh. De la misma manera a finales del siglo pasado, existían en Dinamarca unos 3.000 molinos empleados por la industria y unos 30.000 en casas y granjas. Equivalían a una potencia instalada de 200 MW.

Fué a finales del siglo XIX cuando el gobierno danés inició un amplio programa para el desarrollo de máquinas eólicas destinadas a la producción de electricidad. En el año 1891 el físico y meteorólogo profesor La Cour empezó unos experimentos sobre el aprovechamiento de la energía del viento para la generación de electricidad. En 1892 construyó una pequeña planta eó-

lica experimental y en 1897 otra mayor (fig. 62). La Cour fué el primero en la experimentación con flujos artificiales de aire y en la medida de los efectos del viento sobre diferentes superficies. Obtuvo los mejores resultados con captadores de cuatro palas.

La energía eléctrica generada la empleaba La Cour para la disociación electrolítica de una disolución acuosa de hidróxido de sodio. El oxígeno y el hidrógeno resultantes se almacenaban y eran distribuidos. Ya a finales del siglo pasado la Askov Hight School fué iluminada con bombillas Drummond (una llama blanca producida por la mezcla de oxígeno e hidrógeno en el interior de un cilindro de zirconio). La Cour intentó la introducción de mezclas de oxígeno en los motores de explosión pero no tuvo demasiado éxito. Posteriormente empleó bombillas de incandescencia y baterías.

Alrededor del año 1902 muchos pueblos daneses disfrutaban de electricidad gracias a estaciones generadoras mixtas: aerogeneradores ayudados por motores de keroseno. Fué en esta época cuando se emplearon centenares de aerogeneradores diseñados por La Cour. Eran aparatos provistos de un captador de 4 palas, con un diámetro de 23 m. en lo alto de torres de 25 m. Las potencias oscilaban entre 5 y 25 kW.

En el año 1903 se creó la «Danks Vind Elektricitets-Selskab (DVES)», la cual publicó hasta 1915 el Diario de la Electricidad mediante el Viento. Esta Sociedad también realizaba tareas de educación (cur-

sos) y de consulting (proyectos de aerogeneradores).

Para hacernos una idea de la importancia que tuvo en Dinamarca la energía eólica vemos que sólo en el año 1916 se construyeron 1.300 nuevas máquinas eólicas. En 1918, de 418 estaciones rurales de generación de electricidad, unas 120 (la cuarta parte) lo hacían mediante el viento.

En la década de los años 20, también en Dinamarca, el ingeniero P. Vinding construyó un aerogenerador provisto de 5 palas, con un diámetro de 11 m., y una torre de 22 m. de altura. La producción de electricidad durante un período de 240 días fué de 11.000 kWh. y en un año generó 16.700 kWh. Con viento de 9 m/seg. tenía una potencia de 12 kW.

Ya en los años 30, la sociedad danesa Lykkegaard, fabricó aerogeneradores de 18 m. de diámetro que producían electricidad con vientos comprendidos entre 4 y 11 m/seg. Su producción anual era de 50.000 kWh (fig 63).

En Dinamarca, a principios de la segunda guerra mundial, tuvieron un gran auge los aerogeneradores «FLS-Aeromotor», construidos por la empresa FL Smidth A/S. Se llegaron a instalar 18 máquinas de 2 y 3 palas, con potencias comprendidas entre 30 y 70 kW. Estuvieron funcionando hasta finales de la década de los años 50. En la actualidad aun se conserva un bipala y existe el proyecto de ponerlo otra vez en funcionamiento cambiando las palas y sustituyendo el generador de continua por un

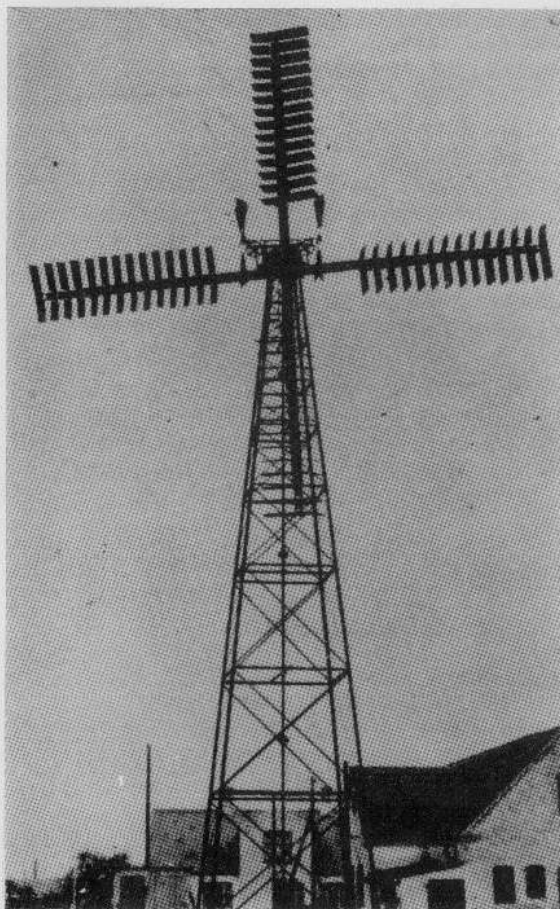


Figura 63. Aerogenerador Lykkegaard.

alternador.(fig. 64) En este país desde el año 1940 hasta 1947 fueron generados eólicamente 18 GWh.

Con un poco de retraso con respecto a los daneses, Inglaterra también se preocupó de la energía eólica. Así, en el año 1920 se

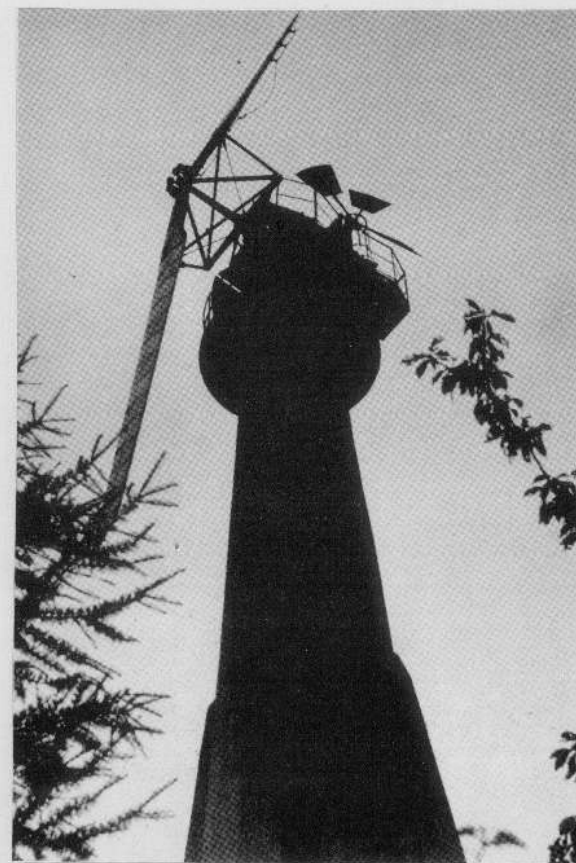


Figura 64. Aerogenerador FLS-Aeromotor.

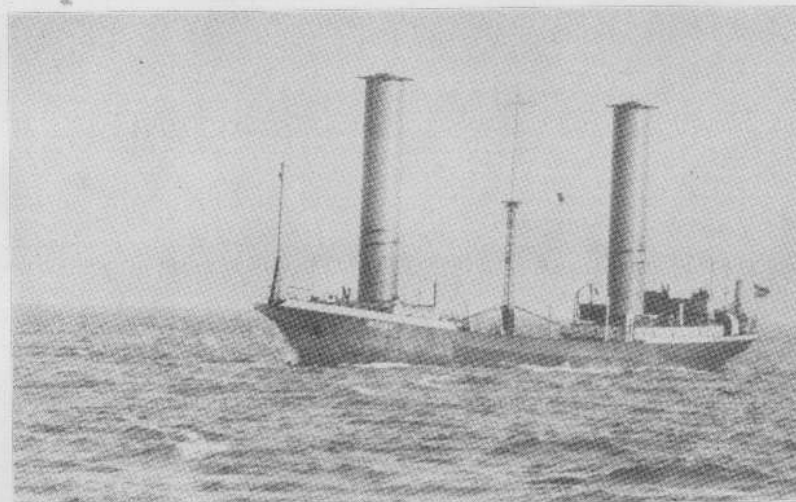


Figura 65. Barco equipado con rotores Flettner atravesando el Atlántico.



Figura 67. Una de las dieciocho camionetas con que Jacobs se anunciaba en las ferias americanas de los años 30.

funda la «*British Electrical and Allied Industries Research Association*» que tuvo en E.W. Golding uno de sus principales impulsores. Esta sociedad, en colaboración con los Ministerios de Agricultura y Energía, y la industria eléctrica, realizó un estudio sistemático de los vientos de la costa oeste, llegando a seleccionar los posibles emplazamientos para la instalación de aerogeneradores. Se proyectó un prototipo a 3.750 kW. que el Ministerio de Energía no aceptó; no obstante desarrollaron prototipos más pequeños.

Durante el primer tercio de nuestro siglo se realizaron innumerables estudios y se construyeron diversos prototipos para la obtención de energía eléctrica a partir del viento.

En Alemania se desarrolló la turbina Kumme (1920). También Flettner construyó un aerogenerador (1926) con un original sistema de captación aprovechando el Efecto Magnus. Era un captador provisto de 4 palas cilindro-cónicas que giraban accionadas por un motor eléctrico. El diámetro del captador era de unos 20 m. y desarrollaba una potencia de 30 kW. con viento de 10 m/seg.

El mismo Flettner atravesó el Atlántico en 1924 impulsado por el viento con un barco equipado con dos grandes cilindros giratorios (fig. 65).

Otro original sistema de captación, también basado en el Efecto Magnus, fué probado en Burlington (New Jersey) en el mes de Octubre de 1933. Consistía en una pista



circular con railes por los que se desplazaban un conjunto de vagones que tenían en su parte superior unos cilindros giratorios de 27 m. de altura y 8 m. de diámetro. Al incidir el viento sobre los cilindros se creaban unas fuerzas que ponían en movimiento al tren de vagones. Estos tenían generadores eléctricos en los ejes y se transmitía la electricidad a través de los railes.

En Finlandia, Savonius experimentó un particular sistema de captación, desarrollando varios pequeños prototipos (fig. 66). No obstante se calculó que para disponer de una potencia de 1.000 kW. se necesitaba una máquina Savonius de grandes dimensiones (30 m. de diámetro y 90 m. de altura), en comparación con los aerogeneradores de 2/3 palas para igual potencia.

En Francia, en 1929 la Compañía Electro-Mécanique construyó en Le Bourget un aerogenerador bipala de 20 m. de diámetro diseñado por Darrieus, quien además proyectó y patentó aerogeneradores de eje vertical como los que hoy se desarrollan en Canadá y E.U.A.

En los EE.UU., Marcellus L. Jacobs fundó en el año 1930 la «*Jacobs Wind Electric Co.*» aprovechando su experiencia de más de diez años en el desarrollo de máquinas eólicas. Durante 30 años la Jacobs de Fort Meyers (Florida) instaló centenares de aerogeneradores a través del mundo. Cinco años después de su fundación la Compañía llegó a tener 250 trabajadores que manufacturaban miles de aerogeneradores anualmente (fig. 67) que eran distribuidos me-

dian una red de 360 representantes en los EE.UU. y 35 en el extranjero (Finlandia, Suecia, Lituania, España, India, Africa del Norte, Sud América, Filipinas,...) Muchos aerogeneradores de la Jacobs se emplearon en la protección catódica de oleoductos. Eran generadores tripala, con palas de madera de 3 m. de diámetro. Sus potencias nominales eran de 1,8 y 2,5 kW. (después de la guerra éste modelo se transformó en 3 kW.). Podían producir de 400 a 500 kWh al mes con vientos de 5 a 9 m/seg. durante 2-3 días a la semana.

Como dato curioso cabe citar que la expedición del almirante Byrd al Polo Sur, en el año 1933, utilizó un aerogenerador Jacobs para proveerse de electricidad y cuando, en el año 1955, Jacobs recuperó éste aerogenerador, estaba en muy buen estado después de haber funcionado 22 años en condiciones climáticas muy adversas.

La Jacobs funcionó normalmente hasta el año 1960 en que cerró, a consecuencia de la política seguida por Roosevelt a partir de los años 50, cuando creó la Agencia de Electrificación Rural que extendió las líneas eléctricas hasta las más recónditas zonas rurales.

En Rusia se construyó un gran aerogenerador de 100 kW. (fig. 68) en Balaclava, cerca de Yalta, junto al Mar Negro (1931). Fue utilizado para el suministro de energía eléctrica paralelamente a una central térmica. La producción anual de éste aerogenerador era de unos 27.000 kWh., fue destruido durante la invasión nazi. También

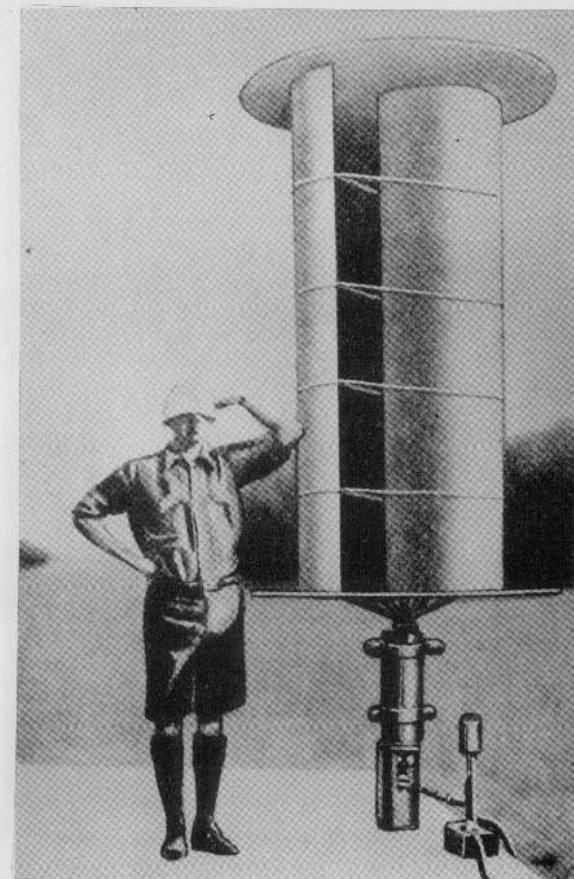


Figura 66. Rotor Savonius.

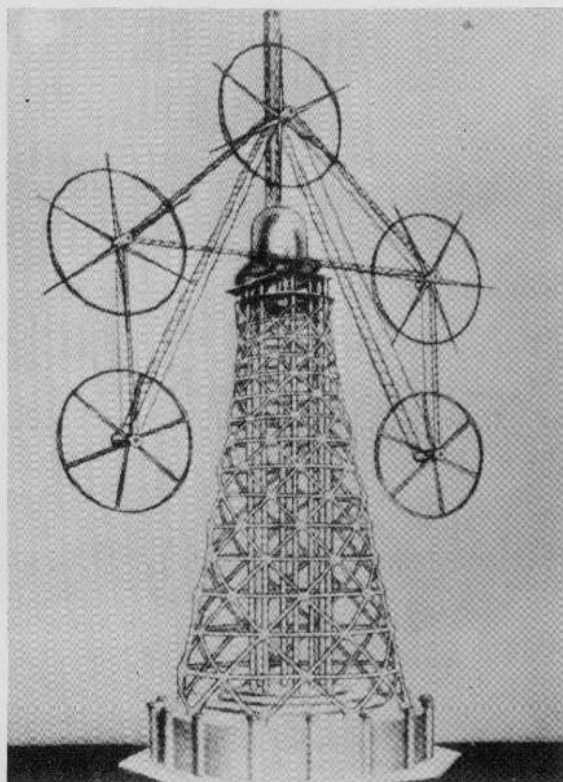


Figura 69. Proyecto de aerogenerador de Honnef.



Figura 68. Aerogenerador ruso de Balaclava.

en la URSS se consideró la realización de un aparato de 5 MW. que nunca llegó a realizarse.

En Alemania, Honnef propuso al gobierno del 3<sup>er</sup>. Reich sus planes para la explotación de los recursos eólicos. Se trataba de construir aerogeneradores gigantes de 300 m. de altura con varios captadores a contrarrotación de 76 m. de diámetro cada uno. El diámetro formado por el conjunto

de captadores era de unos 160 m. La potencia nominal prevista de 50 MW. (fig. 69). Honnef rehusó la cesión del 51% de sus derechos por una gran cantidad de dinero a una empresa no alemana. El proyecto se acabó durante el año 1944 y la AEG trabajó en el desarrollo del generador. Pero su realización no se llevó a cabo debido al colapso final de la guerra. No obstante se construyeron muchos aerogeneradores a contrarrotación antes de la guerra. Eran aparatos con velocidades de inicio de carga para vientos de 0 a 1 m/seg. Es de destacar que no se rompió ninguna de estas máquinas.

Desde la fundación de la «Reich Wind Energy Research Association» en Berlín, realizó tareas de recogida de datos del viento y de investigación.

El primer intento para desarrollar un gran sistema de generadores de electricidad mediante el viento lo realizó Palmer C. Putnam (fig. 70). En el año 1934 en Cap Cod necesitaban electricidad y disponían de viento. Putnam pensó en un sistema doble que suministrase electricidad en presencia de viento y que la recibiera de la red cuando el viento cesara. Se preguntaba cual podía ser el sistema más eficiente para la generación del kWh. al coste más bajo. Después de un amplio estudio llegó a la conclusión de que para minimizar el coste de la electricidad generada eólicamente era necesaria una máquina de grandes dimensiones. En el año 1937 Putnam sometió su proyecto al decano de la Escuela de Inge-

nieros de MIT, Dr. V. Bush, el cual le presentó al vicepresidente de la General Eléctric, Mr. T. Knight, que se interesó vivamente por el proyecto. También recibió la colaboración del famoso experto en aerodinámica, Theodore Von Karman. De esta forma y ayudado por influyentes personalidades consiguió que la S. Morgan Smith Co. de York (Pennsylvania) financiase su proyecto (La S. Morgan Smith Co. fabricaba turbinas hidráulicas). La Central Vermont Public Service Co. proporcionó un lugar para su ubicación: la cima de un pequeño montículo (Grandpa's Knob) de Rutland. La Central Vermont era una compañía de suministro eléctrico que necesitaba comprar electricidad a otras compañías eléctricas para hacer frente a las puntas de demanda. Los diferentes componentes estructurales fueron construidos por: E.G. Budd Manufacturing (palas), Wellmann Engineering Co. (rotor, eje, multiplicador, conexión a la red), General Electric (alternador) y American Bridge (torre). En el mes de Octubre de 1939 se inició su construcción y el 19 de octubre de 1941 fué conectado por primera vez a la red. En el período comprendido entre octubre de 1941 hasta marzo de 1945 funcionó unas 1.100 horas. En marzo de 1945 se rompió una pala debido a un fallo estructural detectado pero no corregido debido a la escasez de materia prima durante la guerra. El proyecto se abandonó definitivamente pues el coste del kWh. era más elevado que el producido por medios tradicionales.

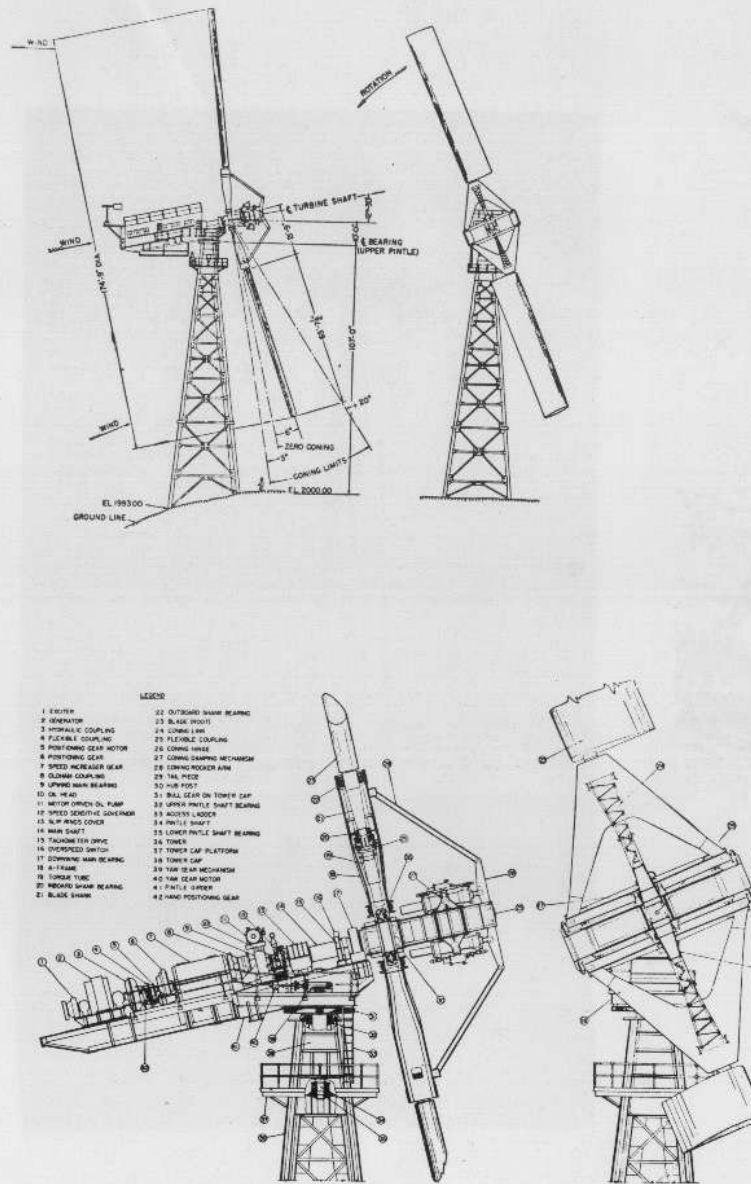


Figura 70. Aerogenerador Smith-Putnam.



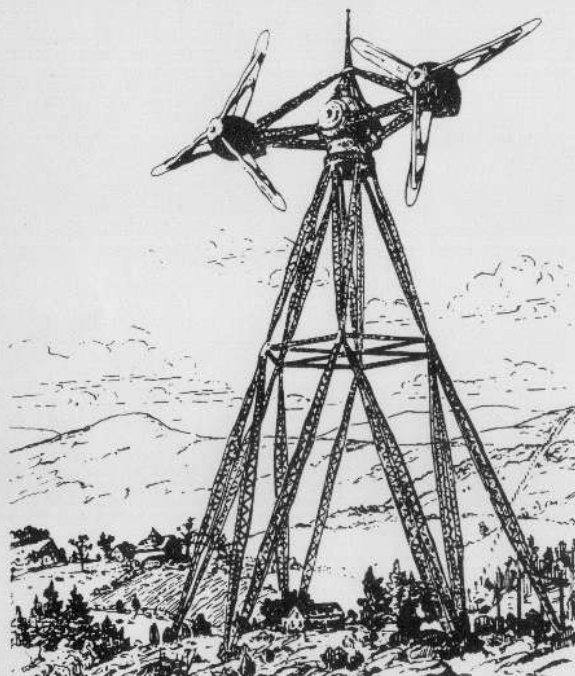


Figura 71. Proyecto de Percy Thomas (1951).

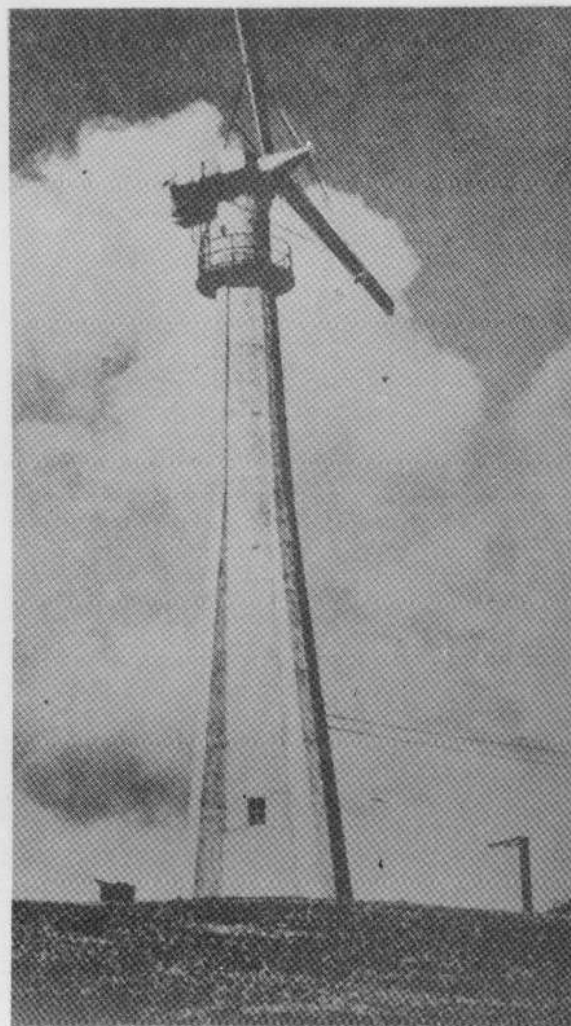


Figura 72. Aerogenerador de la isla de Bogo.

Experiencias realizadas desde los años 50 hasta la década de los 60.

En los EE.UU. y a pesar del gran desarrollo que tuvo la energía eólica, los programas de Electrificación Rural lograron casi arruinada por completo. No obstante habiéndose abandonado el trabajo realizado en Grandpa's Knob, se propusieron algunos proyectos colosales como el de Percy Thomas en 1951, que pretendía la construcción de enormes aerogeneradores multirrotores con potencias de 6.500 kW (fig. 71).

Finalizada la Segunda Guerra Mundial, el ingeniero danés J. Juul, de South Jutland Electricity Laboratory, que había sido colaborador del profesor La Cour, continuó las experiencias con un aerogenerador de 13 kW. (38 m/seg.) provisto de un rotor de 4 palas (7,6 de diámetro). Se instaló en Vester Egesborg (isla de Sealand) en el año 1950.

Basándose en éste trabajo se puso en funcionamiento un aerogenerador en la pequeña isla de Bogo (situada entre las de Sealand y Falster), aprovechando la torre, la cabina y el multiplicador de una instalación ya existente. Se le colocó un captador tripala (13,5 m. de diámetro) y un generador de 45 kW. (38 m/seg.) conectado a la red. Funcionó durante muchos años (fig. 72).

En el año 1952, la «Danske Elvearkers Foreing DEF» fundó una Comisión de Energía eólica para continuar las investiga-

ciones y realizar medidas de los parámetros del viento en todo el territorio danés. En los años 1956-57 se proyectó, contruyó y se puso en marcha una instalación de 200 kW. de Gedser (al sur de la isla de Falser) (fig. 73).

Las conclusiones del plan de prospección eólica fueron las siguientes: en las costas occidentales de la península de Jutlandia se podía llegar a producir 1.000 kWh. por metro cuadrado de superficie barrida por las palas, mientras que en las costas occidentales de las islas danesas se podían obtener 100 kWh/m<sup>2</sup>.

El aerogenerador de Gedser funcionó normalmente desde 1959 hasta 1967. Durante éste periodo suministró un total de 2.242 MWh. a la red. Su máxima producción anual la alcanzó en 1964 con 367 MWh (fig. 74).

Después de permanecer 10 años parada se puso de nuevo en funcionamiento durante el periodo de noviembre de 1977 hasta abril de 1979. Durante este año y medio fué sometida a un extenso programa de prueba y de medida de sus parámetros dentro del Programa para el Desarrollo de la Energía Eólica del Ministerio de Energía Danés (conjuntamente con el DOE americano).

Comparando las máquinas de Bogo y de Gedser se observó que en el periodo comprendido entre noviembre de 1959 y octubre de 1960, Gedser generó 5 veces más electricidad que Bogo, siendo las superficies barridas por los respectivos captadores



Figura 74. El aerogenerador Gedser en su estado actual.

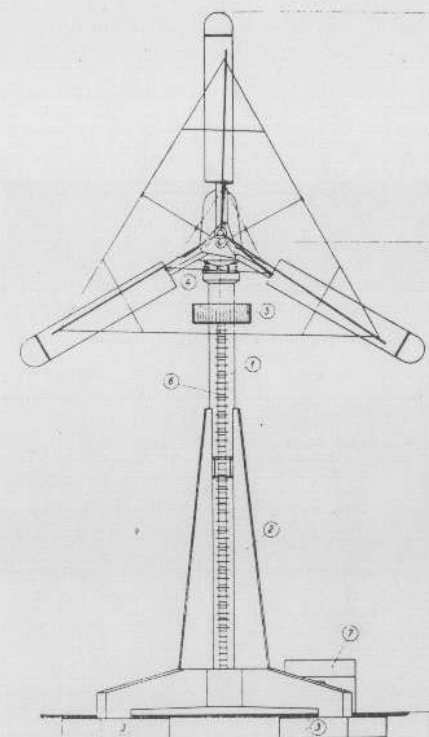


Figura 73. Aerogenerador Gedser.

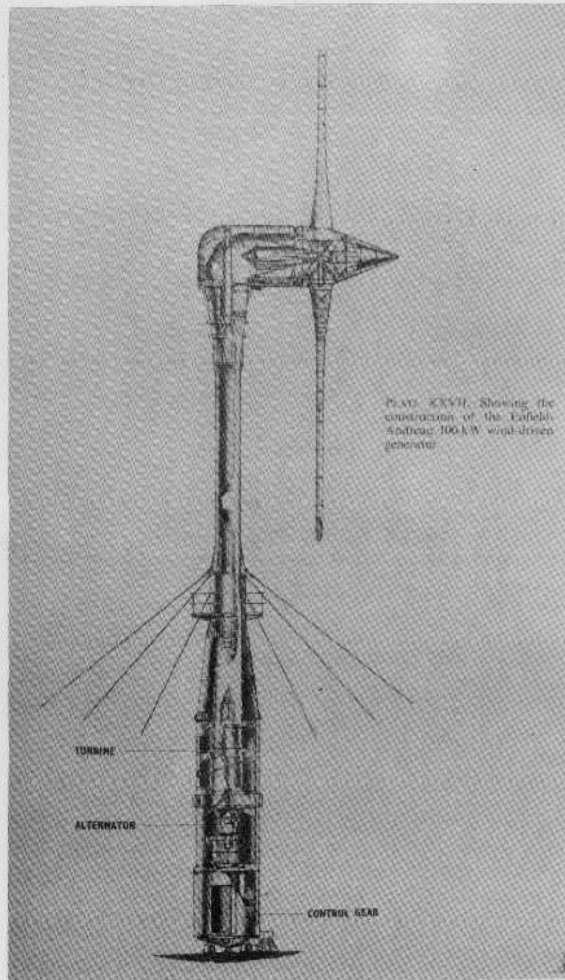


Figura 76. Aerogenerador Enfield-Andreau.



Figura 77. Aerogenerador Best-Romani.

de 132 m<sup>2</sup>. (Bogo) y 450 m<sup>2</sup>. (Gedser). Debido a su mejor emplazamiento el aerogenerador de Gedser producía al año unos 300 kWh. más que el de Bogo.

Una serie de circunstancias (la muerte de J. Juul, ocurrida en 1965, el bajo precio del petróleo, etc.) motivó que se abandonara el

desarrollo de sistemas para el aprovechamiento de la energía de los vientos en Dinamarca, a pesar del gran papel que había jugado en éste país.

En Inglaterra a finales de los años 40 y durante toda la década de los años 50, se desarrolló un amplio trabajo dedicado a la generación de electricidad a partir del viento. La dirección del mismo la llevaron E. W. Golding y A. Steddard.

Durante el año 1950 la «Nort Scotland Hydroelectric Board NSHEB», encargó la fabricación de un prototipo de 100 kW. para ser instalado en Costa Hill (al norte de la principal isla del archipiélago Orkney). Funcionó conectado a la red en paralelo con grupos electrógenos, hasta 1955 (fig. 75). El constructor pensaba adquirir la suficiente experiencia para poner a punto una máquina de 250 kW., con un captador de 23,8 m. Proyecto nunca realizado, al igual que otro de 1.500 kW.

Fué en éste mismo período, cuando la «British Electricity Authority» encargó a la Compañía Enfield Cable Ltd. la construcción de un aerogenerador según el modelo del francés Andreau (fig. 76). Las palas de dicha máquina, diseñadas por «De Havilland Propeller Ltd.» eran huecas y al girar la fuerza centrífuga expulsaba el aire de su interior, produciéndose una diferencia de presión que arrastraba el aire desde la base de la torre-soporte hasta la punta de las palas. Dicha depresión era utilizada para accionar el generador a través de una turbina, situados ambos verticalmente en la torre-



soporte. Dicha máquina tenía que instalarse inicialmente en Mynydd/Anelog, Aledarson (Caernarvonshire) pero se instaló en Prae-Wood, Saint-Albans (Hertfordshire) durante el año 1953. Era una zona con una distribución de vientos muy perturbada, dando lugar a problemas vibratorios. Los ingleses abandonaron la experiencia y en el año 1957, «*Electricité et Gas d'Algérie EGA*» adquirió la máquina y la instaló en Grand-Vent. Funcionó durante 180 horas, con potencias comprendidas entre 80 y 130 kW. El rendimiento era muy bajo a pesar de que las palas lo tenían muy elevado. El proyecto fué abandonado por razones de seguridad.

En Francia, durante el periodo comprendido entre 1947 y 1966 se realizaron grandes esfuerzos para conocer la estructura del viento desde el nivel del suelo hasta 100 m. de altura. Además «*Electricité de France EDF*» experimentó tres máquinas de gran potencia, fruto del trabajo de su División de Energía Eólica, en colaboración con constructores e ingenierías.

La primera fué una máquina de 800 kW. diseñada por L. Romaní y que se instaló en Nogent-le-Roi. Durante cinco años (1958-1963) fué un verdadero banco de pruebas (fig. 77).

Desde el 15 de marzo de 1958 hasta el 12 de abril de 1962 funcionó con una hélice lenta que se comportó perfectamente, durante 931 horas (195 consecutivas) en el período 5/10/58 al 18/11/59. La potencia máxima observada fué de 930 kW. (20

m/seg.) con puntas de 1.025 kW. Durante unas ráfagas de viento ocurridas el 30/8/60 la potencia pasó de 300 a 900 kW en cuestión de segundos, funcionando correctamente. Las potencias medias fueron: 870 kW. durante una hora, 825 kW. en 4 horas consecutivas y 683 kW. en 12 horas. Aguantó temporales con vientos de 30 m/seg.

Con la finalidad de suprimir la etapa multiplicadora se decidió construir una hélice rápida (71 rpm. en lugar de 47,3 rpm.). Funcionó 307 horas desde abril de 1962 hasta el 5 de septiembre de 1963 en que se rompió una pala a causa de las vibraciones.

Después de estas pruebas se tenía prevista la realización y prueba de un prototipo en Landunvez (Finisterre), y a continuación la construcción en serie de tales máquinas. Se preveía la continuación de los ensayos con aparatos equipados con 2 captores de 45 m. de diámetro, colocados a ambos lados de la parte superior de un cilindro hueco de hormigón, accionando dos alternadores de 2 MW cada uno, girando en sentido contrario. Este proyecto se abandonó cuando se estaban realizando las pruebas a escala reducida dentro de túneles de viento.

Además de la máquina BEST-Romaní, se probaron dos máquinas NEYRPIC, instaladas en St. Remy-des-Landes (fig. 78).

La primera de 132 kW. empezó a funcionar a principios de 1959 (fig. 79), interrumpiéndose las pruebas para reforzar la torre de soporte y más adelante debido a la rotu-



Figura 75. Aerogenerador de Costa Hill (Ockney).

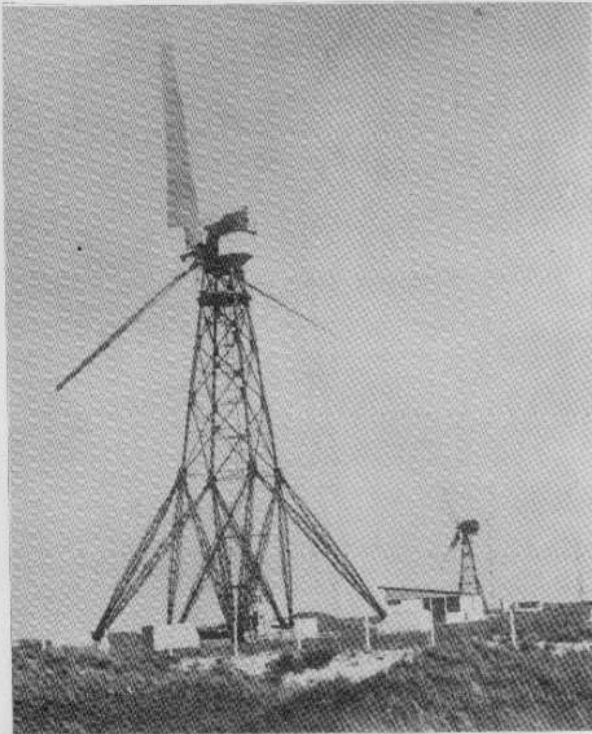


Figura 78. Aerogenerador Neyrpic.

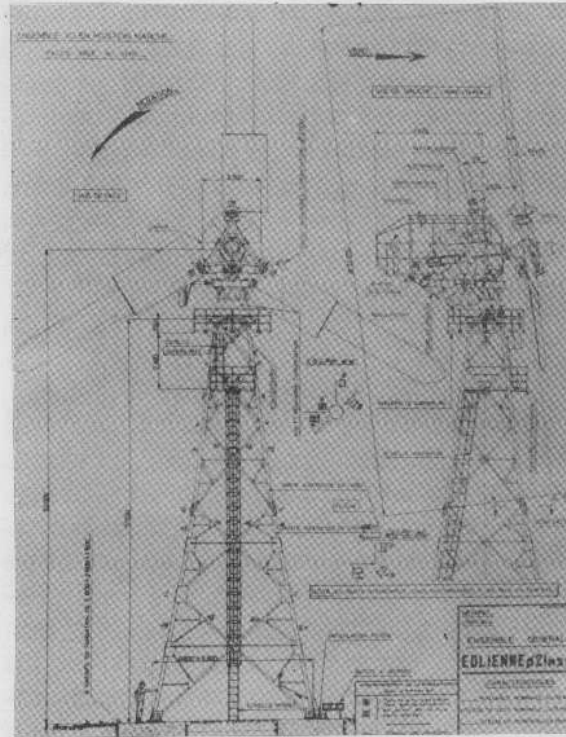


Figura 79. Aerogenerador 132 kW Neyrpic.

ra de una pala. Sustituida la pala funcionó desde el mes de noviembre de 1962 hasta el mes de marzo de 1966 generando 700 MWh., con una producción mensual máxima de 52.000 kWh.

La segunda de 1.000 kW. fué conectada a la red el 13 de junio de 1963 a los cuatro meses de iniciado su montaje. Funcionó con normalidad desde el 30 de Junio hasta el 18 de julio, en que tuvo lugar una avería

en la conexión a la red.

Las pruebas se reiniciaron en el mes de octubre y funcionó hasta junio de 1964, produciendo 500 MWh. en 7 meses y 222 MWh. durante el mes de noviembre de 1963. En el mes de junio de 1964 se rompió un cojinete del multiplicador y fué desmontada en 1966.

EDF no sólo se interesó por las grandes máquinas, sino que también tuvo interés en los pequeños aerogeneradores tanto de eje vertical como horizontal. Prueba de ello son las máquinas de S. B. Morel, constituidas por una rueda de 3 m. de diámetro cuya parte periférica accionaba el generador. Su potencia era de 4,8 kW. a 15 m/seg. (fig. 80).

Un prototipo de eje vertical se construyó en Fressinades (Mondragón) y funcionó desde el 9 de agosto de 1954 hasta el 8 de octubre, en que fué destruida por una tormenta de mistral debido a un fallo en su sistema de frenado.

Después de la Segunda Guerra Mundial, la Compañía de Energía del Consejo Federal Aleman, se preocupó por la energía eólica. El Ministro de Asuntos Económicos aconsejó a la Asociación de Estaciones Generadoras de Electricidad (Frankfurt) que se encargara del tema. Al cabo de un tiempo se creó la «Studiengesellschaft Windkraft».

La «Allgaier Company» de Ugingen (Wurttemberg) construía generadores eólicos de 8 kW., equipados con captadores tri-pala de 10 m. de diámetro. La hélice giraba

a 86 rpm. y el generador trifásico a 1.500 rpm. Estaban provistos de una cola orientable. También la Worwind GmbH de Westfalia construyó algunos generadores de 15 a 25 kW.

Fué, no obstante, bajo la dirección del profesor Ulrich Hütter cuando más se desarrolló el aprovechamiento de la energía eólica en Alemania. Durante el periodo 1950-1965 se perfeccionaron los aerogeneradores: rotores ultraligeros, palas de fibra de vidrio y plástico, etc. Fueron máquinas de 10 hasta 100 kW. (fig. 81). La mayor de ellas estuvo funcionando más de 4.000 horas entre 1957 y 1968. Fué un proyecto técnicamente muy avanzado. Pero a pesar de los buenos resultados obtenidos con esta máquina, los alemanes no consideraron rentable el sistema y abandonaron a partir de 1966 y hasta fecha muy reciente, todo esfuerzo relativo a la energía eólica.

Después de 1973 los países que durante la década de los años 50 desarrollaron aerogeneradores experimentales, desempolvaron sus estudios y experiencias realizadas durante aquellos años y que fueron abandonadas basándose en el argumento de que *«la energía eólica no era competitiva con los métodos convencionales de producción de electricidad»*. Al igual que aquellos técnicos de EDF que preveyendo una crisis de energía al inicio de la década de los años 60, consideraron oportuno abandonar los trabajos sobre energía eólica *«porque la crisis no se vislumbraba»*, la mayoría de técnicos en el mundo se sometieron a la vo-

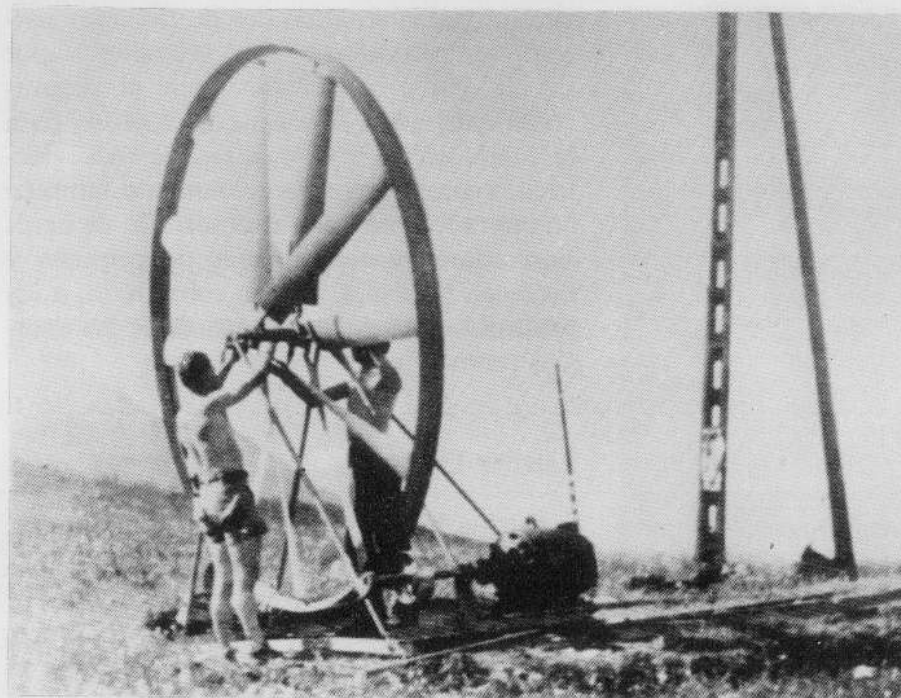


Figura 80. Aerogenerador Morel.

luntad de las grandes corporaciones energéticas, fomentando el uso de combustibles líquidos y la introducción de la energía nuclear.

#### Experiencias actuales en algunos países.

La década de los años setenta ha significado el renacer de unas máquinas que todo el mundo creía relegadas a épocas ya pasadas: los llamados popularmente «molinos».

Ha sido a partir del año 1973, cuando las



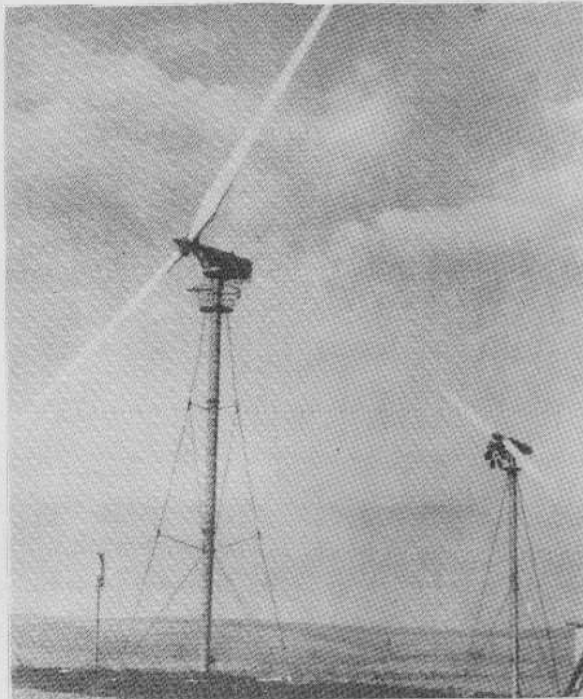


Figura 81. Aerogenerador de Hütter.

administraciones estatales de diversos países (encabezados evidentemente por EE.UU.) se han volcado hacia el aprovechamiento de la fuerza de los vientos para la producción de energía, sobre todo eléctrica, a gran escala. Paralelamente también ha cobrado gran auge el desarrollo de aerogeneradores y aeromotores de pequeña y mediana potencia, debido sobre todo, a los múltiples grupos de defensores de las energías renovables.

#### Estados Unidos.

En los EE.UU. el gobierno federal impulsó un programa en dos direcciones: máquinas grandes (mayores de 100 kW.) y máquinas medianas y pequeñas (menores de 100 kW.). El objetivo que persigue el Programa Federal de Energía Eólica es la integración de los sistemas de aerogenera-

dores dentro del actual sistema de producción y distribución de la energía.

#### Los Grandes Aerogeneradores Americanos.

El programa de grandes aerogeneradores lo dirige la NASA. La primera realización fue el MOD-0 de 100 kW (fig. 82) que se instaló en Plumbrook (Ohio). Fue un verdadero banco de pruebas que ha servido para el desarrollo de las grandes máquinas actuales, además de permitir el ensayo de ésta en las más variadas condiciones de funcionamiento.

En un principio se presentaron algunos problemas de resonancia que se resolvieron modificando la torre y el sistema de control. Entre las pruebas realizadas se pueden citar: conexión del aerogenerador a la red, funcionamiento en paralelo con un generador diesel, simulación del funcionamiento para abastecer a pequeñas comunidades, funcionamiento del captador de cara al viento (a pesar de ser diseñado para hacerlo de espaldas al viento), etc.

El siguiente paso fue la instalación de 3 aerogeneradores MOD-0A de 200 kW. (con vientos de 10 m/seg. a una altura de 30 m., siendo el diámetro del captador de 38 m.) en Clayton (New Mexico), en la isla Culebra (Puerto Rico) y en Block Island (Rhode Island), con el objetivo de que tales máquinas pudieran ser manejadas y mantenidas por pequeñas compañías eléctricas locales (fig. 83), como medida de ahorro de

#### Características del MOD-0

altura de la torre .....	30,5 m.
diámetro del captador .....	38 m.
tipo de captador .....	bipal, situado de espaldas al viento, con palas de aluminio.
potencia nominal .....	100 Kw.
rendimiento máximo .....	0,33
velocidad del viento correspondiente al máximo rendimiento	7,5 m/seg
velocidad de rotación .....	40 r.p.m., velocidad fija
regulación .....	variación del ángulo de ataque de las palas.
relación u/v .....	10,6

combustibles fósiles (petróleo, carbón). El primer aerogenerador se instaló en Clayton durante el mes de diciembre de 1977, entrando en funcionamiento a mediados de marzo de 1978 para ejecutar un programa de pruebas de dos años de duración. Hasta el 25 de febrero de 1980 había estado 6.052 horas funcionando y producido 548 MWh. de electricidad. El captador (las palas) habían acumulado  $1,5 \times 10^7$  ciclos. En la actualidad se ha instalado una cuarta máquina de éste tipo en Kuhuku Point (Oahu, Hawaii).

La primera máquina del orden del millón de watios fué el MOD-1 (fig. 84), que está funcionando en Boone (noroeste de Carolina del Norte) desde el verano de 1979. Tiene un captador de 2 palas de acero (a diferencia de las palas de aluminio de los MOD-0 y MOD-0A) con un diámetro de 61 m., situado en la cima de una torre de 43 m. de altura. El MOD-1 suministra electricidad a una red local que cuenta con 32.000 usuarios (industria, comercio, agricultura, vivienda). El coste de este aparato fué de 6 millones de dólares y el de la energía producida es de 0,17 dólares el kWh. (suponiendo la máquina instalada en un lugar con velocidad media del viento de 8 m/seg. y una carga financiera del 18%). A primeros de marzo de 1980 había completado 6 meses de funcionamiento y producido 35 MWh. de energía eléctrica, habiendo alcanzado ya su máxima potencia de 2 MW. Durante el mes de mayo de 1980, se restringió su funcionamiento debido a unas

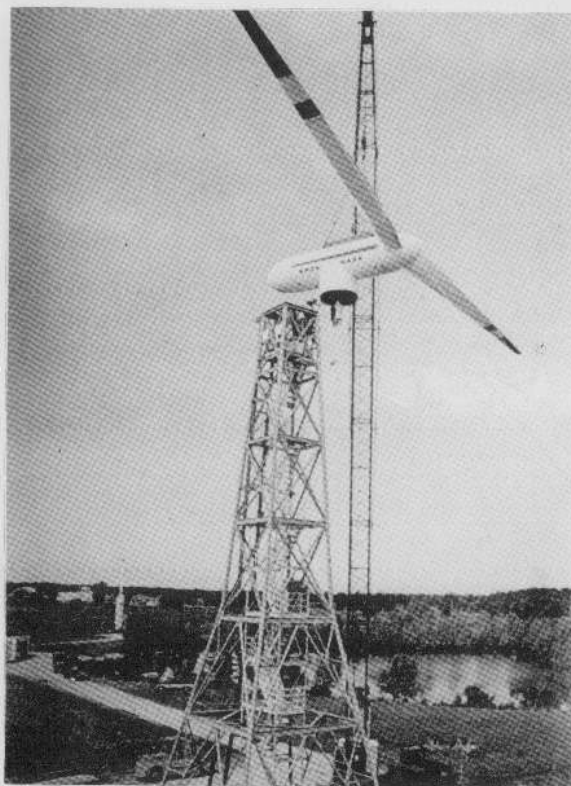


Figura 82. El MOD-0 americano.

oscilaciones en las palas que ocasionaban vibraciones en los cristales de las ventanas y en las vajillas de las casas situadas hasta algunos kilómetros de distancia.

El Mod-2 (fig. 85) constituye la segunda generación de grandes máquinas. Se pusieron en funcionamiento tres prototipos. El MOD-2 es un aerogenerador de 2,5 MW. de potencia que empieza a producir electri-

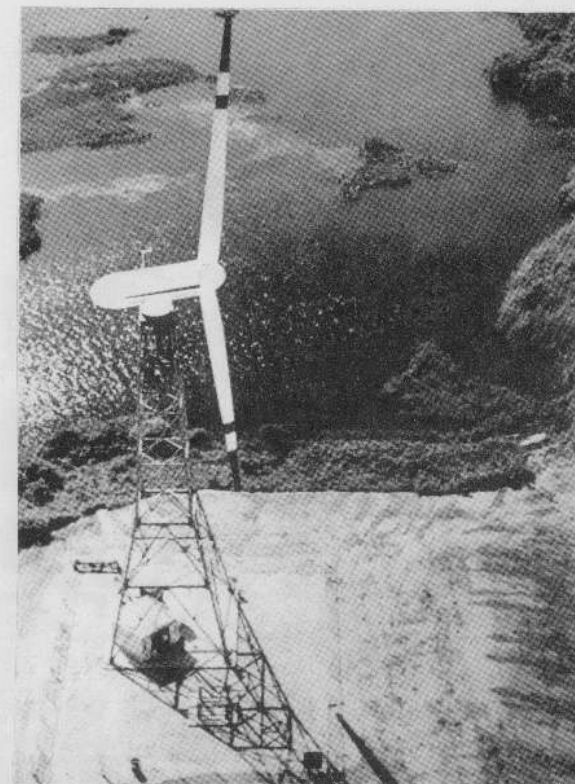


Figura 83. El MOD-0A de Block Island.



Figura 84. El MOD-1 de Boone.

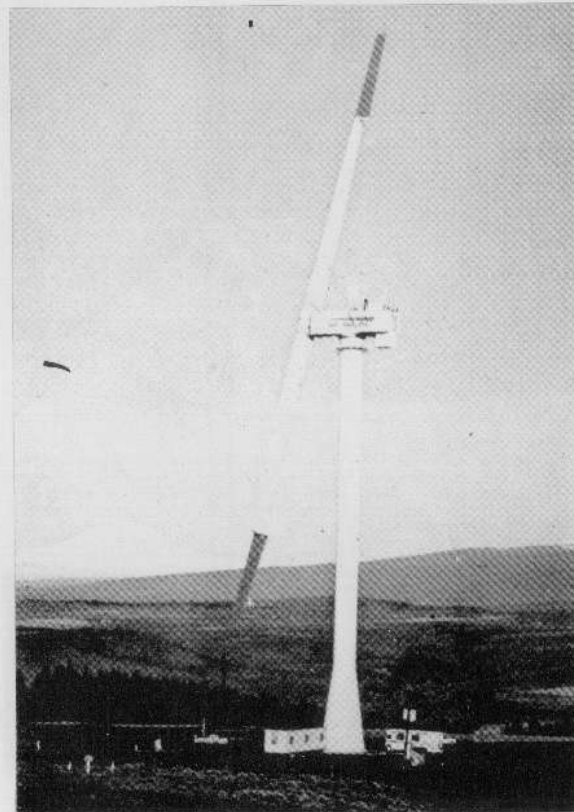


Figura 85. El MOD-2 de Goodnoe Hills.

ciudad con viento de 4,5 m/seg., desarrollando su potencia máxima entre 9 y 16 m/seg. Hacia mediados de 1981 un grupo de tres máquinas de este tipo se conectaron a la red de Goldendale (Washington), que representa la primera experiencia en la utilización de grandes aerogeneradores agrupados. Uno de los principales objetivos de este programa es la utilización de la energía

eólica en conjunción con la hidráulica. Las tres máquinas supondrán en total 7,5 MW. de potencia suficiente para 2.000-3.000 viviendas de tipo medio americano. Si estas máquinas se fabrican en gran cantidad costarán unos 2 millones de dólares (aproximadamente unos 800 dólares el kW. instalado).

Actualmente el Centro de Investigación Lewis de la NASA ha anunciado que se ha empezado el proyecto de diseño, fabricación e instalación del MOD-5. Se construyen 2 prototipos: el MOD-5A de 6.200 kW. y el MOD-5B de 7.200 kW., con diámetros de 122 m. y 128 m. y torres de 76 m. de altura.

Paralelamente se está construyendo una máquina de 4 MW. de 78 m. de diámetro (denominada WTS-4) para entrar en funcionamiento a mediados de 1982 en Medicine Bow (Wyoming). Generará la suficiente energía eléctrica para cubrir las necesidades de 1.200 familias. Esta máquina es la primera de una serie de hasta 50 a instalar en aquella zona, integradas en un complejo eólico-hidráulico con 49 centrales hidroeléctricas (fig. 86). La WTS-4 juntamente con su gemela WTS-3 las están desarrollando un consorcio americano-sueco. Los americanos fabrican las palas y los suecos el resto. Un cuadro comparativo de las dimensiones de estos grandes aerogeneradores se puede ver en la figura (87).

Donde podemos apreciar el perfil de los seis molinos que actualmente está experimentando el Centro Lewis de la NASA.



# Aerogeneradores de pequeña y mediana potencia en EE.UU.

El programa para pequeños aerogeneradores es gestionado por la planta de Rocky Flats (fig. 88) del «Department of Energy» en Golden (Colorado). Dicha planta tiene capacidad para probar 30 máquinas a la vez y es un centro de pruebas que suministra datos sobre los sistemas aerogeneradores existentes en el mercado, siendo a la vez una ayuda al Programa de desarrollo de pequeños aerogeneradores y un servicio hacia los fabricantes y usuarios.

Además de la planta de Rocky Flats el gobierno federal ha contratado a una serie de entes privados (ingenierías, centros de investigación, industrias...) para que desarrollen prototipos de pequeños aerogeneradores con tecnologías avanzadas. En la actualidad se han realizado 13 contratos (4 de ellos para pequeñas industrias) que incluyen máquinas de 1, 4, 8, 15 y 40 kW. Entre ellas se pueden citar: Enertech y North Wind (2 kW); North Wind y Tumac (4 kW.); Windworks, UTRC y Grumman (8 kW.); Enertech y UTRC (15 kW.); Kaman y McDonnell (40 kW.) (figs 89 a 93).

También se ha institucionalizado un Programa de Evaluación para pequeños sistemas aerogeneradores comerciales. En él se prevé la instalación de hasta 2 pequeñas máquinas en los diversos Estados de la Unión. Algunas de estas máquinas ya instaladas bajo éste programa son: Pinson C2E2 (eje vertical), Enertech 1.500, Whirlwind A-240.

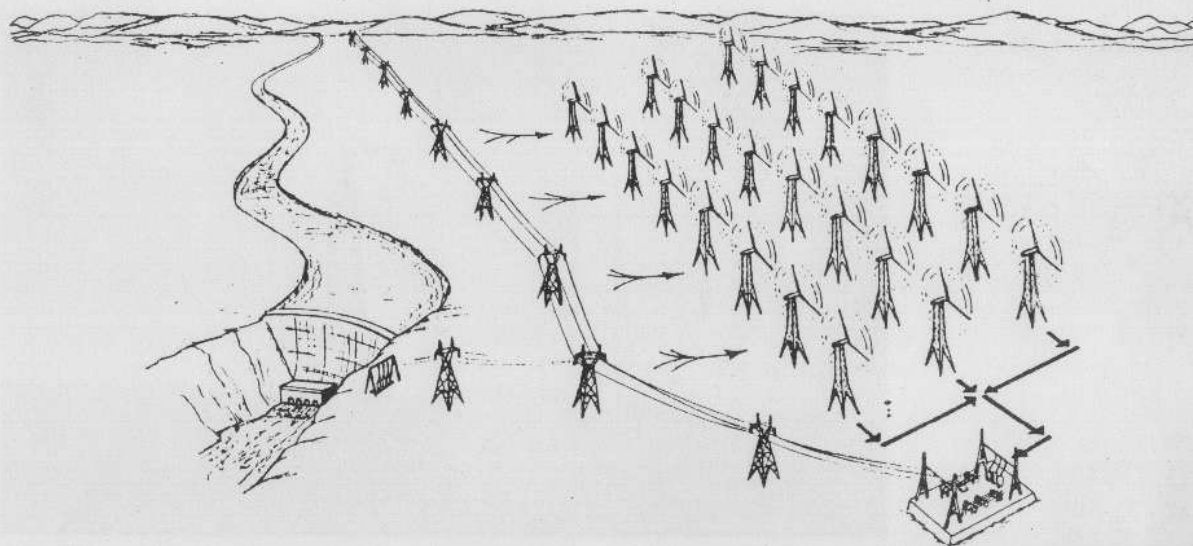


Figura 86. Proyecto de instalación eólico-hidráulico en Medicine Bow.

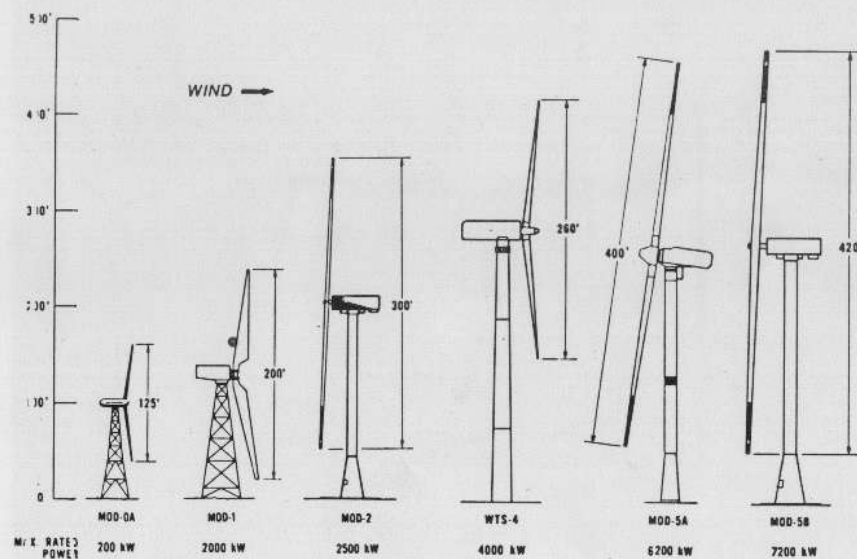


Figura 87. Comparación dimensional de los distintos aerogeneradores americanos de más de 1.000 MW.

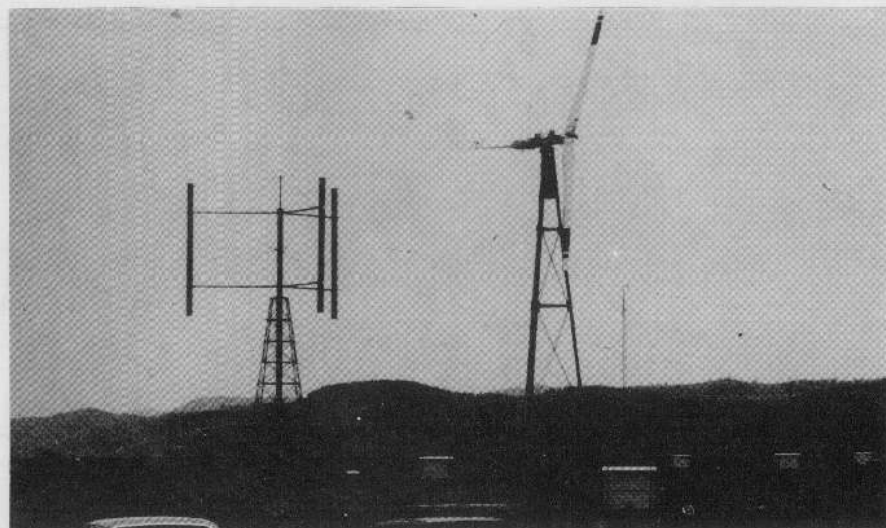


Figura 89. Aerogeneradores Kaman y Mc Donnell (40 kW).

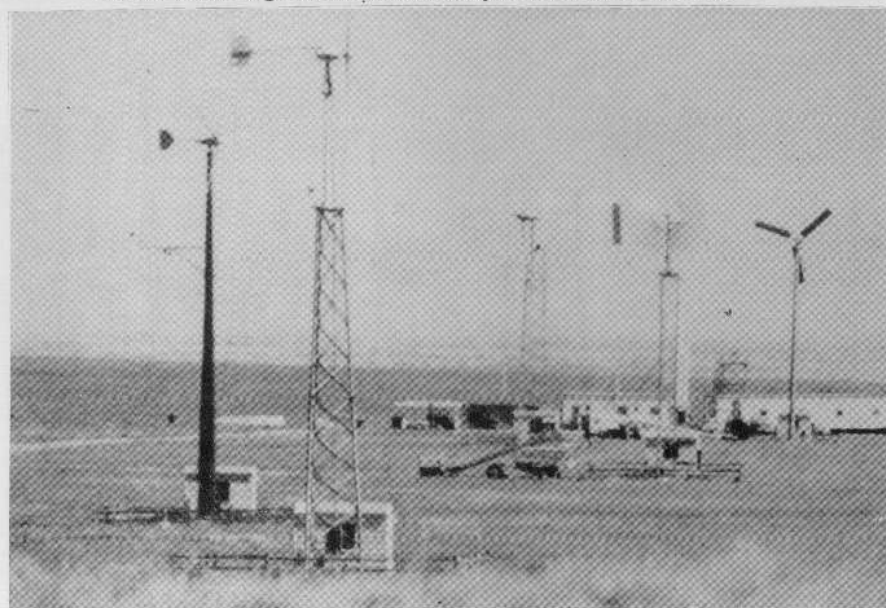


Figura 88. Planta de pruebas de Rocky Flatts.

Por último, la comisión Federal de Regulación de la Energía ha establecido una reglamentación que da facilidades financieras a aquellos usuarios que deseen instalar pequeños sistemas aerogeneradores.

Hay que resaltar que en la actualidad existen en los EE.UU. 26 fabricantes (Anexo X) de pequeños aerogeneradores (uno solo de los cuales fabrica 1.000 unidades al mes). Marcellus L. Jacobs, realizador de las famosas máquinas Jacobs de los años 30 (muchas de las cuales han estado funcionando correctamente más de 40 años y para las que, aun hoy en los EE.UU., existen empresas dedicadas a su recuperación y reutilización), está actualmente probando un estilizado aerogenerador tripala de 10 kW.

#### Aerogeneradores americanos de eje vertical.

Por el año 1974 y fruto de Programa de Desarrollo de Aerogeneradores de eje vertical emprendido por Canadá, los laboratorios Sandia iniciaron las primeras experimentaciones para desarrollar aerogeneradores tipo Darrieus (VAWT: Vertical Axis Wind Turbine) (fig. 94).

El primer prototipo tenía 3 palas y 5 m. de diámetro. Eran palas segmentadas de 13,6 cm. de ancho, desarrollaba una potencia de 5 kW.

El siguiente prototipo tenía 17 m. de diámetro y estaba situado sobre una torre de

4,5 m. de altura, se puso en marcha durante el mes de marzo de 1977. Fué probado con 2 y 3 palas de 53,3 cm. de anchura, desarrollaba una potencia de 50 kW, era tan alto como un edificio de 6 pisos.

Una tercera máquina tenía 34 m. de diámetro, para desarrollar 120 kW.

Actualmente existen empresas que ya comercializan aerogeneradores tipo Darrieus, de dos o tres palas de aluminio con potencias de 8, 60, 112, 300 y 500 kW (figs. 95 y 96).

En el mes de agosto de 1980 el Congreso de los EE.UU. dió luz verde al Programa de demostración y comercialización de grandes aerogeneradores, dedicando 900 millones de dólares a la instalación de una potencia equivalente a 800 MW. para el año 1988. No obstante y debido a la política energética de Reagan es posible que el programa eólico americano se retrase.

## Dinamarca.

En Dinamarca, país que tenía una amplia experiencia en el uso de los aerogeneradores, no fué la administración la que resucitó de nuevo los antiguos molinos, sino que fueron, en gran manera, los maestros de las Escuelas Tvind cuando decidieron construir un gran aerogenerador que les suministrara la energía que necesitaban para el funcionamiento del complejo educacional. El equipo responsable del proyecto inició sus trabajos el 19 de mayo de 1975. La

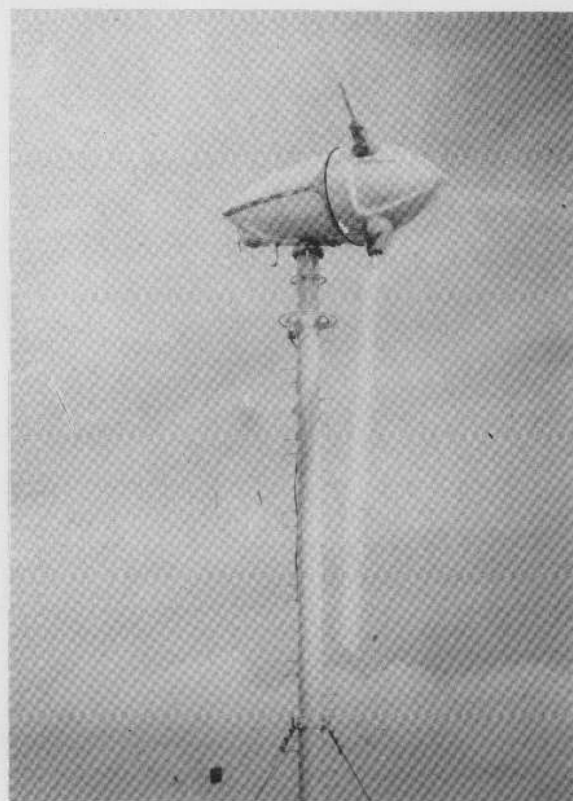


Figura 90. Windworker.

construcción empezó simbólicamente cuando se juntaron 300 personas el 29 de mayo, que cantando iniciaron la explanación del terreno. En el mes de marzo de 1978 el aerogenerador estaba listo para comenzar a girar. Ver en el Anexo IX los detalles de construcción y tecnológicos del aerogenerador de Tvind.

A la vista de que los trabajos de las escuelas Tvind avanzaban. ante las intensas



Figura 91. UTRC (8 kW).

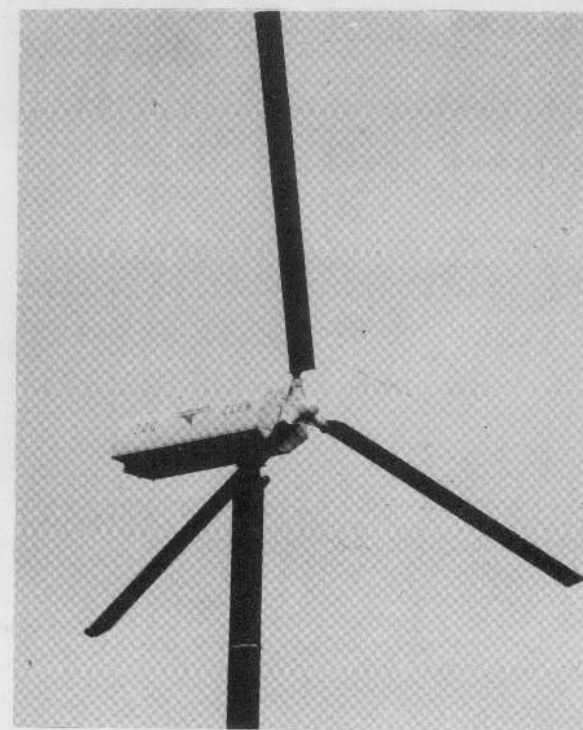


Figura 92. Gümmann (8 kW).



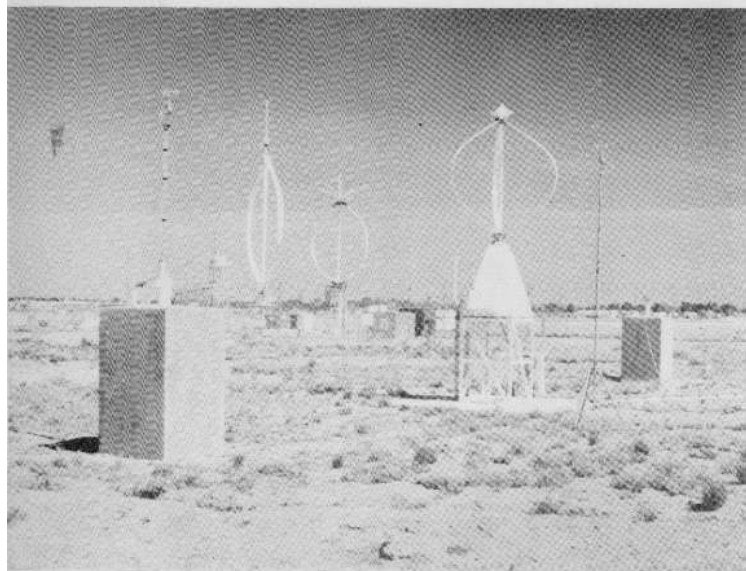


Figura 94. Centro de pruebas de Sandía.

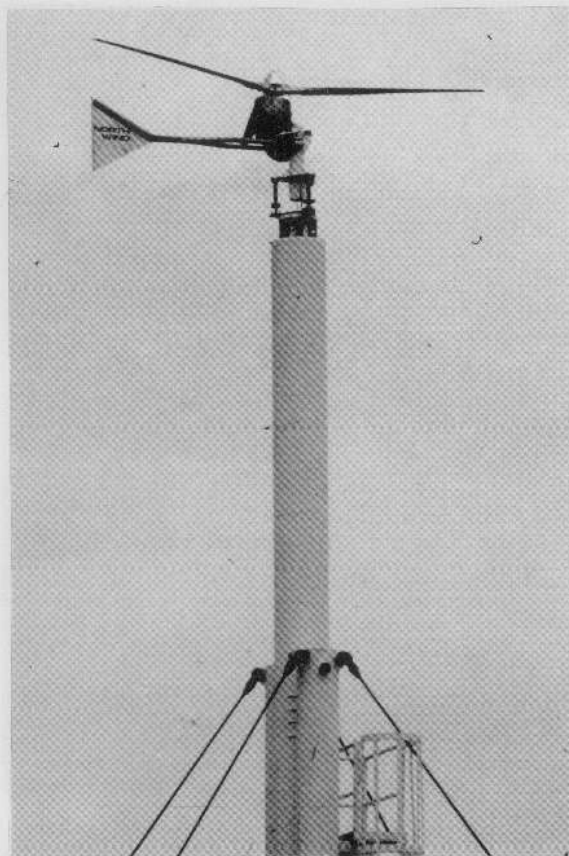


Figura 93. Nothwind.

campañas de propaganda de las organizaciones OOA (antinuclear) y OVE (pro-energías renovables), el Ministerio de Comercio y las empresas eléctricas elaboraron un Programa Eólico, iniciado durante el año 1977, que es coordinado por el DEFU (Asociación para la Investigación de las Empresas Danesas de Suministro Eléctri-

co). El Programa consistía en las siguientes tareas: medidas sobre el aerogenerador de Gedser (que llevaba sin funcionar más de 10 años), construcción de 2 aerogeneradores de 630 kW. en Nibe, búsqueda de lugares adecuados para la instalación de aerogeneradores experimentales, investigación de las posibilidades de la energía eólica respecto al sistema danés de suministro eléctrico, etc.

Durante el mes de junio de 1979 el prototipo denominado Nibe-A empezó a girar y en el mes de agosto de 1980 el Nibe-B. Ambos aerogeneradores son iguales en dimensiones y parecidos técnicamente, siendo su principal diferencia la forma de controlar la potencia: mientras en Nibe-B la regulación se realiza disminuyendo el ángulo de ataque de las palas en toda su longitud y a medida que aumenta la velocidad del viento, en Nibe-A sólo se realiza en las 2/3 partes exteriores de las palas (fig. 97).

Paralelamente el Ministerio de Energía danés financió un proyecto para pequeños aerogeneradores, que es gestionado por el Laboratorio Nacional Riso. La principal tarea del proyecto fué el establecimiento de una Planta de Pruebas para Pequeños Aerogeneradores y Aeromotores con siete plataformas de prueba, (fig. 98). Además el Riso ofrece tareas de consulting gratuitas para los constructores y ha establecido 2 premios para un concurso de diseño de aerogeneradores con diámetros de 11 m.

Durante el verano de 1979 se aprobó una ley mediante la cual el gobierno danés sub-

venciona a los usuarios de pequeños aerogeneradores reembolsando un 30% de los gastos hasta un máximo de 100.000 coronas (aproximadamente 1.300.000 pts.).

Actualmente existen en Dinamarca más de 20 fabricantes de aerogeneradores con potencias comprendidas entre 5 y 55 kW., además de un fabricante de máquinas de 250 kW.

### Reino Unido.

En el Reino Unido y hasta ahora pocos han sido los esfuerzos dedicados al desarrollo de aerogeneradores comerciales. Una excepción fueron los aerogeneradores Elteeco (de Sir Henry Lawson-Tancred) y los aerogeneradores WESCO («*Wind Energy Suply Company Ltd.*»), además de algunos grupos que experimentaron pequeños aparatos: Grupo de Tecnología Alternativa de la Open University, Centro de Tecnología Alternativa del País de Gales (fig. 99), etc.

Elteeco dispone de tres sistemas aerogeneradores: a) para accionar un generador de 30 kW. conectado a la red (fig. 100), b) para accionar un generador de 50 kW. para el calentamiento de agua, c) un sistema mixto de 30 kW. (5 kW. para corriente alterna sincronizada para la red y 25 kW. para calentamiento).

Wesco (fig. 101) fué el resultado de los esfuerzos conjuntos de dos tecnologías avanzadas: los sistemas de control y los helicópteros. Su producción se basa en má-

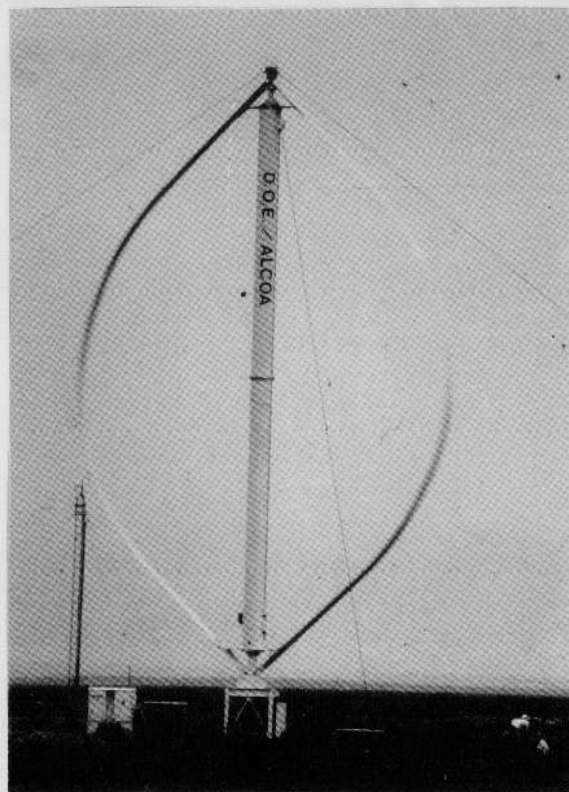


Figura 95. Aerogenerador Alcoa (100 kW) instalado en Rocky Flatts.

quinas de 3, 5, 7 y 18 m. de diámetro. Son utilizados para suministro directo de calor en granjas, invernaderos, etc. También tienen un pequeño aerogenerador tripala para montarse uno mismo.

En la actualidad los fondos del Departamento de Energía se reparten entre:

- el diseño detallado de un gran aerogenerador (60 m. de diámetro) con una

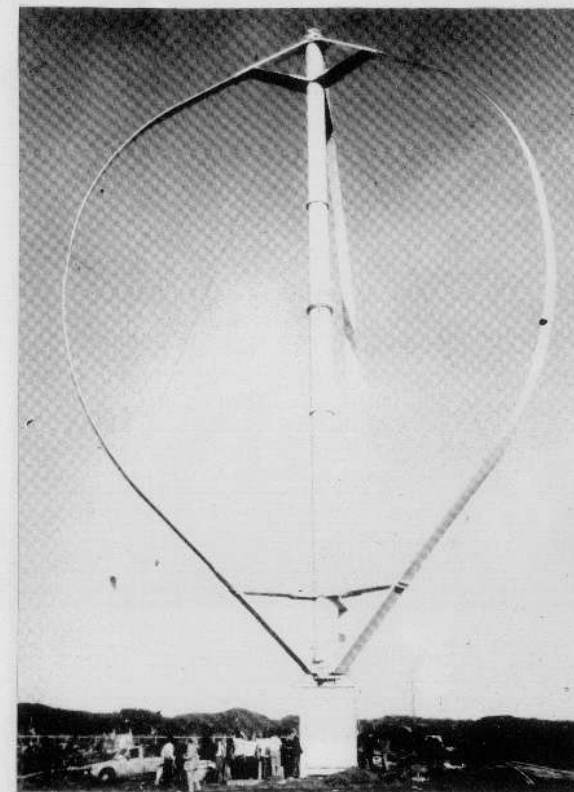


Figura 96. Aerogenerador Alcoa (500 kW) instalado en Agate Beach (Newport).



Figura 99. Centro de Tecnología Alternativa del País de Gales.



Figura 97. Aerogeneradores NIBE.

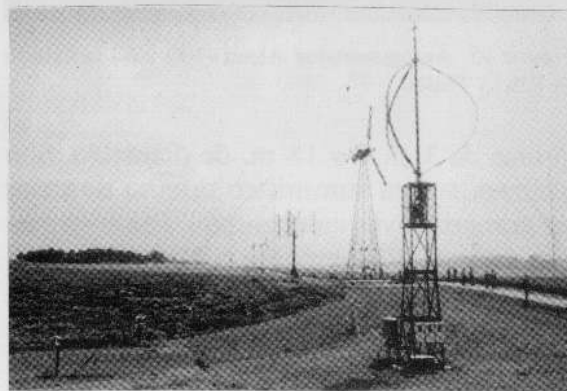


Figura 98. Planta de pruebas Riso.

potencia nominal de 3,7 MW. Un Consorcio creado a tal fin está esperando la decisión del gobierno británico para empezar la construcción.

- el diseño detallado de un aerogenerador de eje vertical de geometría variable (25 m. de diámetro) según la versión de P. Musgrove de la Universidad de Reading.
- una posible colaboración con North Scotland Hydro Board para la instalación de un aerogenerador de 100 kW. y así adquirir la experiencia necesaria en su manejo e integración a la red de distribución de electricidad y uno del orden del MW. para instalar en una de las islas Orkney (actualmente una empresa danesa ha suministrado un aerogenerador de 22 kW. para la isla South Ronaldsay).
- estudio de emplazamientos posibles de conjuntos de aerogeneradores en el mar del Norte.

Además del programa de la administración, algunos grupos han desarrollado sus propios artefactos comerciales:

- *P.I. Specialist Engineers Ltd.* (aerogenerador de eje vertical y geometría variable, 6 kW.) (fig. 102).
- *Trinble Windmills Ltd.* (aerogeneradores de 5 KW., 6 m. de diámetro a contrarrotación) (fig. 103).
- *Northumbrian Energy Workshop Ltd.* (fig. 104).





Figura 100. Aerogenerador Elteeco de 30 kW.

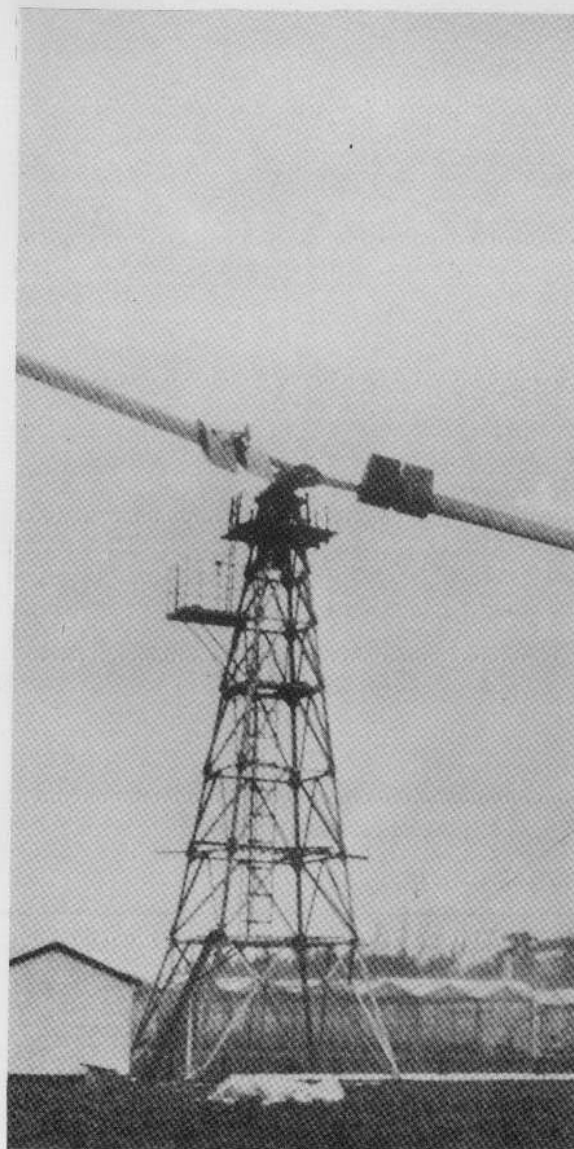


Figura 101. Aerogenerador WESCO.

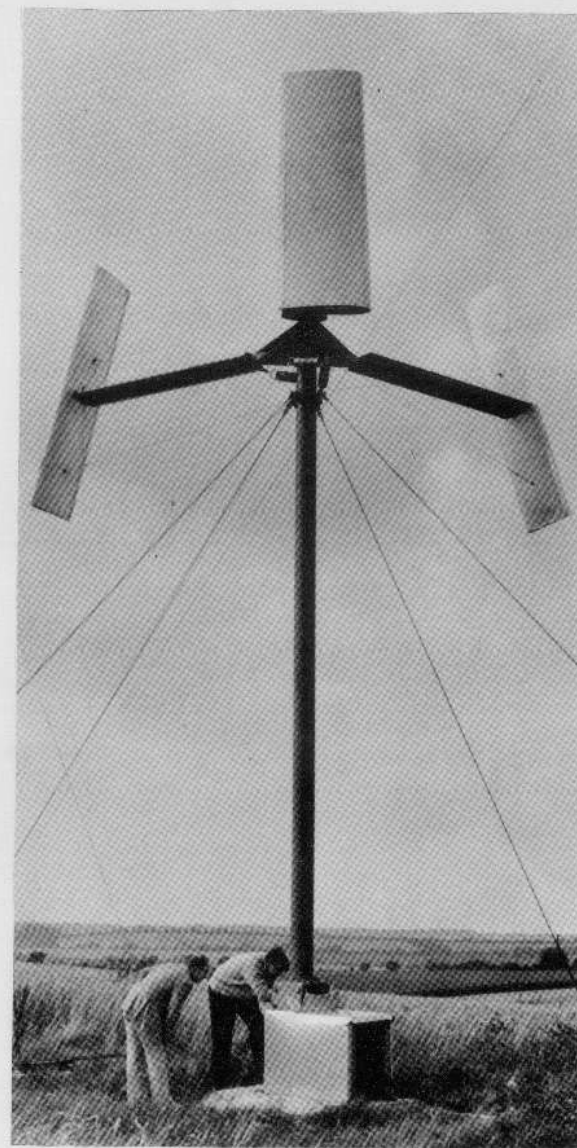
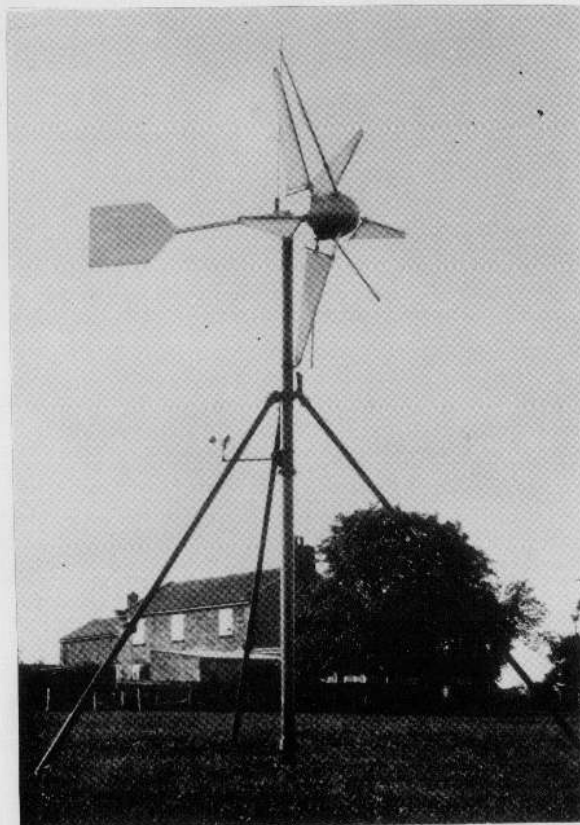
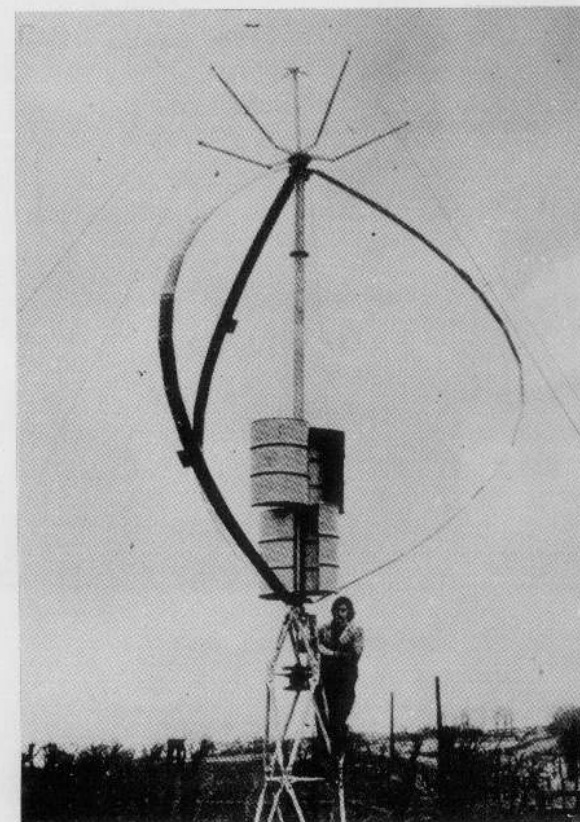


Figura 102. Aerogenerador PIS.



*Figura 103. Aerogenerador Trimble.*



*Figura 104. Aerogenerador Maximill.*





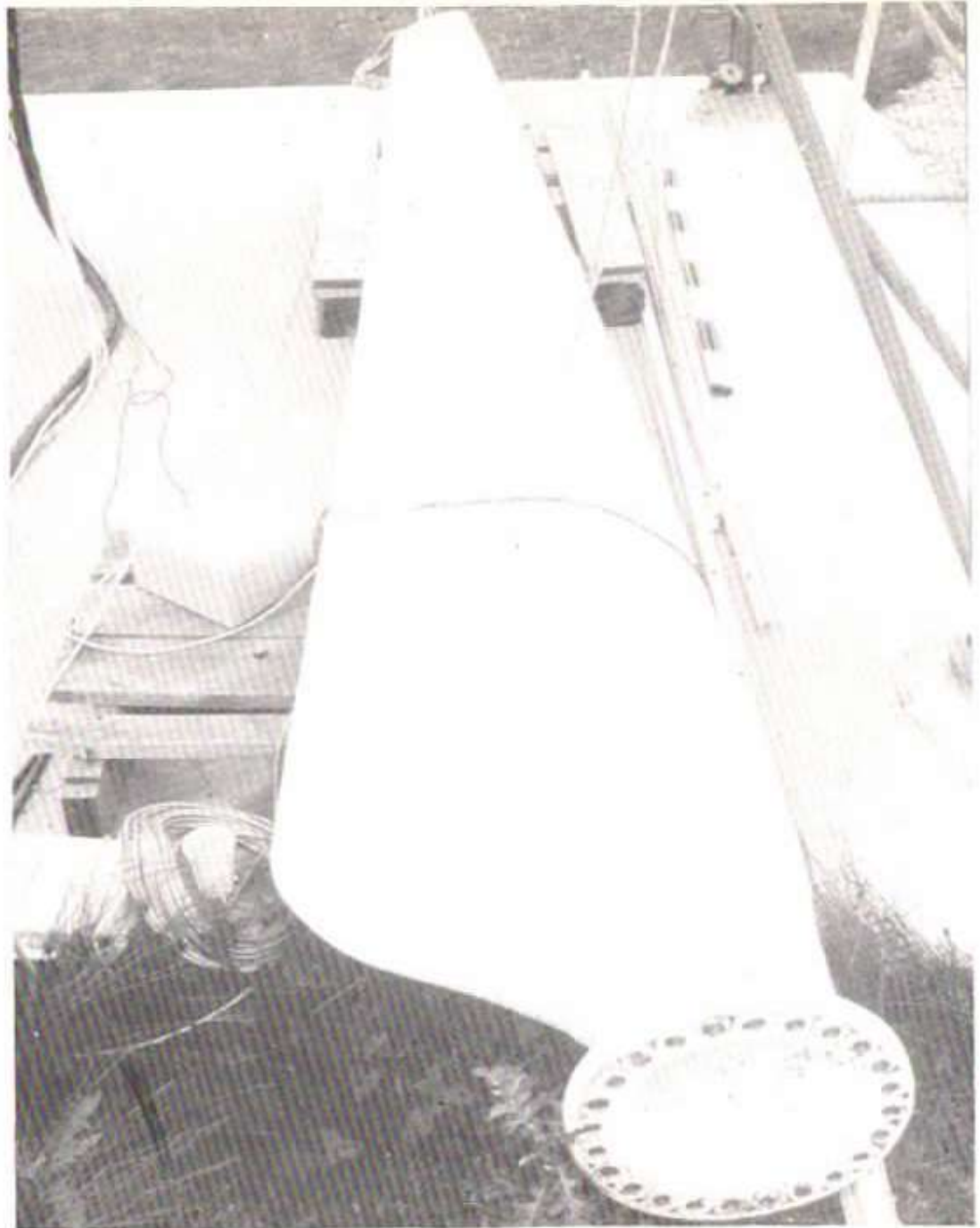
# 4

## Teoría básica de un Aeromotor

---

Conceptos básicos. Sistemas de captación.  
Aerodinámica.

---



## POTENCIA

Se entiende por potencia la capacidad de realizar un trabajo, o dicho de otra manera, la cantidad de energía por unidad de tiempo que se puede obtener de una fuente de energía o que puede dar o consumir un dispositivo determinado.

Dado que muchas veces hablaremos de energía, hay que tener presente la relación existente entre potencia y energía dada por:

$$\text{Potencia} = \text{Energía} / \text{Tiempo}$$

o bien

$$\text{Energía} = \text{Potencia} \times \text{Tiempo}$$

La energía del viento es debida a la velocidad de desplazamiento del aire que es de tipo cinético (del griego Kinema = movimiento).

La energía cinética ( $E_c$ ) de un cuerpo en movimiento viene dada por la expresión:

$$E_c = 1/2 m v^2$$

Siendo  $m$  la masa del cuerpo (kg.) y  $v^2$  su velocidad al cuadrado (m/seg.).

En términos de potencia podemos escribir:

$$P_c = \frac{1}{2} \frac{m}{t} v^2$$

quedando  $P_c$  expresada en watios y el tiempo en segundos.

Centrándonos un poco más en el viento, la relación  $m/t$  representa la masa del aire por unidad de tiempo que atraviesa una superficie en la cual estamos evaluando la potencia del viento.

Esta masa por unidad de tiempo, para una determinada superficie, vendrá dada por:

$$\frac{m}{t} = \rho \cdot s \cdot v$$

donde  $\rho$  es la densidad del aire (masa por unidad de volumen  $\text{kg/m}^3$ ),  $s$  la superficie considerada ( $\text{m}^2$ ) y  $v$  la velocidad del viento.

Sustituyendo esta última expresión en la de potencia tendremos:

$$P_c = 1/2 \rho \cdot s \cdot v^3$$

Si tomamos como densidad media del aire el valor  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$  obtendremos:

$$P_c = 0,625 \cdot s \cdot v^3 \text{ (w)}$$

A continuación tenemos un gráfico (fig. 105) que nos da la potencia por metro cuadrado en función de la velocidad del viento.

La densidad del aire varía principalmente con la altitud sobre el mar y la temperatura. Esta variación puede ser del orden del

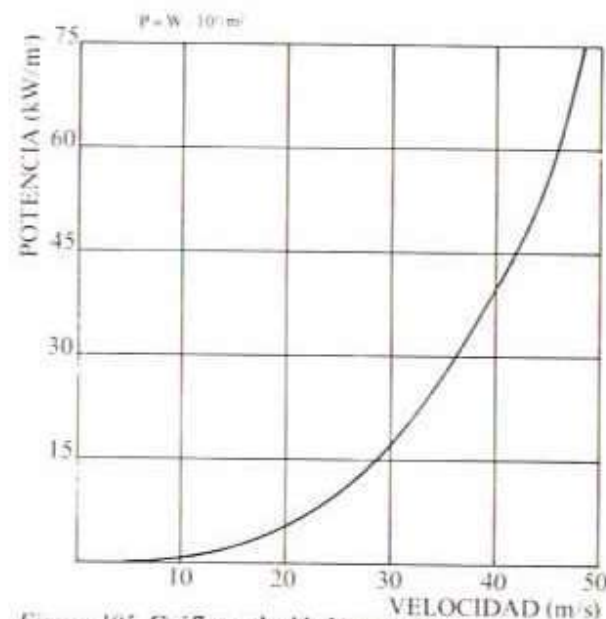


Figura 105. Gráfico velocidad/potencia.

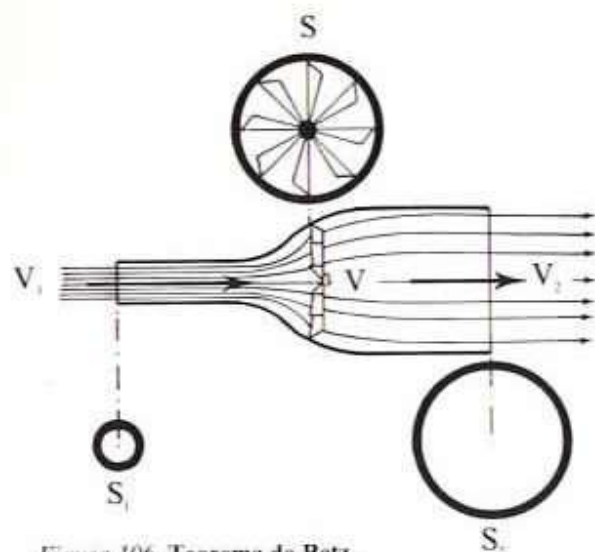
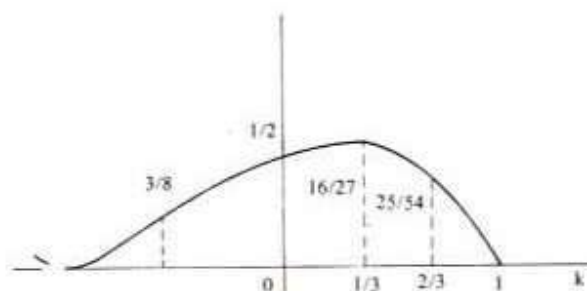


Figura 106. Teorema de Betz.



7% sobre un valor medio que es el que se toma normalmente.

Resumiendo, vemos que la potencia del viento depende:

- de la densidad del aire.
- de la superficie considerada.
- de la velocidad del viento, por estar ésta elevada a la tercera potencia en la expresión final que hemos obtenido. Esta enorme dependencia de la velocidad del viento queda claramente reflejada en el gráfico anterior.

### TEOREMA DE BETZ

Podría pensarse que con una máquina perfecta sería posible transformar toda la potencia del viento en potencia aprovechable, es decir, extraer del viento toda la energía. Desgraciadamente, como demostró A. Betz, ello no es posible y solo puede obtenerse un 60% como máximo.

Creemos que no es necesario dar aquí la demostración del teorema de Betz, pero si podemos dar las bases del mismo:

Veamos la figura (106.) en la que S es la superficie considerada con velocidad de viento V y S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> las superficies anterior y posterior según la dirección del viento con velocidades V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub> no perturbadas por la máquina que coloquemos en S.

La potencia que extraemos del viento, según la expresión hallada, debe igualarse a

la variación de cantidad de movimiento (masa por incremento de velocidad) del aire al pasar de S<sub>1</sub> a S<sub>2</sub>.

A partir de esto se llega a obtener la expresión:

$$P = \frac{\rho}{4} S \cdot v_1^3 \cdot (1 + k) \cdot (1 - k^2)$$

siendo  $k = v_2/v_1$ .

Esta función, que podemos ver representada en la figura (107.) presenta su máximo para  $k = 1/3$ .

Tomando  $\eta^V$  (rendimiento volumétrico aerodinámico  $\eta^V = 1/2 (1 + k) \cdot (1 - k^2)$ ) un valor de 16/27.

Afectando la expresión de la potencia del viento de este nuevo factor, obtendremos la potencia teórica máxima aprovechable que vendrá dada por:

$$P_{\text{max}} = 0,592 \cdot \frac{\rho}{2} S \cdot v^3$$

o bien con  $\rho = 1,25 \text{ Kg/m}^3$ ,

$$P_{\text{max}} = 0,370 \cdot S \cdot v^3$$



## COEFICIENTE DE IRREGULARIDAD

Cuando se pretende evaluar la energía que podemos obtener del viento para periodos largos de tiempo (superiores a varios minutos), se utiliza la velocidad media del viento  $\bar{v}$  en este periodo, sustituyéndola en la expresión de la energía.

$$E_{\text{tma}} = 0,370 \cdot S \cdot \bar{v}^3 \cdot t$$

siendo  $t$  el tiempo considerado.

Pero esto nos da un valor inferior al real, principalmente en lugares con vientos suaves, ya que se menosprecia los periodos de viento fuerte al hallar la velocidad media.

Para obtener un valor más real, hay que afectar la anterior expresión del coeficiente de irregularidad (C. I.) que se define como el coeficiente entre la media de las velocidades instantáneas al cubo y el cubo de la velocidad media

$$CI = \frac{\int v^3 dt}{t \bar{v}^3}$$

Como puede apreciarse en la figura (108.) este coeficiente depende de la velocidad media y de la regularidad del viento, siendo mayor cuanto mayor sea la velocidad media y mayores las variaciones de velocidad. Vemos también que su valor está comprendido generalmente entre 1,5 y 3,5.

Por tanto la expresión de la energía teórica máxima aprovechable nos quedará como sigue:

$$E_{\text{tma}} = 0,370 \cdot S \cdot \bar{v}^3 \cdot T \cdot CI$$

o bien en términos de potencia

$$P_{\text{tma}} = 0,370 \cdot S \cdot \bar{v}^3 \cdot CI$$

## ENERGÍA

Hay dos métodos para determinar la energía obtenible del viento. Una es colocar un aeromotor y mediar la energía que produce y otra es estimarla mediante cálculos a partir de datos de la velocidad del viento.

El más utilizado es el segundo a partir de la curva de duración de velocidades. Aplicando la fórmula de la potencia a esta curva, obtendremos el gráfico de duraciones de potencias y como la energía es igual a la potencia por el tiempo, valor que tenemos en el gráfico, hallaremos la energía máxima aprovechable, es decir, con un rendimiento del 100% del aeromotor.

Pero no siempre hay que seguir este camino, puesto que para aeromotores normales se han calculado unas tablas que dan directamente, a partir de la velocidad media anual, la energía obtenible por metro cuadrado de superficie de área perpendicular a la dirección del viento, o la energía obtenible por kilowatio de potencia del aeromotor. En el siguiente capítulo veremos algunos ejemplos.

Hay otro método menos exacto que consiste en multiplicar la potencia del aparato por el número de horas de funcionamiento; normalmente entre 1.200 para vientos

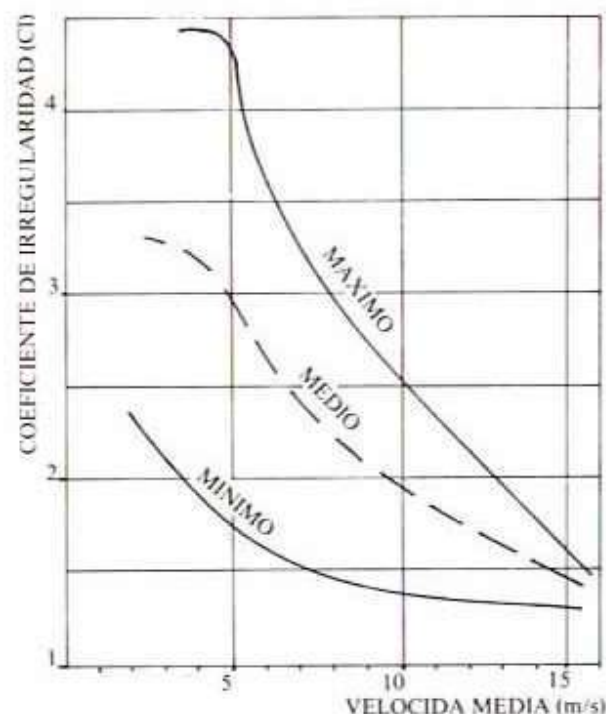


Figura 108. Coeficiente de irregularidad.

anuales de 4 m/seg a 2.500 para vientos anuales de 6,5 m/seg.

## AEROMOTORES

Se define como aeromotor a un motor rotativo accionado por el viento.

Un aerogenerador será pues un aeromotor que acciona un generador eléctrico.

El clásico molino de viento es un aeromotor para moler grano (trigo, cebada, maíz, etc.).

### Características.

Todos los aeromotores, así como todas las máquinas, tienen unos parámetros que los definen y nos dicen cómo son: grandes, rápidos, etc.

Los aeromotores tienen unas velocidades del viento a las cuales hacen una función concreta y por tanto singular, definiéndose estas así:

*Velocidad de arranque:* Es la mínima velocidad del viento que hace girar al aeromotor, sin darnos carga o potencia.

*Velocidad de conexión:* Es la mínima velocidad del viento a partir de la cual el aeromotor da potencia o puede hacer un trabajo útil.

*Velocidad nominal:* Es la mínima velocidad del viento a la cual la potencia que da el aeromotor es máxima.

*Velocidad de frenado:* Es la máxima ve-

locidad del viento que puede aguantar el aeromotor produciendo energía sin dañarse.

*Velocidad máxima soportable:* Es la máxima velocidad del viento que puede aguantar el aeromotor sin destruirse.

*Número de revoluciones nominal:* Es el número de revoluciones que se alcanza cuando la velocidad del viento es la nominal.

*Potencia nominal:* Es la máxima potencia que puede producir el aeromotor. Se da cuando la velocidad del viento y el número de revoluciones son los nominales.

*Area de captación:* Es la superficie del aeromotor perpendicular a la dirección del viento que incide sobre él, y que lo transforma en energía mecánica.

Como conclusión, para saber cómo es un aeromotor hay que conocer:

- La velocidad de conexión.
- La velocidad nominal.
- La velocidad del frenado.
- La velocidad máxima soportable.
- La potencia nominal.
- La superficie de captación.

La velocidad nominal es la clave del aerogenerador ya que de ella dependerá en gran parte la rentabilidad de la instalación. Damos a continuación una tabla de velocidades nominales óptimas:

Vientos	Velocidad nominal
suaves	5 a 6 m/seg.
medianos	7 a 8 m/seg.
fuertes	9 a 12 m/seg.
violentos	15 m/seg



Con estos datos también se puede calcular cual es el rendimiento del aeromotor respecto a la potencia media que se llama coeficiente de potencia ( $C_p$ ).

$$C_p = \frac{\text{Potencia nominal}}{\frac{1}{2} \rho S \cdot v_s^3}$$

También se puede dar el rendimiento respecto a la potencia máxima aprovechable

$$\eta = \frac{\text{Potencia nominal}}{0,593 \cdot \frac{1}{2} \rho S v_s^3}$$

Los aeromotores tienen diferentes coeficientes de potencia ( $C_p$ ). El valor máximo se obtiene para unas velocidades de giro dadas, se toma como unidad la relación entre la velocidad de la punta de la pala ( $U$ ) y la velocidad del viento ( $V$ ).

Este valor  $U/V$  indica si el aparato gira muy deprisa o poco.

Una vez vistos los parámetros característicos de un aeromotor, vemos que éste no será capaz de extraer toda la energía del viento ya que no puede trabajar con velocidades de viento demasiado bajas ni demasiado altas y la potencia que puede darnos está limitada (potencia nominal).

Para ver, pues, cual es la energía anual que podemos obtener realmente, debemos partir de la curva de duración de potencias

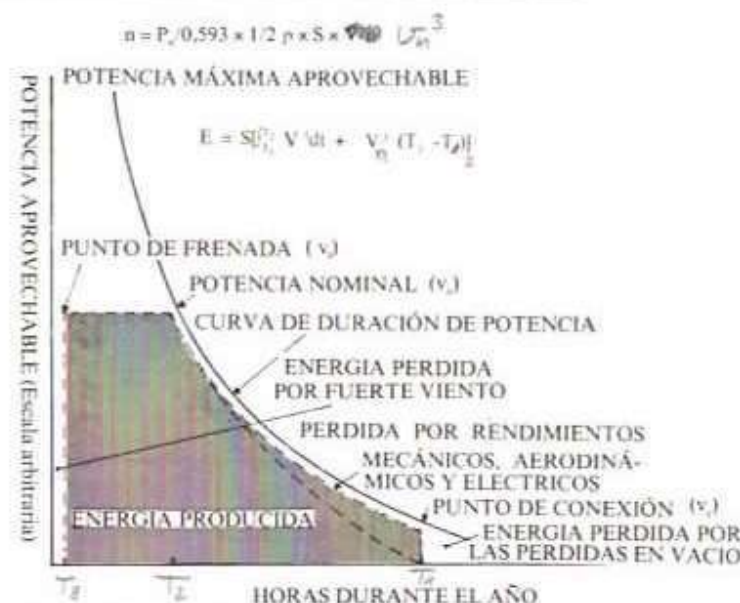


Figura 109. Energía anual producida por un aerogenerador

(capítulo 4) y eliminar el área correspondiente a energía que el aeromotor no puede aprovechar.

Las zonas que debemos eliminar quedan reflejadas en la figura (109.) y son debidas a las causas siguientes:

- Energía no aprovechada por vientos demasiado fuertes. Velocidades superiores a la de frenado.
- Limitación de potencia del aeromotor a la nominal.
- Pérdidas debidas a rendimientos aerodinámicos, mecánicos y eléctricos.
- Energía no aprovechada por velocidades de viento inferiores a la de conexión.



Potencia del aeromotor (KW)	Energía producida					
	Velocidad media anual ( m/s )					
	2,7	3,6	4,5	5,4	6,3	7,2
0,5	288	576	840	1104	1320	1488
1	428	1080	1560	2064	2496	2880
2	960	1920	2880	3840	4800	5640
4	1800	3600	5520	7440	9360	11040
6	2760	5520	8400	11280	14160	17040

TABLA 1

Diametro del aeromotor m	POTENCIA KW									
	Velocidad nominal m/s									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3,65	0,2	0,4	0,7	1,0	1,4	2,0	2,6	3,4	4,3	5,4
5,0	0,5	0,8	1,3	2,0	2,9	3,9	5,2	6,8	8,6	10,8
7,0	1,0	1,8	2,9	4,3	6,1	8,3	11,1	14,4	18,3	22,8
12,0	3,6	6,2	9,9	14,7	21,0	28,8	38,3	49,7	63,2	79,0
18,8	9,8	17,0	27,0	40,3	57,3	78,6	104,6	135,9	172,7	215,7

TABLA 2

Por tanto la energía anual real obtenible corresponde al área rayada de la figura.

Traduciendo estos valores a situaciones prácticas, es decir a la determinación de la potencia o la superficie de captación para velocidades de viento determinados, podemos dar para un aeromotor de  $C_p = 0,3$  que es muy usual, la relación de la tabla número uno.

La energía producida anualmente por un aeromotor con un coeficiente de potencia de 0,35 es la de la tabla número dos.

### Sistemas de captación.

En este apartado se van a clasificar las máquinas eólicas, en base a los sistemas de captación empleados para transformar la energía cinética del viento en energía mecánica utilizable en el eje (fig. 110).

La primera clasificación que se puede hacer es entre los sistemas directos y los indirectos de captación.

### Métodos de captación directa.

Se pueden distinguir entre:

- máquinas en las que las palas se desplazan en la misma dirección del viento.*
- aquellas en que las palas se desplazan perpendicularmente a la dirección del viento.*

### Máquinas con palas desplazándose en la misma dirección del viento. (I)

Llamando  $v$  a la velocidad del viento y  $u$  a la velocidad de la pala, estas máquinas se caracterizan porque  $u < v$  teniendo el máximo rendimiento para  $u = v/3$ . Son aeromotores lentos.

Se pueden subdividir en tres tipos:

- máquinas de arrastre simple.*
- máquinas de arrastre diferencial.*
- máquinas con variación cíclica del ángulo de incidencia.*

**Máquinas de arrastre simple. (I.1)**

Son aquellas en las que las palas que se desplazan en dirección contraria al viento, están privadas de su efecto.

Entre ellas podemos destacar:

- a) *con palas fijas y pantalla*. Una pantalla convenientemente colocada, elimina la acción del viento sobre las palas que se desplazan a contraviento.
- b) *con palas articuladas y topes*. Las palas están articuladas sobre ejes paralelos al eje del captador y con un tope en el cual motrices se apoyan cuando se desplazan en la misma dirección que el viento y que permite la puesta en bandera de las mismas cuando lo hacen en dirección contraria a éste.
- c) *con variación cíclica de la orientación de las palas*. La articulación de la pala permite su rotación cíclica obteniéndose un efecto análogo al caso anterior pero sin la utilización de topes.

las palas

**Máquinas de arrastre diferencial. (I.2)**

Aquellas en que la forma de las palas es tal que la fuerza de arrastre es menor a contraviento que si se desplazan en la misma dirección del viento.

Se pueden distinguir tres tipos:

- a) *el molinete de cazoletas*. Idéntico al sistema usado en los anemómetros. La forma y el número de cazoletas varía según el modelo.

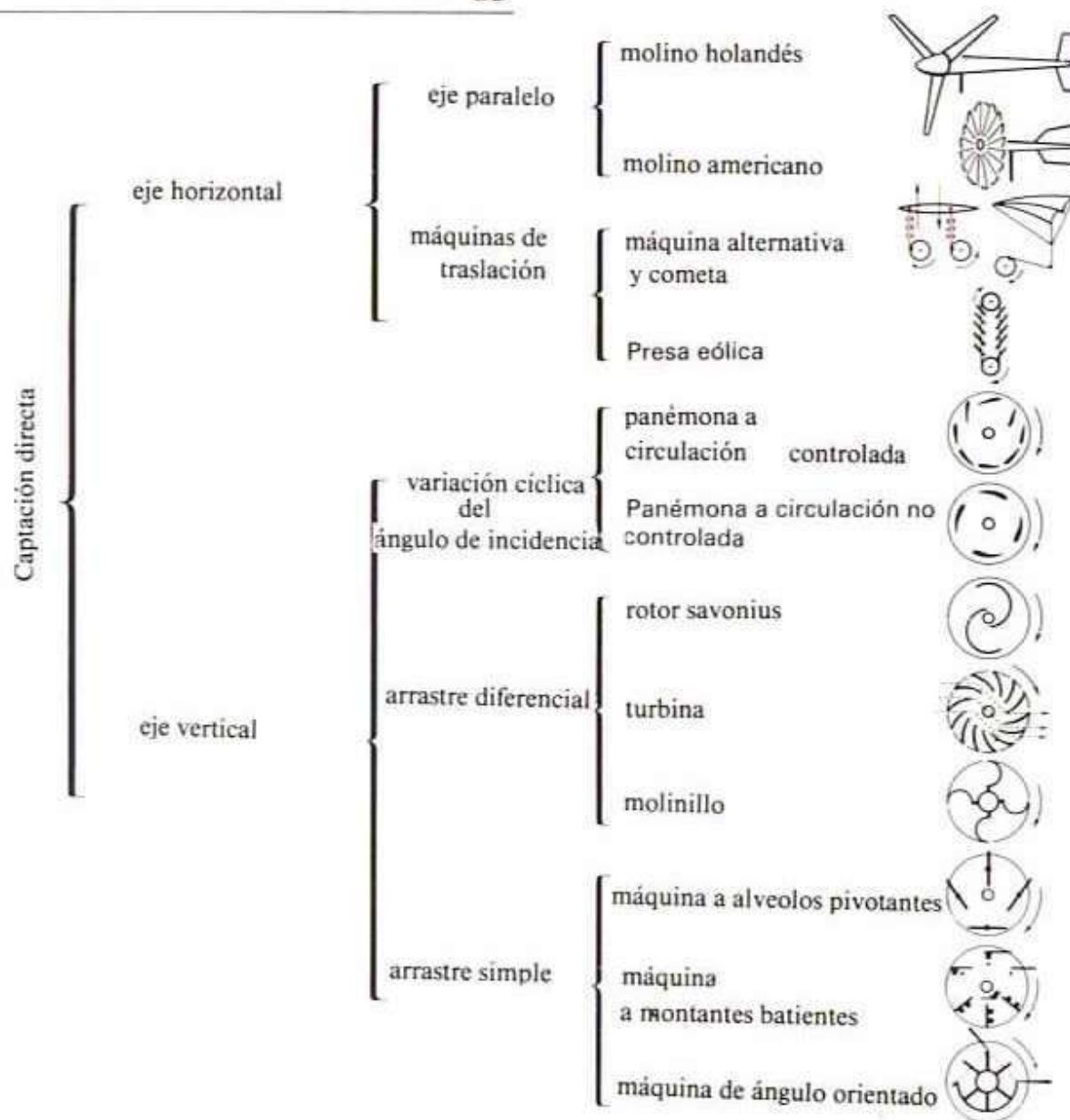


Figura 110. Diferentes sistemas de captación.



- b) *Las máquinas de flujo transversal.* Una parte de las palas funcionan a base de la diferencia de fuerza de arrastre, mientras un flujo de aire atraviesa el captador actuando dos veces sobre las palas.
- c) *el rotor de Savonius,* es una máquina derivada del molinete de cazoletas y emparentada con la de flujo transversal. En ella se puede conseguir una velocidad periférica ( $u$ ) inferior a la del viento ( $v$ ).

#### Máquinas con variación cíclica del ángulo de incidencia. (I.3)

También denominadas "panémonas" y que a veces se confunden con las de arrastre diferencial, a pesar de que el viento atraviesa dos veces el sistema de captación.

Podemos distinguir dos tipos:

- a) *con palas orientadas cíclicamente.* Sólo una parte de las palas produce efectos motores. La variación del ángulo de incidencia sobre el perfil se consigue mediante la rotación adecuada de las palas.
- b) *con palas fijas.* Estas máquinas sólo son viables para relaciones tal es que  $u > v$  ( $u$  mucho mayor que  $v$ ). La variación del ángulo de incidencia es debida a la combinación de velocidades y sólo adquiere valores aceptables si la velocidad del rotor es suficiente. Por tanto necesitan sistemas de arranque

ya que por sí solas no consiguen ponerse en marcha a menos que se utilicen dispositivos que según la dirección del viento posicionen convenientemente las palas.

#### Máquinas con palas que se desplazan perpendicularmente a la dirección del viento. (II)

Se caracterizan por que  $u > v$ . En ellas el efecto sobre las palas se logra mediante la desviación del flujo de aire y va acompañada por la circulación de velocidades entorno del perfil de las palas. Esta circulación es debida a la combinación del efecto incidente del flujo relativo y la forma del perfil.

Se pueden subdividir en tres tipos:

- a) *de traslación,*  
~~b) con variación cíclica del ángulo de incidencia~~
- c) *con eje paralelo a la dirección del viento.*

#### Máquinas de traslación. (II.1)

Se pueden dividir en tres tipos:

- a) *Máquinas "corredoras".* Un conjunto de palas está montado en un sistema de correas girando en torno a dos poleas. El viento actúa doblemente sobre las palas ya que éstas tienen una posición al subir y otra al bajar.



- b) *Máquinas con perfil oscilante.* Una sola pala está montada sobre un conjunto de bielas y manivelas defasadas que producen un movimiento de oscilación.
- c) *Trenes de rotores.* Son los rotores tipo Flettner que aprovechan el efecto Magnus (movimiento de traslación producido por el viento al incidir sobre un cilindro giratorio). Van montados en vagonetas a las que transmiten el movimiento, lográndose su circulación sobre railes (dispositivo Madaras).

### Máquinas con eje paralelo a la dirección del viento. (II.2)

Son las más conocidas, bien sean los aeromotores rápidos empleados para la generación de electricidad ( $u \gg v$ ) bien sean los clásicos aeromotores multipala ( $u > v$ ) utilizados para el bombeo de agua. La forma y perfil de las palas puede variar en gran manera, pudiendo incluso estar formadas por rotores tipo Flettner.

### Métodos de captación indirecta.

Aquellos que utilizan algún sistema de captación directa además de algún órgano estático, o bien utilizan órganos totalmente estáticos.

Los primeros se basan en el uso de concentradores, difusores, deflectores, efecto

Ventouri, etc., permitiendo aumentos de velocidad y potencia. En el caso de máquinas de eje horizontal no tiene ningún interés, mientras que su utilización en las de eje vertical es más viable.

Los segundos aprovechan el fenómeno de concentración energética que experimentan los flujos de aire cuando tienen que atravesar obstáculos interpuestos en su trayectoria y los fenómenos ascensionales del aire caliente. Ambos fenómenos dan lugar a un rotacional, es decir, la creación de un ciclón artificial confinado. En la actualidad existen las propuestas de S. Yen (Grumman Aerospace), la de J. V. Zapata y la de E. Nazarre.

Un tercer sistema de captación indirecta del viento 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.

### Aerodinámica.

Una superficie plana perpendicular al viento ofrece una resistencia tanto mayor cuanto mayor sea esta superficie.

Si colocamos una placa con un ángulo de inclinación determinado respecto al suelo (fig. 111.) produciría una fuerza hacia arriba como se indica en la figura y una resistencia menor que el caso anterior.

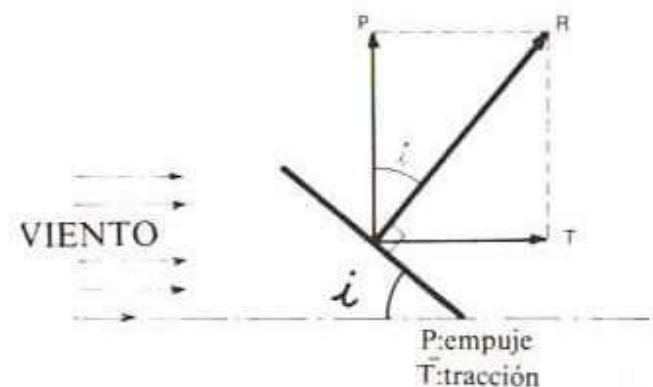


Figura 111. Descomposición de la fuerza resultante de la acción del viento.

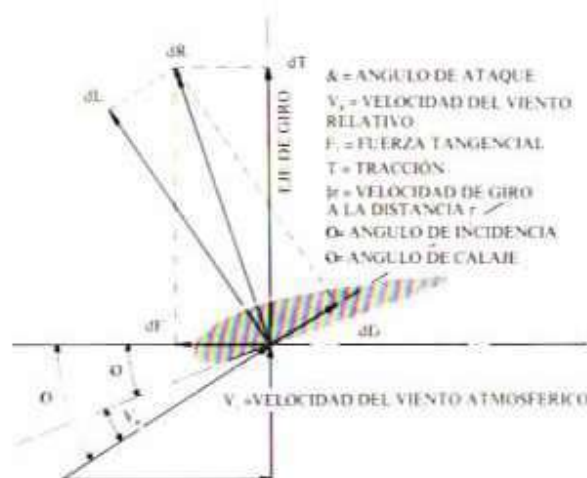


Figura 112. Velocidades y fuerzas en un elemento de la pala.

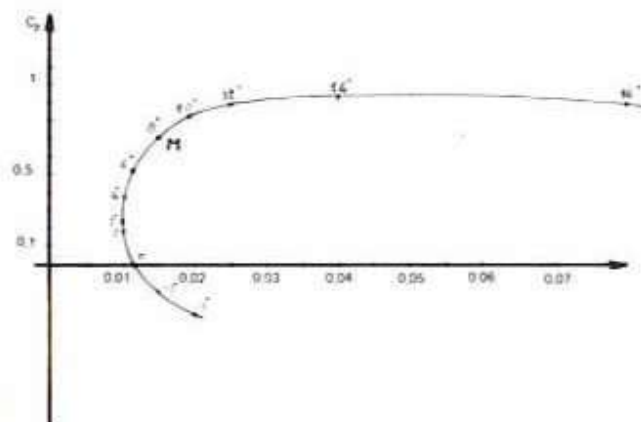


Figura 113. Diagrama polar de un perfil.

La fuerza hacia arriba es mayor cuanto más se parezca a un ala de avión (fig. 112.).

Los ingenieros aeronáuticos han comprobado que el perfil del ala de un avión tiene un ángulo de incidencia, de inclinación o ataque, en el cual la fuerza hacia arriba es máxima y la resistencia mínima, esto se comprueba en el diagrama polar de un perfil de ala (fig. 113) en el cual:

$C_x$  es el coeficiente de resistencia.  
 $C_z$  es el coeficiente de sustentación.

### Hélice.

Sobre la hélice actúan dos vientos, el viento atmosférico perpendicular a la pala y el originado por el giro de la hélice, paralelo al plano de giro de las palas. La suma de ambos es el que ve la pala, por eso se le llama viento relativo (fig. 114.). Como la velocidad de la punta de la pala es superior a la del centro, se cumple que el viento que ve la pala en el eje es más perpendicular que el de la punta, ya que la velocidad del viento a lo largo de la pala es constante. Para que dé potencia máxima es necesario que la pala vea siempre viento con un ángulo constante, igual al que da  $C_z/C_x$  máximo, por lo tanto la pala que es alabeada, es decir, que está torcida a lo largo del eje longitudinal, tiene mayor rendimiento.

De esta forma se consigue que la pala de la potencia máxima y por tanto la máxima energía.

### Perfiles.

Los más utilizados son los de la serie NACA.

El de mejor rendimiento es el de más difícil construcción, por lo que damos varios Anexo VI

El rendimiento de un perfil depende de la velocidad de giro que para cada máquina se puede determinar por el gráfico de  $C_p$  de los diferentes aeromotores.

$$n' = \frac{1 - K \frac{\omega r}{V_r}}{1 + K \frac{\omega r}{V_r}} \quad K = \frac{C_x}{C_z} \quad \text{ver las tablas}$$

$\omega$  = Velocidad angular (radianes / s.)  
 $= 2 \times 3,14 \text{ rev/s.}$

$r$  = Distancia del eje al perfil. Se toma normalmente  $0,75 R$ , con  $R$  = radio del aeromotor

$V_r$  = Velocidad del viento nominal.

Las cotas de los perfiles se dan respecto a 100, es decir, que el largo del perfil corresponde a 100. Para pasar a magnitudes reales es necesario, hacer una regla de tres: 100 es a longitud total, como uno es a  $\times$ . Entonces multiplicar por  $\times$  todos los valores de la tabla.

Si se hace una pala alabeada la inclinación entre el eje de giro y el de la pala debe ser de  $20^\circ$  en la base y unos  $2^\circ$  en la punta; esto varía para cada perfil y cada pala.

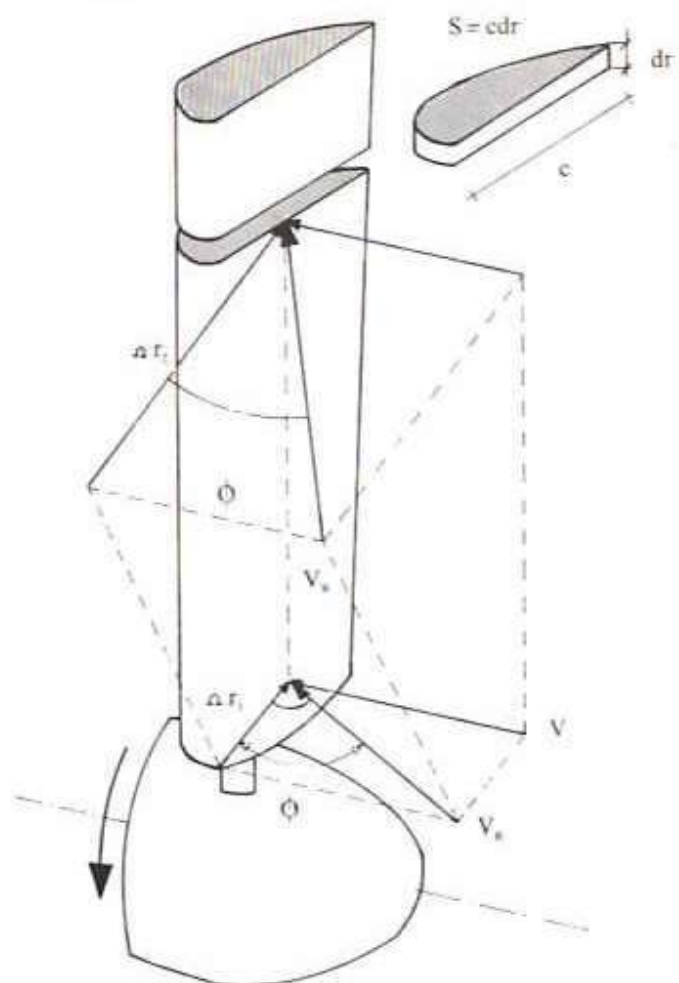


Figura 114. Acción del viento sobre una pala.



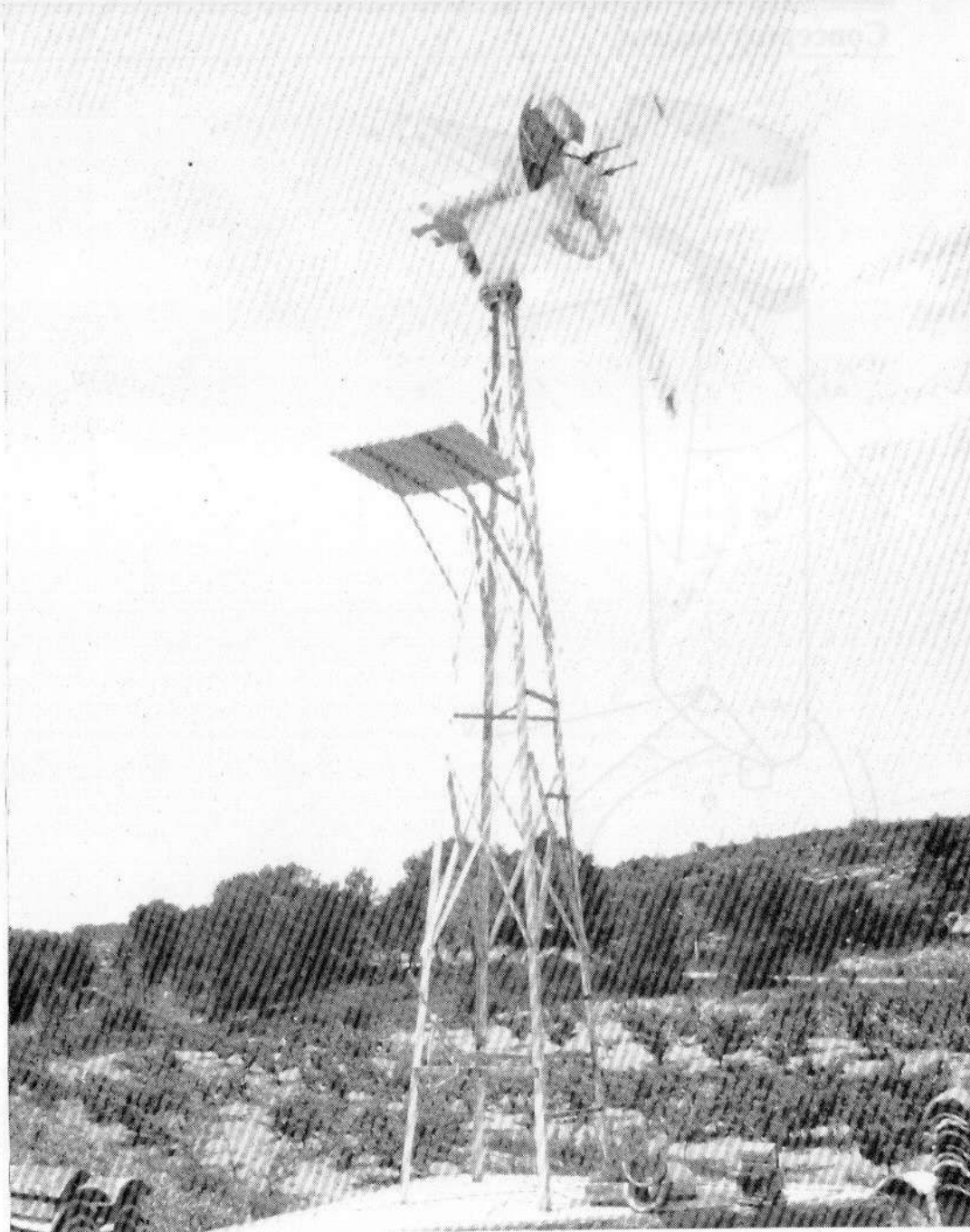
# 5

## Aerogeneradores

---

Captador. Sistemas de orientación. De transmisión. Regulación mecánica.

---



### CAPTADOR: TIPOS, DIMENSIONES Y MATERIALES CONSTRUCCIÓN

Como hemos visto en el capítulo 9, tenemos distintos tipos de captadores con características de funcionamiento muy diferenciadas (rendimiento, par de arranque, relación velocidad punta de pala velocidad de vientos,...).

Para aplicaciones de generación de energía eléctrica no se precisa un elevado par de arranque, ya que ni alternadores ni generadores de continua la requieren. En cambio sí que es necesario tener una elevada velocidad de rotación y un rendimiento lo mayor posible. Estos requisitos nos llevan a centrarnos básicamente en dos tipos de captador (olvidándonos de aquellos que se encuentran en estado de prototipo o experimentación). Por una parte tenemos los de hélice rápida de eje horizontal y por otro los de tipo Darrieus o Giromill de eje vertical.

En principio son los de hélice rápida de eje horizontal son los que presentan mayores rendimientos (fig. 115), pero existen grandes esperanzas depositadas en los de eje vertical y muchas realizaciones prácticas ya que presentan ventajas en cuanto a simplicidad de construcción sobre los de eje horizontal.

Los aerogeneradores de tipo Darrieus suelen llevar acoplados uno o dos pequeños rotores de tipo Savonius para mejorar su par de arranque.

En lo que se refiere a los de eje horizon-

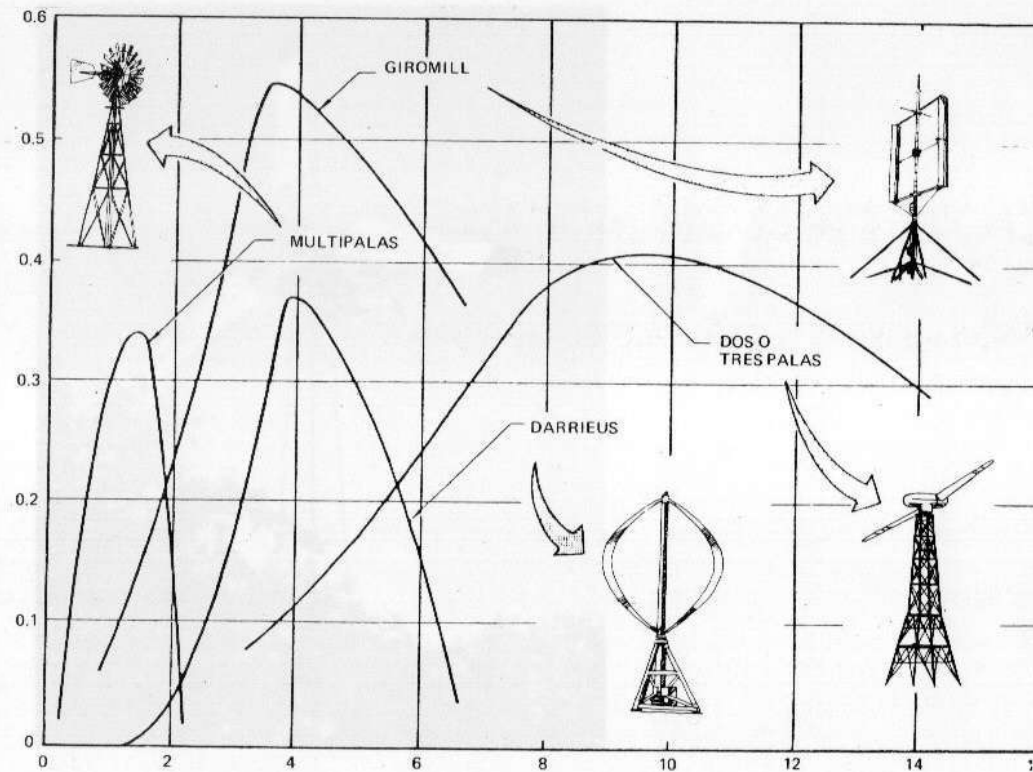
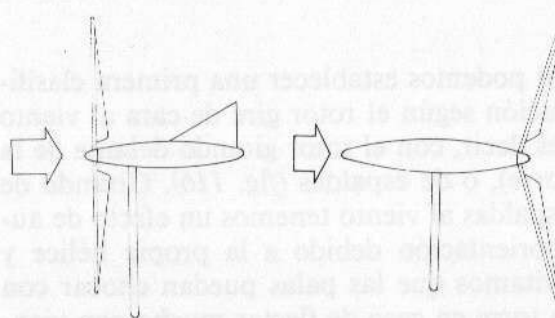


Figura 115. Gráfico del coeficiente de potencia en función de la relación de velocidades.

tal podemos establecer una primera clasificación según el rotor gire de cara al viento (es decir, con el rotor girando delante de la torre), o de espaldas (fig. 116). Girando de espaldas al viento tenemos un efecto de autoorientación debido a la propia hélice y evitamos que las palas puedan chocar con la torre en caso de flexar mucho con vientos fuertes, pero en contrapartida la torre produce el efecto llamado de sombra es



Figura 117. Aerogenerador Windmatic con tirantes.



Rotor cara al viento – Rotor de espaldas al viento.

Figura 116.

decir, origina turbulencias en el flujo de aire antes de que éste llegue a incidir en la pala, lo cual produce vibraciones que pueden llegar a ser importantes.

Otra diferencia esencial entre los aerogeneradores de hélice rápida, está en el número de palas que acostumbra a ser de dos o tres, aunque a nivel de proyecto hay máquinas de una sola pala equilibrada con contrapeso y algunas máquinas pequeñas van provistas de cuatro palas para mejorar el par de arranque.

Recordemos que la potencia que podemos extraer del viento no depende en absoluto del número de palas, sino exclusivamente de la superficie barrida, la densidad del aire y la velocidad del viento.

Los tipos bipala y tripala tienen cada uno sus ventajas e inconvenientes. Los aerogeneradores bipala son más económicos en su construcción, tanto por tener una pala menos, como por ser más fácil de construir su sistema de regulación, pero presentan graves problemas de vibraciones.

Con una máquina tripala, las vibraciones se minimizan, siempre y cuando se equilibre adecuadamente el rotor y se construya un buen sistema de regulación. Si la regulación se lleva a cabo por variación del ángulo del calaje, es importante que las tres palas tengan en todo momento la misma posición.

Caso de que las palas tengan el ángulo de calaje constante, pueden minimizarse estos esfuerzos uniendo las palas con tirantes, aumentando así la rigidez del conjunto (fig. 117).



Es curioso señalar que mientras en Dinamarca todos los aerogeneradores son tripala, en USA se construyen casi exclusivamente bipalas. Esto demuestra que la elección no es clara, aunque hay que decir que en USA las grandes máquinas no tienen totalmente resueltos los problemas de vibraciones que ya antes se han mencionado.

Referente a dimensiones del captador, hemos visto algunos datos en el capítulo 4 al hablar de superficies de captación y energía obtenible.

Un punto que no hemos tratado es el de la anchura de las palas, que aunque no interviene en la potencia proporcionada es importante. Con palas estrechas y finas, se consigue una velocidad de rotación más elevada debido al menor peso y a la disminución de rozamientos con el aire, pero por otra parte son más frágiles y, debido a su menor superficie, disminuye considerablemente el par de arranque. En general se toma una anchura de pala comprendida entre  $1/20$  y  $1/25$  del diámetro de la hélice. La anchura debe ser siempre mayor en la base de la pala por ser la zona que se halla sometida a mayores esfuerzos.

Dado que las condiciones de trabajo del captador son muy duras (esfuerzos debidos al viento, vibraciones propias, erosión, corrosión,...), es importante dar un repaso a los distintos materiales que pueden usarse en su construcción.

- **Tela.** Se dispone sobre una armadura de madera u otro material (molinos antiguos). Es económico, pero factible

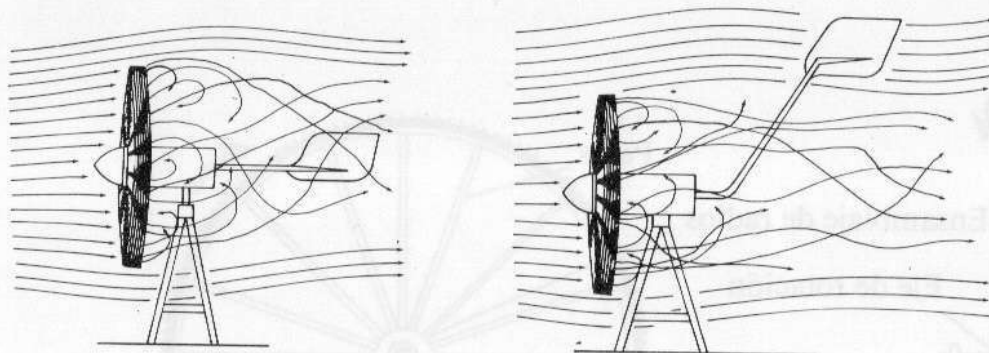


Figura 118. Orientación mediante cola.

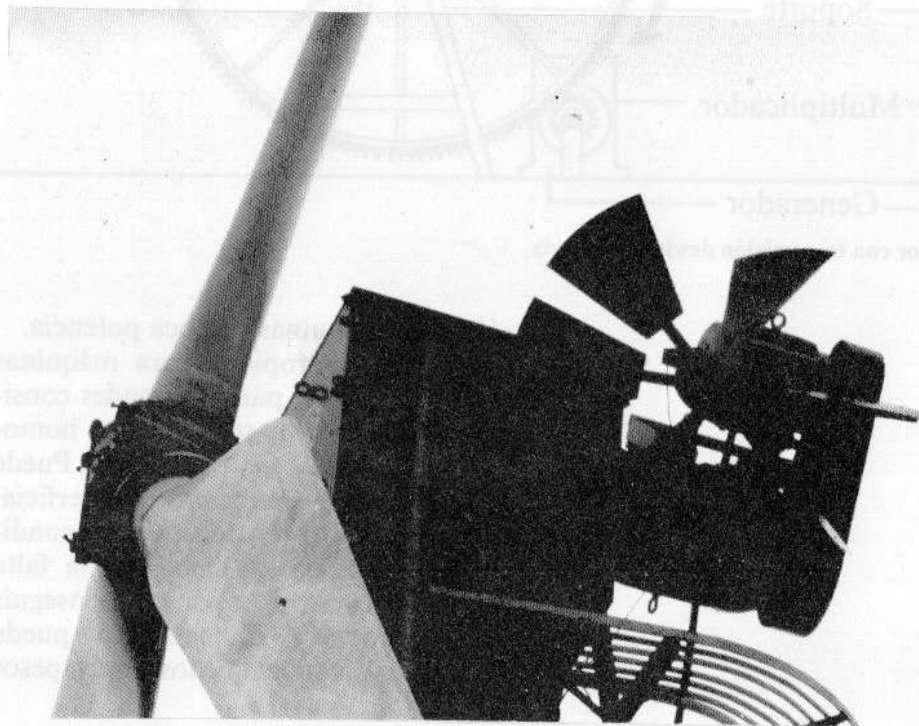


Figura 119. Orientación mediante hélices auxiliares.

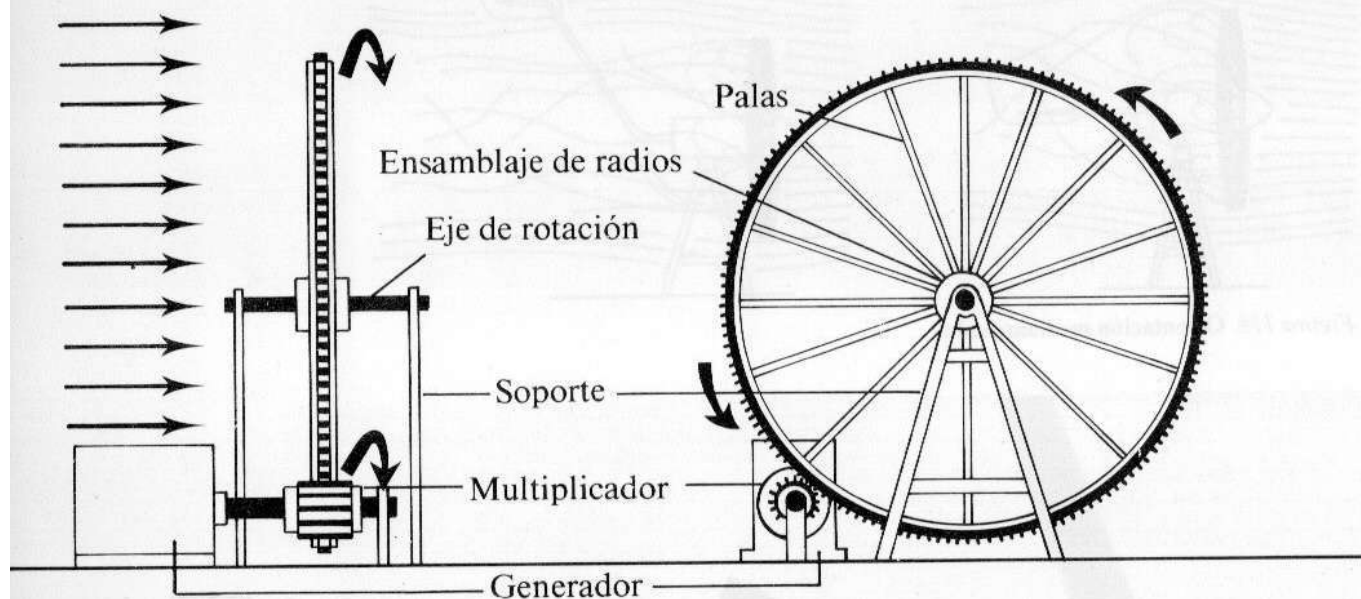


Figura 120. Aerogenerador con transmisión desde la periferia.

sólo para máquinas de poca potencia.

- **Madera.** Es apropiada para máquinas pequeñas ya que para longitudes considerables es cara de trabajar y su homogeneidad difícil de conseguir. Puede dársele algún tratamiento superficial para mejorar su resistencia a las condiciones atmosféricas. Debido a la falta de homogeneidad es difícil conseguir palas idénticas. El conjunto puede equilibrarse con pequeños contrapesos de plomo.
- **Acero.** Material muy resistente, pero también muy pesado.

- **Aleación de aluminio.** Muy fiable y resistente. Al igual que el acero es difícil de utilizar por el autoconstructor. Interesante para fabricación en serie debido a la disminución del coste.
- **Fibra de vidrio.** Material ligero y de resistencia superior a las aleaciones de aluminio. Fácil de trabajar mediante moldes. Actualmente se está investigando en nuevas fibras (boro, carbono,...), que mejoran las características de la de vidrio.

## SISTEMAS DE ORIENTACIÓN

Prácticamente todos los aerogeneradores de eje horizontal necesitan un sistema de orientación que de alguna manera detecte la dirección del viento y sitúe el rotor en esa dirección. Los de eje vertical no necesitan orientación, excepto algunos tipos giro-mill que varían la posición de las palas a lo largo de la trayectoria de giro. En éste caso se precisa una veleta y algún sistema de excéntricas o engranajes para orientar y posicionar el conjunto. Con ello se consigue una acción óptima del viento sobre la pala, independientemente de su posición aunque hay problemas de pérdidas mecánicas importantes.

Volviendo a los de eje horizontal, veamos cuales son los sistemas de orientación más utilizados:

- **Orientación manual.** Sistema empleado en algunos molinos antiguos. Aceptable

para regímenes de vientos muy regulares.

- **Autoorientación.** Por la propia acción de la hélice en los aerogeneradores que giran de espaldas al viento.
- **Cola de orientación.** Consiste en una placa dispuesta tras el rotor que hace que éste se oriente por la acción del viento sobre ella. Mediante ensayos en túnel de viento, se ha visto que es recomendable que la cola se encuentre fuera de la zona de turbulencias creada por el rotor (fig. 118). Para potencias inferiores a los 50 kW, en general.
- **Servo motores.** Se detecta la dirección del viento mediante una veleta y tras compararla con la posición del rotor, se reorienta éste mediante servo motores. Es el sistema más empleado en las grandes máquinas.
- **Hélices auxiliares.** Consiste en disponer dos pequeñas hélices tras el rotor y en dirección perpendicular a éste. El viento sólo actúa sobre estas hélices cuando el rotor no se halla en la dirección del viento, en este caso al hacerlas girar, su movimiento se transmite por engranajes de forma que reorienta al conjunto. Este método que se desarrolló en los molinos antiguos, sigue empleándose mucho en aerogeneradores comerciales de mediana potencia en Dinamarca (fig. 119).

## SISTEMAS DE TRANSMISIÓN. MECÁNICA Y ELÉCTRICA

Para transmitir la potencia desde el rotor al generador tenemos varias opciones. Excepto en pequeñas máquinas provistas de generador de continua a bajas revoluciones, necesitamos un multiplicador entre ambos para ajustar los regímenes de giro de los dos elementos.

Una primera solución puede consistir en tomar la potencia desde la periferia del rotor en lugar de hacerlo en su eje (fig. 120). Con ello se consigue aprovechar la elevada velocidad lineal de la periferia, eliminando el multiplicador. Esta solución no es factible para grandes aerogeneradores dada la envergadura y dificultad de construcción de una llanta periférica.

Otro curioso método empleado en el aerogenerador de Noah, consiste en tener dos rotores girando en sentidos contrarios en planos paralelos muy cercanos y acoplar uno al rotor del aerogenerador y el otro al estator, con lo que la velocidad relativa de giro entre ambos será el doble de la correspondiente a una máquina típica de un sólo rotor. (fig. 121).

De esta forma que consigue que no sea necesaria la utilización de multiplicadores de velocidad para adecuar la velocidad de rotación del rotor a la del generador.

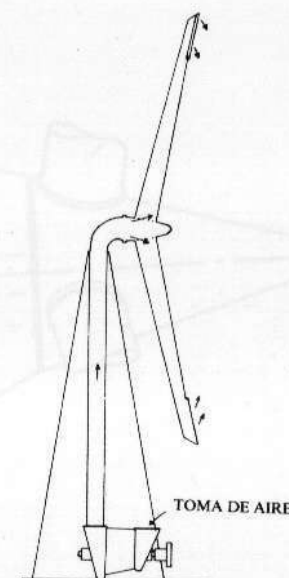


Figura 121. Turbina de depresión.

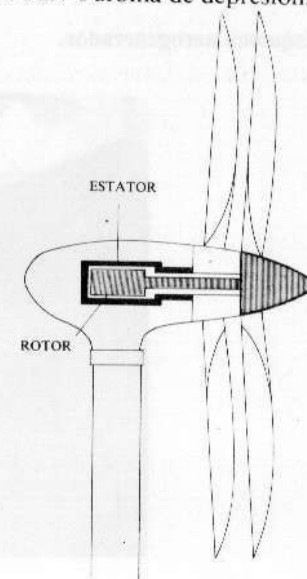


Figura 121. Rotor de Noah a contrarrotación.



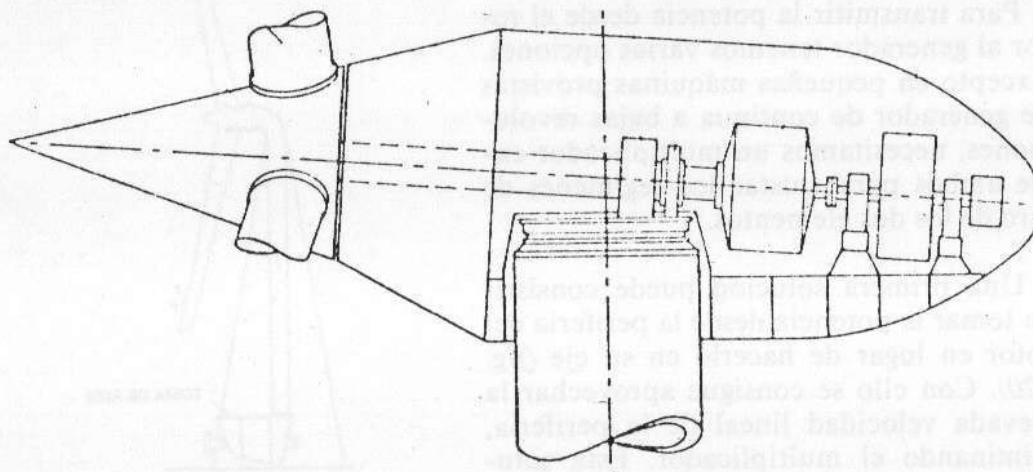


Figura 122. Esquema aerogenerador.

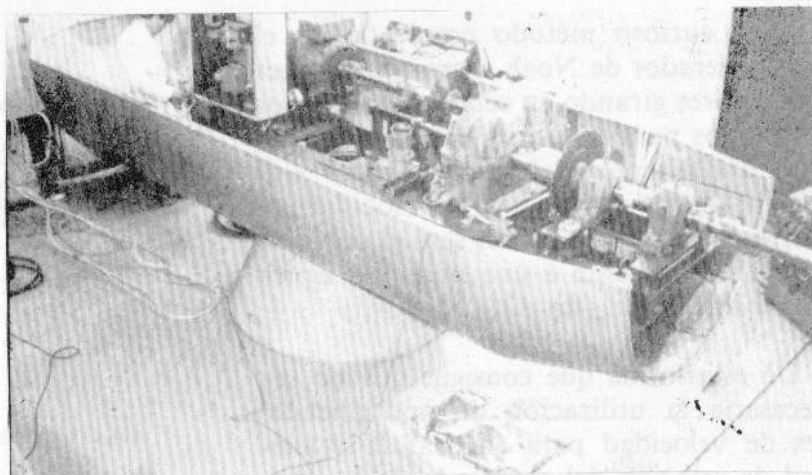


Figura 123. Componentes del aerogenerador.

Actualmente la gran mayoría de aerogeneradores tienen un sistema de transmisión que se ajusta a un mismo esquema general, tanto para los de eje horizontal como vertical. El sistema consta de un eje primario acoplado directamente al de rotación del captador que a través de un multiplicador de engranajes transmite la potencia al eje generador (eje secundario). En el mercado se encuentran multiplicadores de engranajes de diferentes tipos para toda la escala de potencias y con adecuadas relaciones de multiplicación. En máquinas pequeñas puede sustituirse el multiplicador de engranajes por un sistema de platos y correas de fácil autoconstrucción, aunque el montaje con multiplicadores de planetarios, con ejes de entrada y salida coaxiales, proporciona un montaje más compacto del conjunto.

Sobre los ejes, en las grandes máquinas, se montan sistemas diferentes para situaciones de emergencia o en períodos de mantenimiento. En muchas ocasiones, el eje primario es hueco para permitir la ubicación de ejes de accionamiento de los dispositivos de control.

En las figuras siguientes (122. y 123.) se pueden observar algunos ejemplos de esta configuración.

En los aerogeneradores de eje horizontal, puesto que toda la parte superior es giratoria, hay que disponer de anillos rozantes para la transmisión de la electricidad hacia el pie de la torre de soporte (fig. 124.). Algunas grandes máquinas (Twind) carecen de éste sistema y en caso de arrollamiento excesivo del cable de transmisión, utilizan los servomotores de orientación para hacer gi-

rar el rotor las vueltas necesarias y dejarlo otra vez en condiciones de funcionamiento. Para emplazamientos con regímenes de viento regulares, la segunda solución resulta adecuada, pero no así en caso de variaciones frecuentes de dirección.

Otros posibles sistemas de transmisión, de tipo mecánico o hidráulico hacia el pie de la torre soporte, están hoy prácticamente en desuso para aerogeneradores.

Una curiosa excepción la constituyó el aerogenerador Enfield-Andréau (fig. 121) de 100 kW (1953-57) con una torre tubular en la cual se alojaba el alternador acoplado a una turbina de aire. Las palas eran huecas y abiertas en sus puntas, de manera que al girar el aire salía debido a la fuerza centrífuga, creándose una depresión que hacía circular el aire por el interior de la torre soporte accionando así la turbina y el alternador. Se presentaron problemas de estanqueidad y los rendimientos obtenidos no eran los esperados. Tras dos periodos de prueba en distintos emplazamientos la experiencia fué abandonada.

## REGULACIÓN

Vimos en el capítulo 4, al hablar de la curva característica de un aeromotor, que para velocidades de viento comprendidas entre la nominal y la de frenado la potencia de salida permanecía constante e igual a la nominal. Puesto que el margen de trabajo es amplio se hace imprescindible un sistema de regulación mecánica que mantenga dentro de ciertos límites la velocidad de giro del rotor, disminuyendo los esfuerzos

que actúan sobre él con velocidades de viento elevadas.

El dispositivo de regulación, principalmente en pequeñas máquinas, es quizás la característica más diferenciadora de los aerogeneradores. A continuación veremos cuales son los principales sistemas utilizados.

*Puesta en bandera:* No es propiamente un sistema de regulación, sino más bien de frenado. Es adecuado en máquinas en las que la velocidad de rotación no necesita ser constante. Consiste en ladear el rotor respecto a la dirección del viento cuando éste es demasiado fuerte, disminuyendo así la superficie efectiva de captación y por tanto los esfuerzos sobre el rotor. Esta solución es la que se emplea típicamente en los aeromotores de bombeo y en algunos aerogeneradores pequeños. Existen dos posibles realizaciones para un sistema de este tipo.

- Pala solidaria con el rotor, paralela a éste, sobre la que incide perpendicularmente el viento, y que al ser elevada la presión que éste ejerce sobre ella, desvía el conjunto. (fig. 125.).
- Eje del rotor descentrado respecto de su fijación, con lo que es la presión del viento sobre el mismo rotor la que hace que éste se ladee, sea en un plano vertical u horizontal. (fig. 126.).

*Regulación por freno aerodinámico:* Este tipo de freno, montado en los aerogeneradores Winco, es accionado por fuerza centrífuga cuando la velocidad de rotación sobrepasa el límite fijado. El sistema consta de un tipo de alerones que se abren ofreciendo así una resistencia aerodinámica a

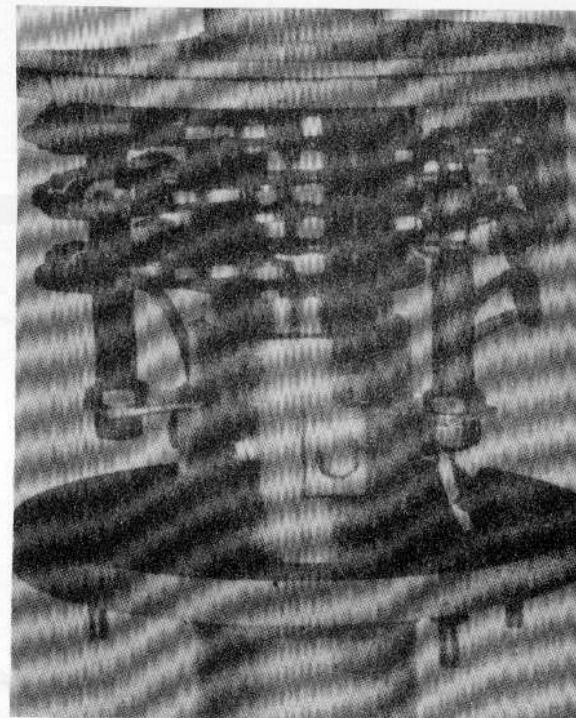


Figura 124. Transmisión eléctrica por anillos rozantes.

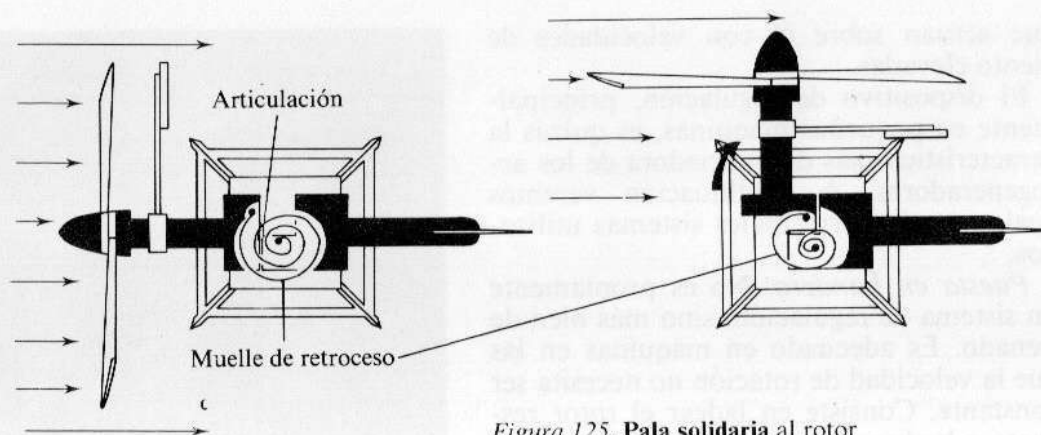


Figura 125. Pala solidaria al rotor

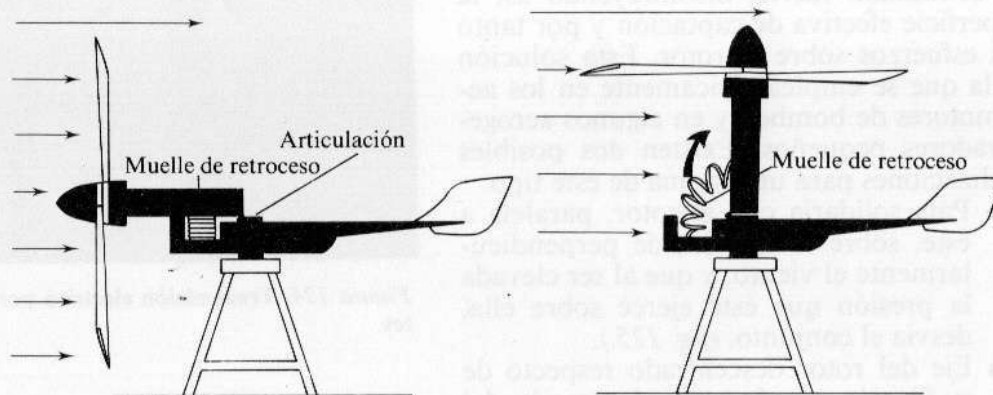


Figura 126. Eje descentrado.

la rotación como podemos apreciar en la figura (127). La velocidad de rotación no es constante y se precisa un freno manual auxiliar para fuertes vientos.

*Regulación por variación del ángulo de calaje de las palas:* Es el sistema más emplea-

do, tanto en pequeñas máquinas, en las que funciona por fuerza centrífuga, como en los grandes aerogeneradores que emplean sistemas de servocontrol. Variando el ángulo de calaje se modifica el ángulo de incidencia del viento aparente y con ello la fuerza de empuje y la velocidad de rotación. Veamos las ideas básicas de los distintos modelos.

- *Sistema Aerowatt*, un par de contrapesos se separan del eje de rotación por fuerza centrífuga cuando la velocidad crece. Estos contrapesos están unidos a las palas de forma que al desplazarse modifican su posición al mismo tiempo que comprimen un resorte de retorno que les hará volver a su posición inicial al disminuir la velocidad de rotación y por tanto la fuerza centrífuga. El resorte de retorno consta de dos muelles, uno más flojo que el otro. El primero sirve sólo para mantener el ángulo de calaje óptimo en el arranque y se comprime en cuanto empieza a girar el rotor y el segundo más fuerte es el que regula el ángulo para vientos fuertes, disminuyendo el ángulo de calaje, por lo que las palas están siempre de cara al viento y por tanto deben resistir esfuerzos grandes. El fabricante asegura su resistencia hasta los 260 Km/h. (fig. 128.).

- *Sistema Enag*, el principio es el mismo que en el caso Aerowatt, es decir, a base de contrapesos que actúan por fuerza centrífuga, pero en éste caso se aumenta el ángulo de calaje, disminuyendo la presión sobre las palas



para vientos fuertes. Para vientos superiores a 130 Km/h. es necesario un freno auxiliar (fig. 129.).

- *Sistema Elektro-Jacobs*, siguen basándose en contrapesos que se desplazan por fuerza centrífuga, pero no son solidarios a las palas, sino que hacen girar una corona común sobre la que apoyan unos piñones solidarios al eje de cada una de las palas, provocando su variación de posición. El sistema es muy adecuado para máquinas tripala, ya que se consigue un ángulo de incidencia idéntica para las tres. Resulta eficaz para vientos de hasta 130 Km/h. (fig. 130.). Un sistema de éste tipo es empleado también por el fabricante catalán G.E.M.Z. (fig. 131.).

- *Sistema Ideolec*, el principio básico es el mismo pero al estar las dos palas unidas, una aumenta su ángulo de incidencia mientras la otra lo disminuye. Esta asimetría provoca vibraciones que aumentan el peligro de rotura (fig. 132.).

- *Sistema sin contrapesos*, en éste caso es la propia pala la que sustituye al contrapeso. La pala se desplaza sobre un eje alabeado, variando así su posición al alejarse del centro de rotación por fuerza centrífuga (fig. 133.)

- *Bucle electrónico*, el ángulo de calaje no se controla por fuerza centrífuga, sino mediante servomotores accionados por dispositivos de control. Gene-

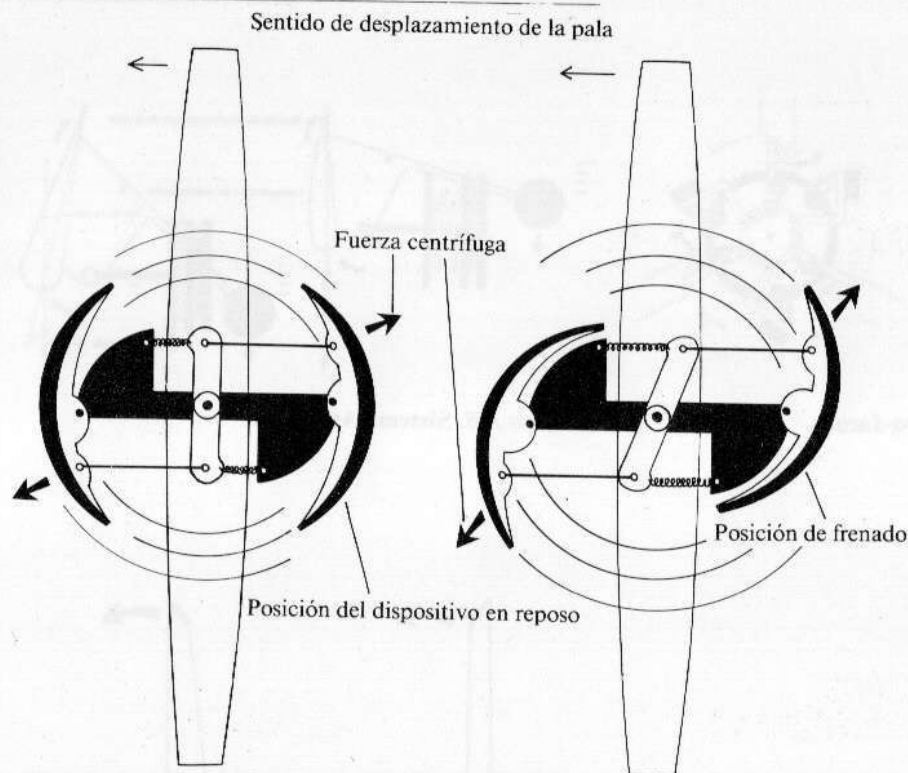


Figura 127. Regulación por frenado aerodinámico.

ralmente es el sistema usado en grandes aerogeneradores controlados por microprocesador.

- *Regulación eléctrica*, se basa en que sea el par resistente que ofrece el generador eléctrico, el que actúe como freno para el rotor. En el caso de generadores sincrónicos conectados a la red, esta fuerza de frenado es importante, pero en cualquier caso limitada, de forma que si el viento es fuerte y nos

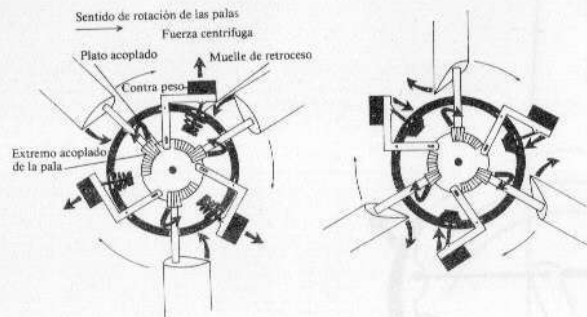


Figura 130. Sistema Elektro-Jacobs.

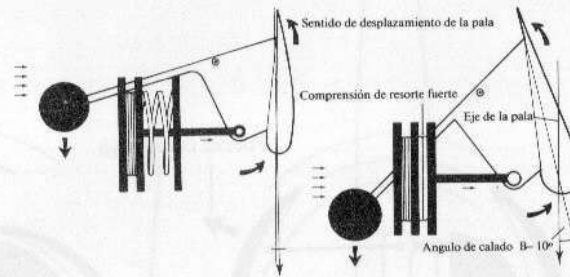


Figura 128. Sistema Aerowatt.

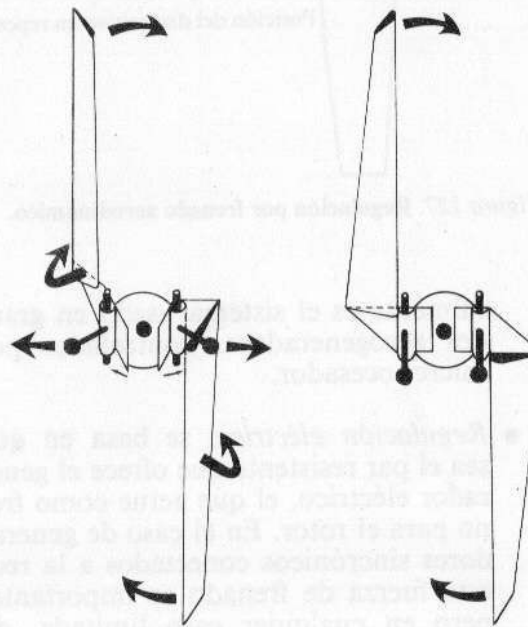


Figura 129. Sistema Enag.

crea un par motor superior al resistente, la máquina tiende a embalsarse fuertemente, pudiendo llegar a su destrucción. Por tanto se necesita otro sistema de frenado auxiliar.

**Regulación por aerodinámica de las palas:** Como vimos en el capítulo 4 los coeficientes aerodinámicos de una pala varían según el ángulo de incidencia. Puesto que éste depende de la velocidad del viento y de la de giro, diseñado adecuadamente el perfil, con un ángulo de calaje correcto, puede conseguirse el efecto de regulación o frenado por las características aerodinámicas propias del rotor.

**Regulación por alerones:** En este caso no se varía el ángulo de calaje de la pala, sino sólo el de unos alerones generalmente situados en el extremo de esta, que actúan como freno aerodinámico.

**Sistema Gendrier:** Cuando la velocidad de rotación aumenta, se abren unos póstigos en las palas debido a la acción de la fuerza centrífuga sobre un contrapeso. Este sistema era usado en los molinos daneses (fig. 134.).

## SOPORTE: TIPOS, DIMENSIONES Y MATERIALES

Podemos establecer diversas clasificaciones de los tipos de soporte según sus características. (fig. 135.)

### Sistema de articulación

- Soporte fijo con rotor orientable en la

cima.

- Soporte orientable en la base o a media altura.
- Soporte abatible para facilitar el montaje y mantenimiento.

### Estructura

- Pié único.
- Pié apuntalado, con puntal giratorio en torno al pié.
- Multiplé.
- Pié único sujetado con tirantes por encima o por debajo del rotor.

Digamos que los tipos más usuales son los de pié único, con o sin tirantes. En los aerogeneradores del tipo Darrieus se emplean tirantes de sujeción por encima del rotor.

Referente a las dimensiones, sólo cabe decir que el soporte debe ser capaz de tolerar todo el empuje del viento que transmita el rotor y las eventuales vibraciones. Por otra parte, según lo que vimos al hablar de variaciones de viento con la altura, sabemos que el soporte debe ser lo suficientemente alto para evitar que las turbulencias debidas al suelo afecten al rotor y superar los posibles obstáculos (casas, árboles, desniveles abruptos del terreno,...) cercanos que puedan perturbar el viento.

En cuanto a materiales empleados, tenemos como primera opción construir un poste de madera con tirantes, obteniendo un soporte de fácil y económica construcción. Este sistema se emplea en máquinas pequeñas. Para conseguir mayor resistencia puede sustituirse el poste de madera por uno metálico, que para mayor facilidad de construcción y montaje se construye en va-

rias partes.

Para máquinas mayores hay que pensar en soportes circulares de acero o bien en torres metálicas reticulares, del tipo de líneas eléctricas de alta tensión.



Figura 131. Sistema de regulación GEMZ.

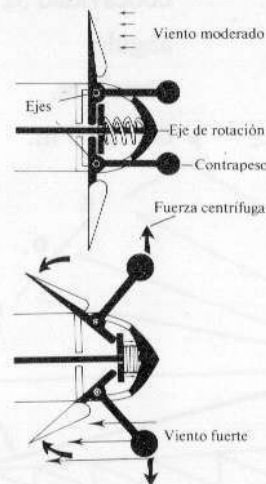


Figura 132. Sistema IDEOLEC.

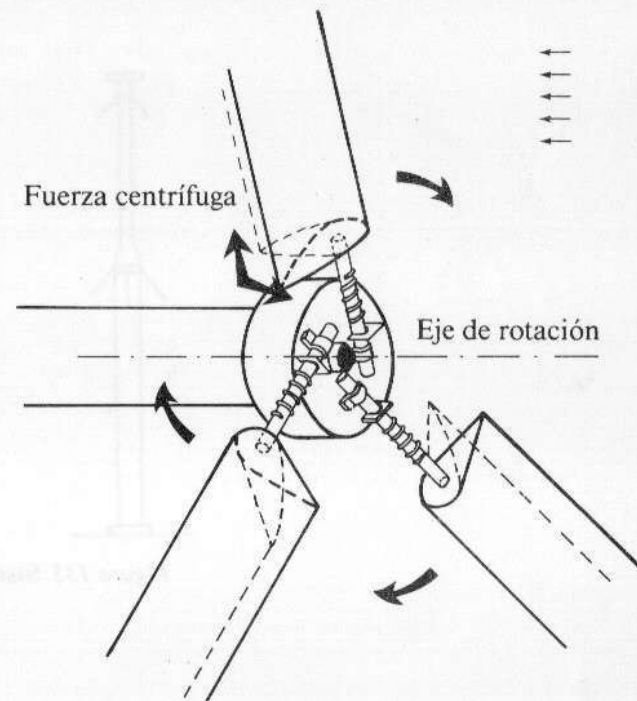


Figura 133. Sistema sin contrapesos.

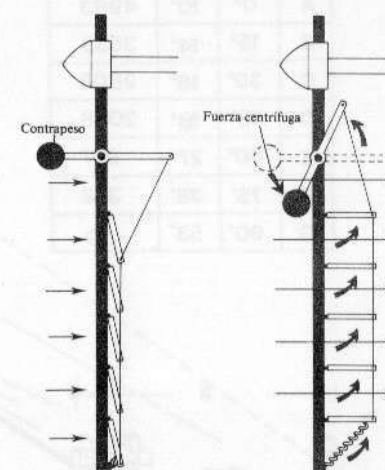


Figura 134. Sistema Gendrier.



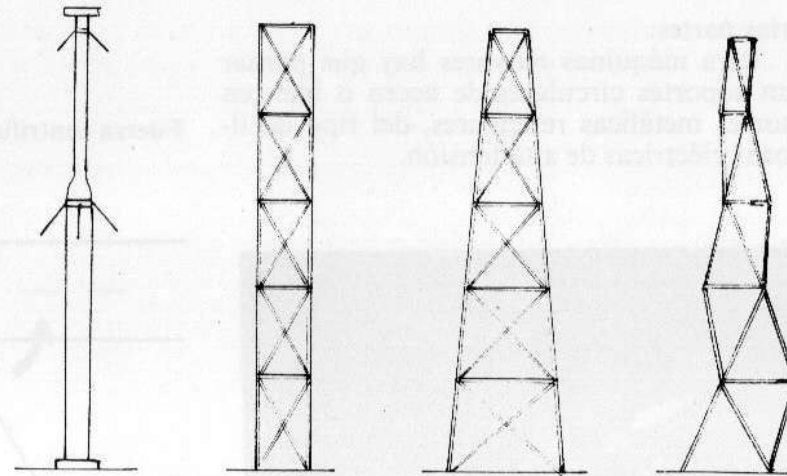


Figura 135. Sistemas de soporte.

			tens. cavo
A	0°	10°	4983
B	15°	14°	3533
C	30°	16°	2808
D	45°	18°	2038
E	60°	27°	997
F	75°	38°	362
G	90°	53°	0

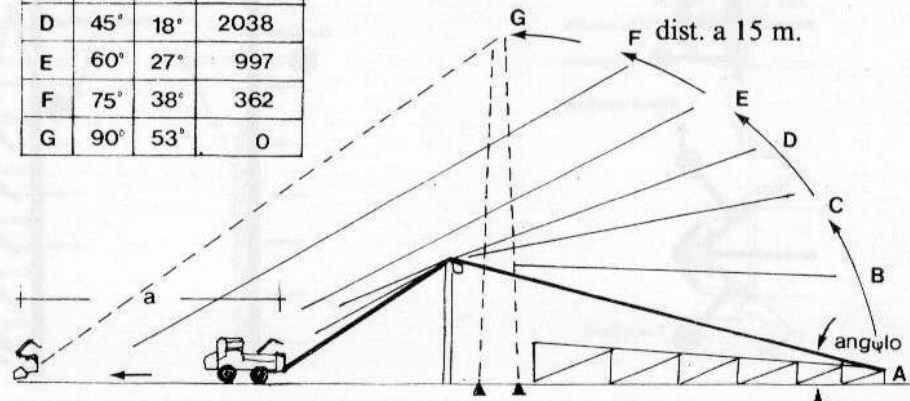


Figura 136. Soporte abatible.

Torre 18 m.  
 peso 2 tn  
 concavidad 32 m.  
 ángulo  
 poste 6 m.

115

En la (fig. 136.) podemos ver un esquema de procedimiento que facilita la elevación y colocación del soporte.

### SISTEMA ELÉCTRICO: POSIBILIDADES

Tenemos dos opciones muy claras y diferenciadas en lo que respecta al modo de funcionamiento de una instalación de energía eólica. Una de ellas consiste en tener la instalación aislada totalmente de cualquier red de distribución de energía eléctrica, y la segunda en tenerla conectada a una de estas redes. La diferencia básica entre las dos opciones reside en que, en el caso de instalaciones aisladas y dada la variabilidad del viento se requiere un sistema de almacenamiento de energía para cuando el viento no sople, y en cambio en el segundo caso, es la red la que nos proporcionará la energía necesaria para períodos sin viento y la que absorbe la energía que producimos en exceso en períodos muy ventosos.

Como veremos, la segunda opción es muy ventajosa ya que los sistemas de almacenamiento de energía son caros y con rendimientos bajos. Hay que señalar que éste es el tipo de instalaciones usuales en Dinamarca, pero en nuestro país, además de no disponer de aerogeneradores, la conexión a la red no está de momento autorizada, con lo que se limita muchísimo el papel que podría tener la energía eólica y otras energías alternativas.

Para solucionar técnicamente la conexión a la red existen dos posibilidades según el tipo de alternador que se use (síncrono o asíncrono). Cada una presenta sus

ventajas e inconvenientes y la elección no es unánime, ya que mientras en Dinamarca se trabaja con asíncronos, en USA hay preferencia por los síncronos. Digamos para terminar con éste tipo de instalaciones que actualmente se están estudiando otros sistemas para conexión a la red y, aunque más complejos técnicamente, eliminan algunos inconvenientes de los anteriores.

Las instalaciones aisladas sirven generalmente a usuarios que no disponen de ninguna otra forma de energía eléctrica y por tanto necesitan almacenar la energía sobrante producida en periodos ventosos para usarla en los días de calma. Una instalación de éste tipo consta de unos elementos básicos en lo que se refiere a su parte eléctrica, que se detallan a continuación.

### Generador eléctrico

El aerogenerador puede ir equipado con un generador de continua (dinámo) o bien con un alternador (fig. 137.). Veamos cuales son las ventajas e inconvenientes de cada uno.

**Dinámo:** Nos da directamente corriente continua, pero requiere un colector con escobillas que se desgastan con el uso y por tanto precisa de mantenimientos periódicos. Bien diseñado es capaz de proporcionar potencia a escasas revoluciones y con ello se puede prescindir del multiplicador. Para cargar las baterías sólo requiere un diodo en serie que impida que cuando no sople el viento la energía almacenada haga girar el generador al trabajar éste como un motor.

**Alternador:** Para una misma potencia es más ligero y barato que la dinamo. No requiere escobillas y caso de estar excitado por imanes permanentes ni siquiera necesita anillos rozantes, o sea que no precisa mantenimiento especial. Al trabajar a elevado número de revoluciones hace falta un multiplicador. Su rendimiento es ligeramente superior al de una dinamo. Para convertir la corriente alterna en continua, adecuada para cargar baterías. Se coloca un rectificador (puente de diodos).

Aunque todavía hay aerogeneradores provistos de dinamo, la tendencia actual se inclina hacia los alternadores, que generalmente son autoexcitados por imanes permanentes y trifásicos. En la figura (138.) vemos un esquema básico de un alternador trifásico con rectificador por puente de diodos. Hay unos datos básicos que debemos conocer sobre el alternador, como son tensión nominal, corriente máxima, velocidad de inicio de carga, velocidad nominal y velocidad máxima soportable, a fin de que se adapte perfectamente al resto de la instalación.

### Baterías

Aunque existen diversos procedimientos para almacenar energía como podemos ver en el cuadro de aplicaciones del capítulo 15, sólo las baterías se encuentran a un nivel de desarrollo, precio y tecnología apropiado para aplicaciones a energía eléctrica. En aquellos casos en que usemos la energía producida para calefacción, podemos pensar en un almacenamiento térmico.

En el mercado tenemos dos tipos de baterías, las de Plomo y las de Nikel-Cadmio.

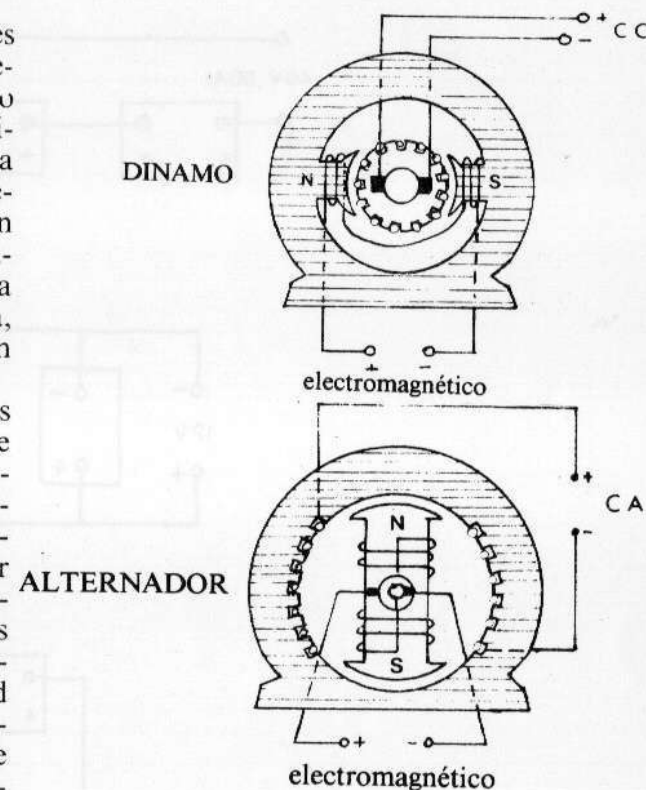


Figura 137. Esquema dinámo-alternador.

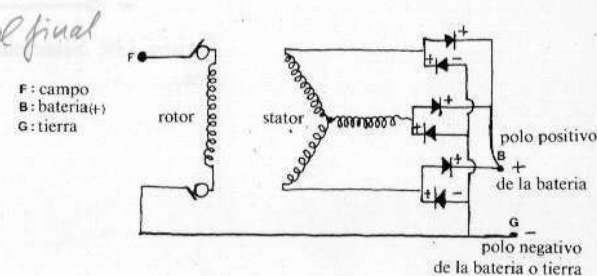


Figura 138. Alternador trifásico y rectificador.

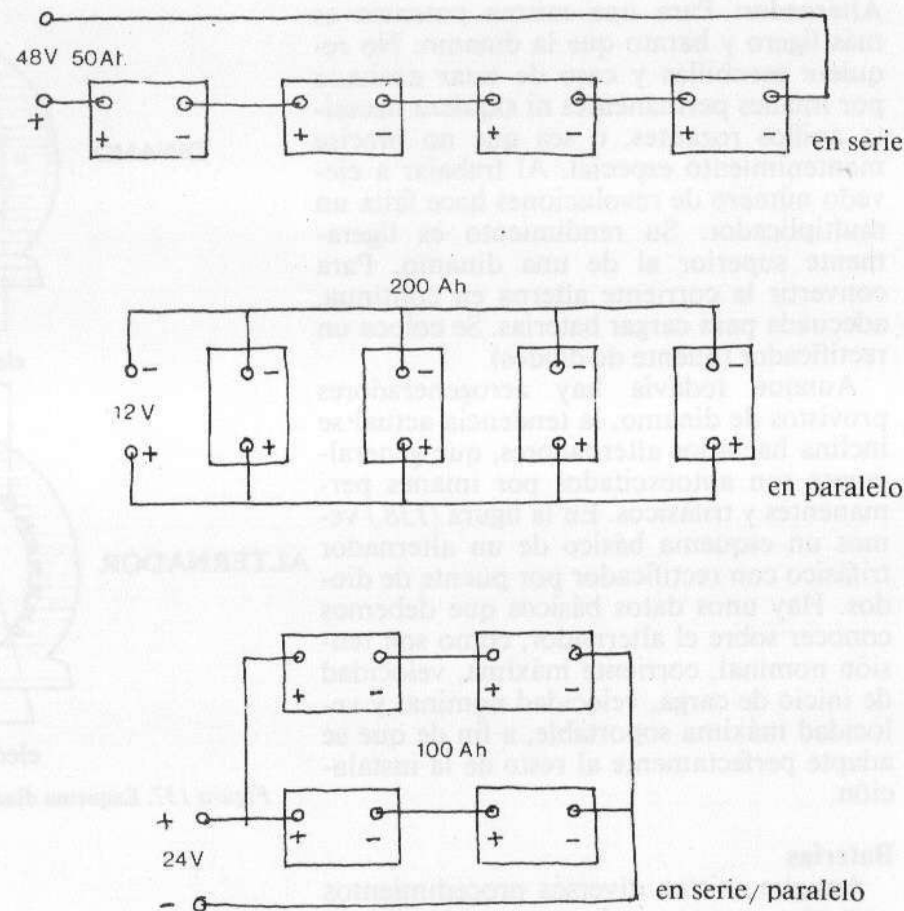


Figura 139. Sistemas de conexionado de las baterías de 12 volts. y 50 amperios.

Las de Nikel-Cadmio son más robustas mecánicamente, tienen una vida muy superior a las de Plomo (tres veces más) y soportan bien los ciclos de carga y descarga, pero tienen una tensión nominal por elemento mucho más baja que las de Plomo (NC: 1,2 volt., P: 2 volt.) y por tanto se

precisan más elementos para conseguir tensión. Para una misma instalación son unas 5 ó 6 veces más caras que las de Plomo, y por tanto se emplean muy poco.

En resumen, el sistema de almacenamiento de energía más adecuado a este tipo de instalaciones son las baterías de Plomo, pero hay que tener en cuenta los diferentes tipos existentes. El tipo más conocido, son las baterías de arranque que equipan los automóviles, pero no resultan adecuadas ya que tienen una vida muy corta y soportan muy mal las cargas y descargas frecuentes. Las baterías pensadas para aplicaciones de tracción eléctrica resultan mucho más adecuadas, ya que soportan muchos ciclos de carga y descarga, además de tener una mayor capacidad de almacenamiento para un mismo peso. Otro tipo son las baterías industriales que soportan bien los ciclos de carga y descarga, pero que están pensadas para dar grandes intensidades de corriente y esta característica no es necesaria en nuestro caso. Por tanto, siempre que podamos, debemos equipar nuestra instalación con baterías de tracción.

La tensión nominal de un elemento de acumuladores de plomo es de 2 volt. Para conseguir una determinada tensión del conjunto de baterías, bastará conectar los elementos necesarios como se indica en la figura (139.), o sea que la típica batería de automóvil de 12 volt. consta en realidad de 6 elementos de 2 volt. en serie.

El factor que nos dimensione las baterías será la cantidad de energía que deseamos almacenar. Así si tenemos un consumo de energía de 5kWh diarios, y deseamos disponer de energía almacenada para tres



días, precisaremos unas baterías con una capacidad de 15 kWh.

Los fabricantes acostumbran a dar la capacidad en amperios-hora (A·h) que equivalen a la capacidad en Wh. divididos por la tensión de trabajo V.

$$A \cdot h = \frac{W \cdot h}{V}$$

Podemos ver en los catálogos de los fabricantes que se nos dan varios valores de capacidad según el número de horas en que pensemos descargar las baterías, ello es debido a que la capacidad depende del régimen de descarga, aumentando cuanto más lento sea éste. Puesto que en principio tendremos baterías para más de un día, podemos tomar la capacidad más alta que nos dé el fabricante o bien multiplicar la capacidad para 5 horas por 1,15 para obtener la real en nuestro caso.

Por otra parte el rendimiento de las baterías es sólo de un 65-70%, ello quiere decir que para sacar de ellas 1 kW. h. debemos haberle suministrado casi 1,5 kW. h. La diferencia es energía perdida en calor en las baterías y muy considerable. Las baterías a pesar de ser el mejor sistema para esta aplicación, están muy lejos de ser una buena solución.

Si en lugar de conectar los elementos en serie los conectamos en paralelo (fig. 139.) seguimos manteniendo la misma tensión, pero sumamos sus capacidades, es decir, a la inversa de lo que sucede en la conexión en serie.

Para calcular el consumo de energía que precisamos cubrir y así poder dimensionar nuestra instalación, debemos hacer una lista de los aparatos que queremos hacer funcionar (iluminación, nevera,...) con la potencia correspondiente que tienen. Multiplicando la potencia por el número de horas que funcionen durante el día, tendremos la energía consumida por día para cada aparato, sumándolas todas, obtendremos el consumo total diario.

La tensión nominal de un elemento hemos dicho que es de 2 volt. pero no es constante, sino que depende del estado de carga según las gráficas de la (figura 140.).

La tensión pues, puede variar de 2,4 V. para carga total a 1,9 para descarga.

Es conveniente no sobrepasar estos valores de tensión ya que si seguimos cargando las baterías cuando estas ya han llegado a los 2,4 volts. se produce una descomposición del agua que hay en el interior en oxígeno e hidrógeno perjudicando grandemente al elemento. Por otra parte si cuando están a 1,9 V. seguimos descargándolas, provocamos sulfataciones en las placas de los electrodos que ya no se disuelven y que acortan mucho la vida útil de los elementos.

Vemos que es muy importante vigilar el estado de carga de las baterías si queremos que nos duren unos años. Para hacerlo, la mejor solución es disponer de un comparador de tensión que nos accione los interruptores de los circuitos de carga y descarga según tengamos las baterías demasiado cargadas o descargadas. En la figura (141.) tenemos un esquema muy básico de la instalación general.

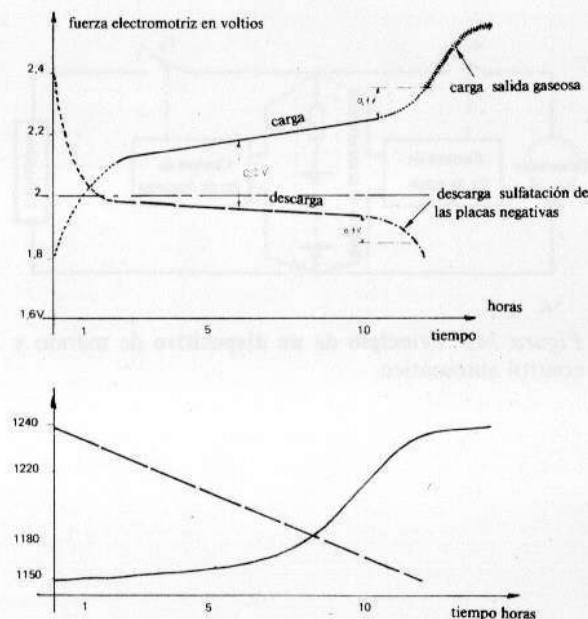


Figura 140. Características de carga y descarga.

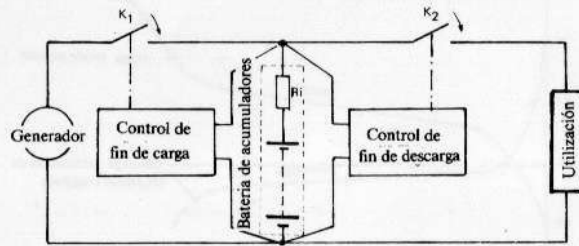


Figura 141. Principio de un dispositivo de mando y control automático.

El hecho de interrumpir la descarga al llegar a los 1,9 V. por elemento, equivale a dejar en el interior de las baterías un 20% de su carga. Esto hay que tenerlo en cuenta al buscar la capacidad de las baterías que necesitamos y para hacerlo habrá que multiplicar la obtenida según lo dicho anteriormente por 1,25.

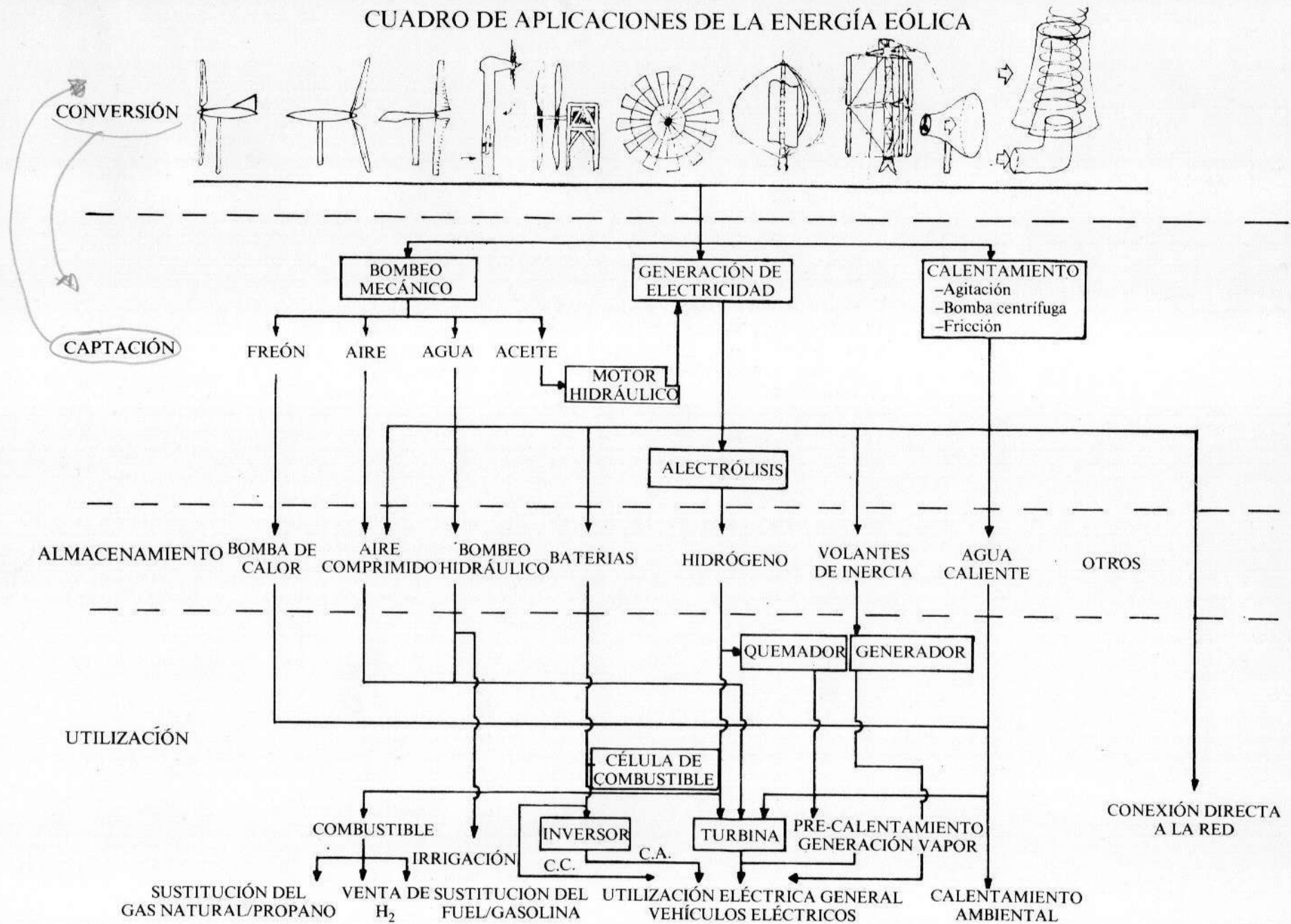
Para hacernos una idea del precio de las baterías, digamos que para abastecer un consumo real de 5 kWh. diarios durante tres días, teniendo en cuenta todo lo dicho, el importe del grupo de baterías asciende a unas 170.000 Ptas.

Es muy importante que al desconectar las baterías por estar suficientemente cargadas, conectemos en su lugar una resistencia que permita al generador seguir proporcionando la potencia que extrae del viento, ya que si la dejamos en vacío (sin nada conectado) se embalaría, pudiendo producirse graves averías, tanto mecánicas como eléctricas.

Un último punto a tener en cuenta al diseñar una instalación, es ver los aparatos que podemos encontrar en el mercado que funcionen con corriente continua y a qué tensión funcionan. En función de esto, debemos elegir la tensión de nuestra instalación, pensando además que si elegimos voltajes pequeños (p.e. 12 V.) y tenemos consumos elevados, tendremos caídas de tensión importantes en los cables, a menos que éstos sean muy gruesos y por tanto caros. Las tensiones bajas son apropiadas para instalaciones muy pequeñas.

Puesto que algunos aparatos que son indispensables no los encontraremos en el mercado preparados para funcionar con corriente continua, se puede colocar (son aparatos electrónicos complicados) un convertidor de corriente continua a alterna que permita su utilización. Actualmente un dispositivo de este tipo, de 1 kWh. de potencia, puede encontrarse en el mercado por unas 50.000 ptas.

# CUADRO DE APLICACIONES DE LA ENERGÍA EÓLICA







---

## **I: Unidades de medida, 110**

Velocidades máximas  
Equivalencias  
Potencias

## **II: Esquema para la construcción de un aerogenerador, 116**

## **III: Construcción de un anemómetro, 122**

Anemómetro de lectura directa  
Anemómetro de contaje continuo

## **IV: Autoconstrucción de un molino para bombeo, 126**

## **V: Gráficos, 129**

Gráfico del I.N.M. para la cuantificación del viento  
Gráfico meteorológico del Instituto Nacional de Meteorología

## **VI: Cotas de perfiles NACA, 132**

## **VII: La energía eólica en España, 138**

Mapas eólicos  
La central eólica del C.E.E.  
El programa solar del I.N.I.  
El convertidor ciclónico de Sensa  
Proyecto de central eólico-solar  
Desarrollo de prototipos de 5, 10 y 25 kW

## **VIII: Legislación y facilidades financieras, 144**

Ley del 82/1980  
Real decreto 2454/1980

## **IX: El aerogenerador de Tvind, 148**

## **X: Bibliografía, fabricantes, contactos, 152**

Números monográficos de revistas  
Libros e informes técnicos  
Publicaciones de congresos  
Fabricantes  
Planos y kits de montaje

## **ANEXOS**

## MÁXIMA VELOCIDAD NEDIA DIARIA DEL VIENTO EN Km/h

• Albacete .....	25,00
• Alicante .....	15,80
Almería .....	38,80
Ávila .....	33,00
Badajoz .....	22,70
• Barcelona .....	14,60
Burgos .....	24,40
Ciudad Real .....	23,80
Cuenca .....	26,20
Gerona .....	22,00
Gijón .....	19,10
• Granada .....	18,00
• Huesca .....	30,40
• Logroño .....	15,10
Madrid .....	20,50
Malaga .....	33,80
• Murcia .....	22,40
Orense .....	19,10
Pamplona .....	19,45
• Salamanca .....	23,40
• Santiago de Compostela .....	22,80
Sevilla .....	19,80
Soria .....	28,40
Tarragona .....	19,45
Toledo .....	23,80
Valencia .....	27,00
Valladolid .....	28,40
• Vitoria .....	17,65
• Zaragoza .....	24,40

• En las localidades señaladas con punto, los datos han sido deducidos de los proporcionados por los aeródromos correspondientes.



## EQUIVALENCIAS ENTRE UNIDADES DE POTENCIA

	ergios/s	kW	CV (1)	Kcal/h	B.T.U./min.	HP (2)
1 ergio/s =	1	$10^{-10}$	$1,3596 \times 10^{-7}$	$0,8598 \times 10^{-7}$	$5,689 \times 10^{-9}$	$1,341 \times 10^{-10}$
1 Kilovatio =	$10^{10}$	1	1,359	860	56,89	1,341
1 CV (1) =	$0,736 \times 10^{10}$	0,736	1	632,96	41,87	0,987
1 Kcal/h =	$1,163 \times 10^7$	$1,163 \times 10^{-3}$	$1,580 \times 10^{-3}$	1	$6,615 \times 10^{-2}$	$0,1559 \times 10^{-2}$
1 B.T.U./min. =	$1,758 \times 10^8$	$1,758 \times 10^{-2}$	$2,388 \times 10^{-2}$	15,12	1	$2,357 \times 10^{-2}$
1 HP (2) =	$7,457 \times 10^9$	0,7457	1,013	641,40	42,41	1

(1) Se trata del caballo de vapor de 75 Kilográmetros por segundo. 1 Kgm/s = 9,807 vatios = 0,009807 kW.

(2) Horsepower, o caballo de vapor inglés, equivalente a un trabajo de 550 libras por pie (foot pounds) por segundo, al que corresponden 0,7457 Kilovatios. También es frecuente considerar al Horsepower equivalente a 0,746 Kilovatios.

ENERGÍA PRODUCIDA *kWh*

Potencia del aeromotor (KW)	Velocidad media anual ( m/s )					
	2,7	3,6	4,5	5,4	6,3	7,2
0,5	288	576	840	1104	1320	1488
1	428	1080	1560	2064	2496	2880
2	960	1920	2880	3840	4800	5640
4	1800	3600	5520	7440	9360	11040
6	2760	5520	8400	11280	14160	17040

## EQUIVALENCIAS ENTRE UNIDADES DE TRABAJO O ENERGIA, EN SUS FORMAS ELECTRICA, MECANICA Y TERMICA

	ergio	julio	kWh	kgfh	kcal	CV · h	B.T.U.	HP · h
1 ergio	1	$10^{-7}$	$2,778 \times 10^{-14}$	$0,1020 \times 10^{-7}$	$2,389 \times 10^{-11}$	$0,3774 \times 10^{-13}$	$9,480 \times 10^{-14}$	3,722
1 julio	$10^7$	1	$2,778 \times 10^{-7}$	0,1020	$2,389 \times 10^{-4}$	$0,3774 \times 10^{-6}$	$9,480 \times 10^{-4}$	$3,722 \times 10^{-7}$
1 kWh	$3,600 \times 10^{13}$	$3,600 \times 10^6$	1	$3,671 \times 10^5$	860	1,359	3413	1,341
1 kgfm (1)	$9,807 \times 10^7$	9,807	$2,726 \times 10^{-6}$	1	$2,343 \times 10^{-3}$	$0,3704 \times 10^{-5}$	$9,297 \times 10^{-3}$	$3,653 \times 10^{-6}$
1 kcal (2)	$4,185 \times 10^{10}$	$4,186 \times 10^{-3}$	$1,163 \times 10^{-3}$	426,9	1	$1,581 \times 10^{-3}$	3,969	$1,559 \times 10^{-3}$
1 CV·h(3)	$2,650 \times 10^{13}$	$2,650 \times 10^6$	0,736	$2,700 \times 10^5$	632,6	1	2510	0,9863
1 B.T.U.	$1,055 \times 10^{10}$	1,0548	$2,930 \times 10^{-4}$	107,6	0,2520	$0,3984 \times 10^{-3}$	1	$3,929 \times 10^{-4}$
1 HP·h(4)	$2,684 \times 10^{13}$	$2,684 \times 10^6$	0,7457	$2,737 \times 10^5$	641,3	1,014	2545	1

(1) Las equivalencias para el kilogrammetro consignadas en esta tabla corresponden a una aceleración de la gravedad de 9,807 metros por segundo al cuadrado.

(2) Kilocaloría (calor necesario para elevar de un grado centígrado la temperatura de un kilogramo de agua se ha definido como la 1/860 parte del kilovatio-hora.

(3) y (4) Con referencia al caballo de vapor-hora y al horse-power-hour (caballo de vapor inglés), véanse las observaciones consignadas en 3.

## POTENCIA KW

Diametro del aeromotor	Velocidad nominal m/s									
m	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3,65	0,2	0,4	0,7	1,0	1,4	2,0	2,6	3,4	4,3	5,4
5,0	0,5	0,8	1,3	2,0	2,9	3,9	5,2	6,8	8,6	10,8
7,0	1,0	1,8	2,9	4,3	6,1	8,3	11,1	14,4	18,3	22,8
12,0	3,6	6,2	9,9	14,7	21,0	28,8	38,3	49,7	63,2	79,0
18,8	9,8	17,0	27,0	40,3	57,3	78,6	104,6	135,9	172,7	215,7

CONVERSION DE UNIDADES  
EQUIVALENCIAS ENTRE UNIDADES DE PRESION

mmcdHg

	N/m <sup>2</sup>	N/cm <sup>2</sup>	Kgf/m <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	Atm	Bar	mBar	mcd	mmcdHg	psi
1 N/m <sup>2</sup>	1	1 × 10 <sup>-1</sup>	0,102	0,102 × 10 <sup>-4</sup>	0,9865 × 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-2</sup>	0,102 × 10 <sup>-3</sup>	7,5 × 10 <sup>-3</sup>	1,451 × 10 <sup>-4</sup>
1 N/cm <sup>2</sup>	10 <sup>-4</sup>	1	1,02 × 10 <sup>3</sup>	0,102	9,865 × 10 <sup>-2</sup>	0,1	10 <sup>2</sup>	1,02	75	1,451
1 Kgf/m <sup>2</sup>	9,8	9,8 × 10 <sup>-4</sup>	1	10 <sup>-4</sup>	0,968 × 10 <sup>-4</sup>	0,98 × 10 <sup>-4</sup>	9,8 × 10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	7,35 × 10 <sup>-2</sup>	1,432 × 10 <sup>-3</sup>
1 Kgf/cm <sup>2</sup>	9,8 × 10 <sup>4</sup>	9,8	10 <sup>4</sup>	1	0,968	0,98	9,8 × 10 <sup>2</sup>	10	7,35 × 10 <sup>2</sup>	14,23
1 Atm	10,13 × 10 <sup>5</sup>	10,13	10,335 × 10 <sup>3</sup>	1,033	1	1,013	1,013 × 10 <sup>3</sup>	10,33	7,6 × 10 <sup>2</sup>	14,69
1 Bar	10 <sup>5</sup>	10	10,2 × 10 <sup>3</sup>	1,02	0,9865	1	10 <sup>3</sup>	10,20	7,5 × 10 <sup>2</sup>	14,51
1 mBar	10 <sup>2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10,2	1,02 × 10 <sup>-3</sup>	0,9865 × 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	1	1,02 × 10 <sup>-2</sup>	0,75 × 10 <sup>-2</sup>	1,451 × 10 <sup>-2</sup>
1 mcd	9,8 × 10 <sup>3</sup>	0,98	10 <sup>3</sup>	0,1	9,68 × 10 <sup>-2</sup>	9,8 × 10 <sup>-2</sup>	98	1	73,5	1,423
1 mmcdKg	1,334 × 10 <sup>2</sup>	0,01334	13,61	1,361 × 10 <sup>-3</sup>	1,316 × 10 <sup>-3</sup>	1,334 × 10 <sup>-3</sup>	1,334	1,361 × 10 <sup>-2</sup>	1	1,935 × 10 <sup>-2</sup>
1 psi	6,89 × 10 <sup>3</sup>	0,689	7,035 × 10 <sup>2</sup>	7,035 × 10 <sup>-2</sup>	6,804 × 10 <sup>-2</sup>	6,89 × 10 <sup>-2</sup>	68,9	0,7035	51,7	1



# CONVERSION DE UNIDADES

## UNIDADES DE MEDIDA Y FACTORES DE CONVERSION UTILIZADOS OFICIALMENTE EN ESPAÑA EQUIVALENCIAS ENERGETICAS

1 tec = $7 \times 10^6$ Kcal		1 tep = $10^7$ Kcal		1 tep = 1,426 tec		1 termia = $10^3$ Kcal			
CARBONES	Poder calorífico	Unidad	Equivalencias		PETROLEO	Poder calorífico	Unidad	Equivalencias	
	Kcal/Kg		tec	tep				Kcal/Kg	tec
Hulla y Antracita en Sid.	7.700	t	1,100	0,770	Crudo	10.000	t	1,428	1,000
Hulla y Antracita en C. Tér.	4.676	t	0,668	0,468	G. L. P.	11.800	t	1,686	1,181
Hulla y Antracita en el Resto	7.000	t	1,000	0,700	Gasolinas, Kerosenos,				
Coque	6.650	t	0,950	0,665	gas-oil y naftas	10.500	t	1,500	1,050
Lignito negro	3.234	t	0,462	0,324	Fuel-oil	10.000	t	1,428	1,000
Lignito pardo	1.869	t	0,267	0,187	Resto de Productos	9.500	t	1,357	0,950
Conjunto carbones	5.250	t	0,750	0,525	Conj. prod. petrolíferos	10.500	t	1,500	1,050
GAS					ELECTRICIDAD				
Gas natural y de emisión	10.000	$10^3 \text{ Nm}^3$	1,428	1,000	Energía primaria equivalente para la producción	2.527*	MWh	0,353	0,247
Propano	11.900	t	1,700	1,190	Consumo	860*	MWh	0,123	0,086
Butano	11.800	t	1,686	1,181	$1 \text{ TWh} = 10^3 \text{ GWh} = 10^6 \text{ MWh} = 10^9 \text{ kWh} = 10^{12} \text{ Wh}$				
*Kcal/kWh.									

El poder calorífico de los carbones es el real del año 1975. Siguiendo el método empleado en el Plan Energético Nacional y en la O. C. D. E., llamado de "sustitución parcial"; la energía primaria equivalente para producir un MWh es igual a la media de los consumos específicos previstos para 1985 de todas las centrales térmicas; por tanto, esta equivalencia se aplica a los MWh producidos en las centrales hidroeléctricas y nucleares, cuando se quiere calcular la energía primaria.

$$1 \text{ bar} = 1.000 \text{ mbar} = 10^5 \text{ Nw/m}^2$$

$$1 \text{ mm. Hg} = 133,322 \text{ Nw/m}^2$$

$$1 \text{ mm. H}_2\text{O} = 9,80665 \text{ Nw/m}^2$$

$$1 \text{ Atmósfera Técnica} = 1 \text{ Kgf/m}^2 = 9,80665 \cdot 10^4 \text{ Nw/m}^2$$

$$1 \text{ Atmósfera física} = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Nw/m}^2$$

$$1 \text{ Pascal} = 1 \text{ Nw/m}^2$$

$$1 \text{ HPa} = 1 \text{ mbar}$$

A nivel del mar tenemos una presión de:

$$1 \text{ Atmósfera} = 1,013 \text{ bar} = 1013 \text{ mbar} = 760 \text{ mm Hg} = 10,33 \text{ m H}_2\text{O} = 0,1013 \text{ Mega Pascal} = 101325 \text{ Pascal}$$

UNIDADES FUNDAMENTALES		
Magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica	amperio	A
Temperatura termodinámica	kelvin	K
Intensidad luminosa	candela	cd

TABLA DE CONVERSIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO				
1 m/s = 2.24 mph = 1.94 knots = 3.60 kph <i>km/h</i>				
m/s	mph	knots	<i>km/h</i> kph	Beaufort Scale
1	2.2	1.9	3.6	1
2	4.5	3.9	7.2	2
3	6.7	5.8	10.8	2
4	8.9	7.8	14.4	3
5	11.2	9.7	18.0	3
6	13.4	11.7	21.6	4
7	15.7	13.6	25.2	4
8	17.9	15.5	28.8	5
9	20.1	17.5	32.4	5
10	22.4	19.4	36.0	5
11	24.6	21.4	39.6	6
12	26.8	23.3	43.2	6
15	33.6	29.1	54.0	7
17	38.0	33.0	61.2	7
20	44.7	38.8	72.0	8
22	49.2	42.7	79.2	9
25	55.9	48.5	90.0	10
27	60.4	52.4	97.1	10
30	67.1	58.3	107.9	11
40	89.5	77.7	143.9	12
50	111.8	97.1	179.9	12
60	134.2	116.5	215.9	12

UNIDADES DERIVADAS			Expresión en función de las unidades SI fundamentales o derivadas
Magnitud	Nombre de la unidad SI	Símbolo de la unidad	
Superficie	metro cuadrado	m <sup>2</sup>	Hz = s <sup>-1</sup>
Volumen	metro cúbico	m <sup>3</sup>	
Frecuencia	hercio, (hertz)	Hz	
Densidad	Kilogramo por metro cúbico	Kg/m <sup>3</sup>	
Velocidad	metro por segundo	m/s	Kg . m/s <sup>2</sup>
Velocidad angular	radiante por segundo	rad/s	
Aceleración	metro por segundo por segundo	m/s <sup>2</sup>	
Aceleración angular	radiante por segundo por segundo	rad/s <sup>2</sup>	
Fuerza	newton	N	N . m
Presión (tensión mecánica)	newton por metro cuadrado	N/m <sup>2</sup>	
Viscosidad cinemática	metro cuadrado por segundo	m <sup>2</sup> /s	
Viscosidad dinámica	newton-segundo por metro cuadrado	N s/m <sup>2</sup>	
Trabajo, energía, cantidad de calor	julio	J	J/s
Potencia	vatio	W	
Cantidad de electricidad	culombio	C	A . s
Tensión eléctrica, diferencia de potencial, fuerza electromotriz	voltio	V	
Resistencia eléctrica	ohmio		V/A
Capacidad eléctrica	faradio	F	A . s/V

## ESQUEMA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN AEROGENERADOR

El esquema de un modelo experimental de generador eólico que aquí nos referimos, quiere ser no solo una demostración de todo lo tratado anteriormente, sino una propuesta a todos aquellos que preocupados por el tema energetico buscan nuevas y originales soluciones a sus problemas, mas que adaptarse a ideas y realizaciones tomadas de antemano, muchas veces mas costosas e inapropiadas, poniendo a prueba asi, el propio espiritu de independencia y creatividad personal.

Este generador ha sido concebido y realizado por un grupo de personas, algunas de ellas con muy pocos conocimientos de fisica o aerodinámica. En su diseño se han tenido en cuenta varios factores que se han considerado fundamentales.

- Simplicidad del sistema: rotores, transmisores, parte eléctrica, etc...
- Simplicidad de los materiales: uso de materiales facilmente reparables y de bajo costo, empleo de piezas standart y de limitada utilización con posibilidad de adaptación del diseño a las necesidades particulares.
- Simplicidad en la construcción: uso por un lado de técnicas simples facilmente accesibles (soldadura, plegado, juntas) y por otro facilidad de montaje en piezas separadas y transportables.

Aun con estas limitaciones el resultado es una máquina suficientemente eficiente y de una potencia adecuada, elástica, esto es susceptible de ser alterada.

Tenemos asi un generador bipala de 3 m. de diámetro, que gira de espaldas al viento,

y que utiliza un alternador de automóvil. La potencia teórica prevista es de cerca de 1 Kw con un viento de 10 m/seg.

## Consideraciones Teóricas

Antes de describir los componentes básicos del sistema, resumimos las principales consideraciones teóricas que han permitido el cálculo de sus dimensiones.

la fórmula Betz sobre la potencia, aplicada a un rotor de 3 m. de diámetro con un viento de 8 m/seg. y 10 m/seg. con un coeficiente de potencia de 0,35 (con palas aerodinámicas de media eficiencia), da como resultado teórico 810 y 1.580 W respectivamente.

En la hipótesis de un rendimiento global del sistema de la transmisión y del generador de electricidad de 0,6 ( $0,93 \times 0,65$ ), se obtiene una potencia teórica de casi 500 y 1.000 W; suficiente en zonas con viento, para alimentar algunos electrodomésticos (por ejemplo un pequeño frigorífico), tener un mínimo de iluminación y sin que se requieran grandes sistemas de acumulación.

Referente a las dimensiones y al esquema de las palas ver el apéndice VI para una información más completa: hasta señalar que la elección se basa en un perfil standart (NACA 4.421) a una escala bastante grande que ha permitido, por un lado, imprecisiones constructivas no determinantes, pero por otro, el uso de medidas de longitud standart con diámetro bastante elevado, evitar cálculos estructurales complicados o verificaciones de estructura experimentales.

Analogamente, la cuerda (ancho de la



pala) ha sido determinada en 210 mm. y la superficie en 0,54 m<sup>2</sup>: esto es, manteniendo en los límites los valores teóricos de  $C_x$ ,  $U/V$ , y de solidez.

Se ha elegido un rotor bipala en la fase inicial del proyecto por dos razones: mayor velocidad de rotación y transmisiones más simples y reducidas, capacidad de giro aún con vientos débiles, con posibilidad de controlar la energía producida en condiciones no óptimas.

No se ha previsto ningún sistema de regulación de las palas (puesta en bandera, variación del paso, spoilers, etc.) a excepción de un modesto sistema de frenado que interviene directamente sobre el eje cuando éste alcanza un determinado número de revoluciones; construido con un freno de ciclomotor al cual le ha sido retirado el *muelle*.

El sistema de transmisión del giro del rotor al alternador ha sido realizado con poleas y correas dentadas en dos etapas. En realidad, dada la baja relación necesaria se podría haber prescindido de la segunda reducción pero se ha preferido sobredimensionar la instalación en previsión de la necesidad de aumentar el número de giros si se montaba un tri o cuatripala.

En cualquier caso sean correas o sean poleas, las dimensiones son standart, fáciles de encontrar en el mercado.

Para la conducción de la electricidad del alternador a las baterías usamos, el sistema rotor-alternador, que atraviesa el perno de rotación a la base de la torre y de esta a la batería, formado por anillos de cobre y escobillas del mismo material como ya se indica en el esquema de la figura

La afirmación de algunos constructores americanos, según la cual estadísticamente un cabo libre de adecuadas dimensiones se enrolla y se desenrolla sin romperse se ha confirmado prácticamente.

La instalación de un carenado en fibra de vidrio cubriendo todo el sistema de transmisiones, influye mínimamente en el rendimiento total pero mejora, indudablemente, la estética del conjunto.

Antes de pasar al análisis detallado de los componentes del sistema, cabe resaltar que todas las medidas indicadas, sobre todo aquellas que hacen referencia al sistema de transmisión de correas y poleas, son susceptibles de ser variadas y no son además determinantes: más que una exacta respuesta al diseño de las piezas, es importante que exista una uniformidad entre ellas y que los principales inspiradores no distorsionen el conjunto.

### Construcción del rotor.

Para la realización de la pala son necesarias los siguientes materiales:

- 1 tubo de fibra de vidrio. Diámetro externo 40 mm., interno 35 mm., y de 3 m. de largo.

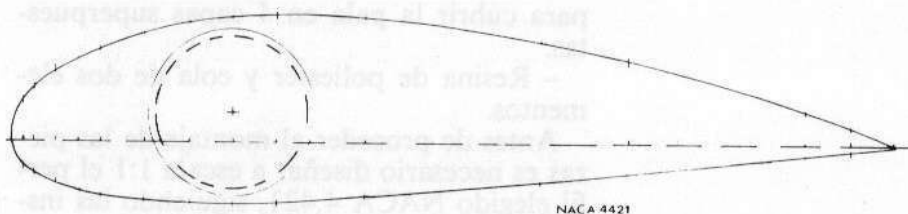


Gráfico 1. Perfil NACA 4.421 para la construcción de la pala.

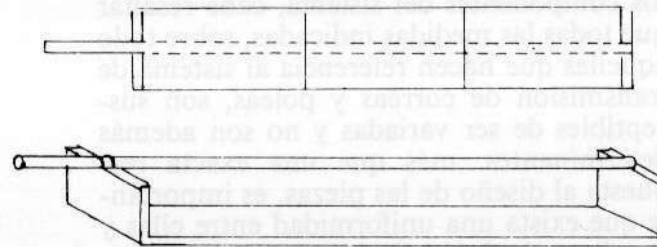


Gráfico 2. Soporte para la construcción de la pala.

- 1 bloque de 25 x 30 dm<sup>3</sup> de poliuretano expandido de una densidad de 90 Kg x m<sup>3</sup>.
- Plancha de aluminio de 4 mm. de ancho, de espesor suficiente para hacer unas 4 piezas de 4 cm. con un agujero de 40 mm., por donde se pasará el eje de la pala y que nos servirá de armazón.
- Lana de vidrio de 0,25 mm. de espesor para cubrir la pala en 4 capas superpuestas.
- Resina de poliéster y cola de dos elementos.

Antes de proceder al montaje de las piezas es necesario diseñar a escala 1:1 el perfil elegido NACA 4.421, siguiendo las instrucciones del Anexo VI y trasladarlo so-

bre cartón, madera, etc. para obtener una plantilla (Gráf. 1) que nos permitirá controlar la exacta curvatura del modelo final hecho a mano de poliuretano cubierto con la fibra de vidrio.

La plantilla nos servirá también para saber el emplazamiento del orificio por donde pasa el eje de la pala.

En el (Gráf. 2) se explica el esquema de montaje de un soporte para el eje que nos facilitará el montaje de la pala.

Cuando todo el material esté preparado se coloca el eje sobre el soporte que tiene una longitud de 150 cm. y se atraviesa la primera pieza de aluminio que nos sirve de armazón. Es indiferente empezar por un extremo u otro.

Una vez colocada la primera, se procede análogamente con las otras tres, los bordes de la primera y de la última deben formar un ángulo de 12° (4° entre una pieza y su contigua) lo que forma el alabeamiento de la pala. Para controlar el exacto alineamiento se debe medir la distancia entre la extremidad de la pieza y la base del soporte (Gráf. 3)

Una vez colocada la pieza (atención la cola debe estar perfectamente seca), procederemos al ensamblaje de los bloques de poliuretano, primeramente se deben encolar cuatro hacia el borde de ataque y seguidamente otros cuatro hacia el borde de salida.

Las superficies a encolar es aconsejable lijarlas y pulirlas para favorecer que la cola agarre mejor y que el conjunto tenga mayor consistencia.

La fase final de pulido puede realizarse con varios materiales abrasivos: lima, ras-

pa, papel de lija, siempre más fino.

En este punto la pala está prácticamente terminada. Controlando una vez más la linealidad del alabeado se recubre su superficie con una o varias capas de lana de vidrio impregnadas de resina poliéster.

Se debe realizar con cuidado debiendo ser la cobertura suficientemente lisa y uniforme. En cualquier caso es siempre posible proceder como en cualquier reparación de la carrocería de un automóvil.

### Unión de la pala al buje.

La unión de la pala al buje que requiere alguna pieza no standart que se puede realizar con un torno o una fresadora. Se hubiese podido evitar esto utilizando simples records standart, pero hubieramos obtenido un sistema rígido, mientras nuestro objetivo es obtener un acoplamiento que permita la variación del paso de las palas. (Gráf. 4)

El diseño ilustra claramente el esquema de fabricación del bloque soporte y el modo en que puede montarse. Las piezas de unión entre la base de la pala y el soporte, deben ser idénticas salvo que los agujeros de la última deben ser ovalados en lugar de circulares, permitiendo que la pala adopte distintas posiciones de inclinación. Esto se consigue soldando a un tubo de acero de 40 cm. de diámetro, un anillo de 100 mm. de diámetro y 5 de espesor; es importante que el diámetro interno del tubo sea de 40 mm. ya que a éste debe entrar el tubo de fibra de vidrio que se soldará con la cola de dos elementos.

La pieza central del buje, en la que se

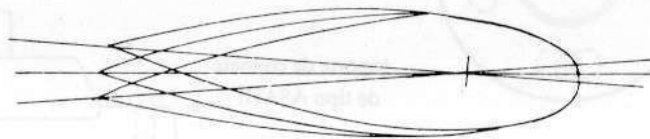


Gráfico 3. Forma del alabeamiento de la pala.

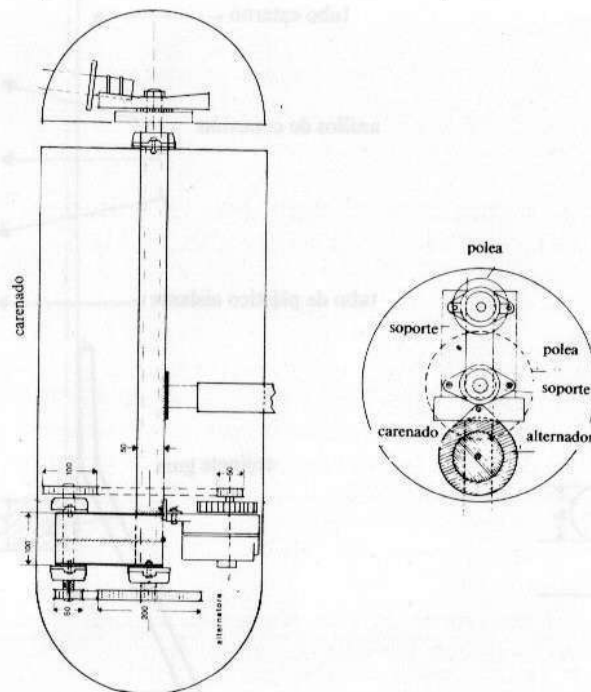


Gráfico 4. Esquema para la construcción de la unión pala - eje de rotación.



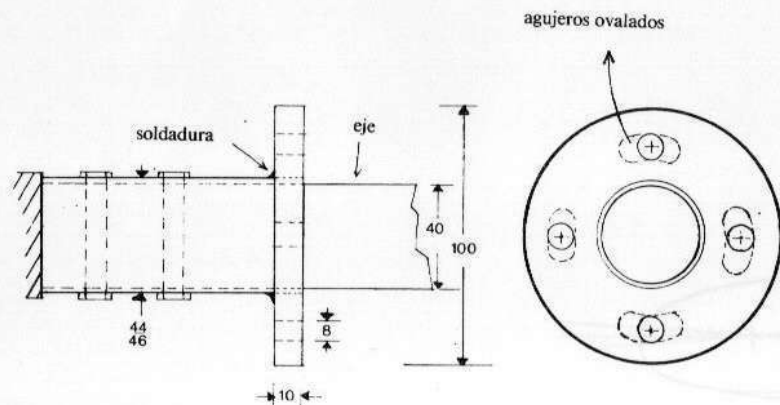


Gráfico 5. Unión pala - eje de rotación.

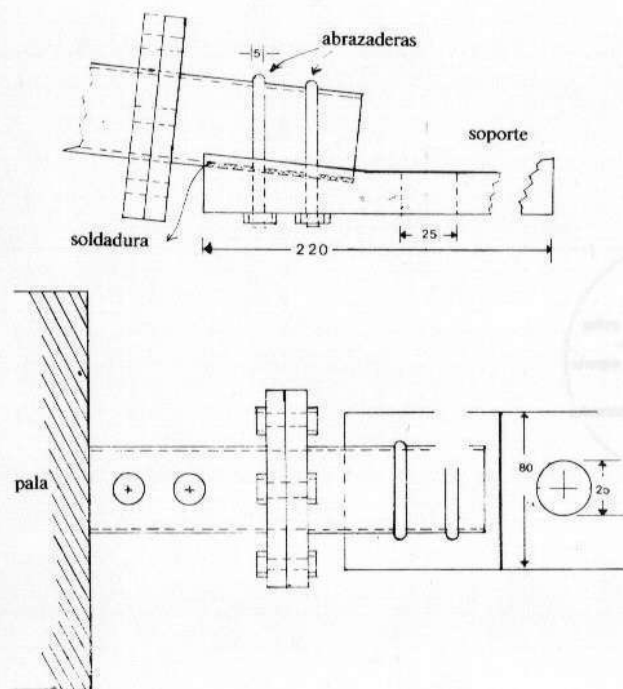


Gráfico 6. Esquema del sistema de transmisión.

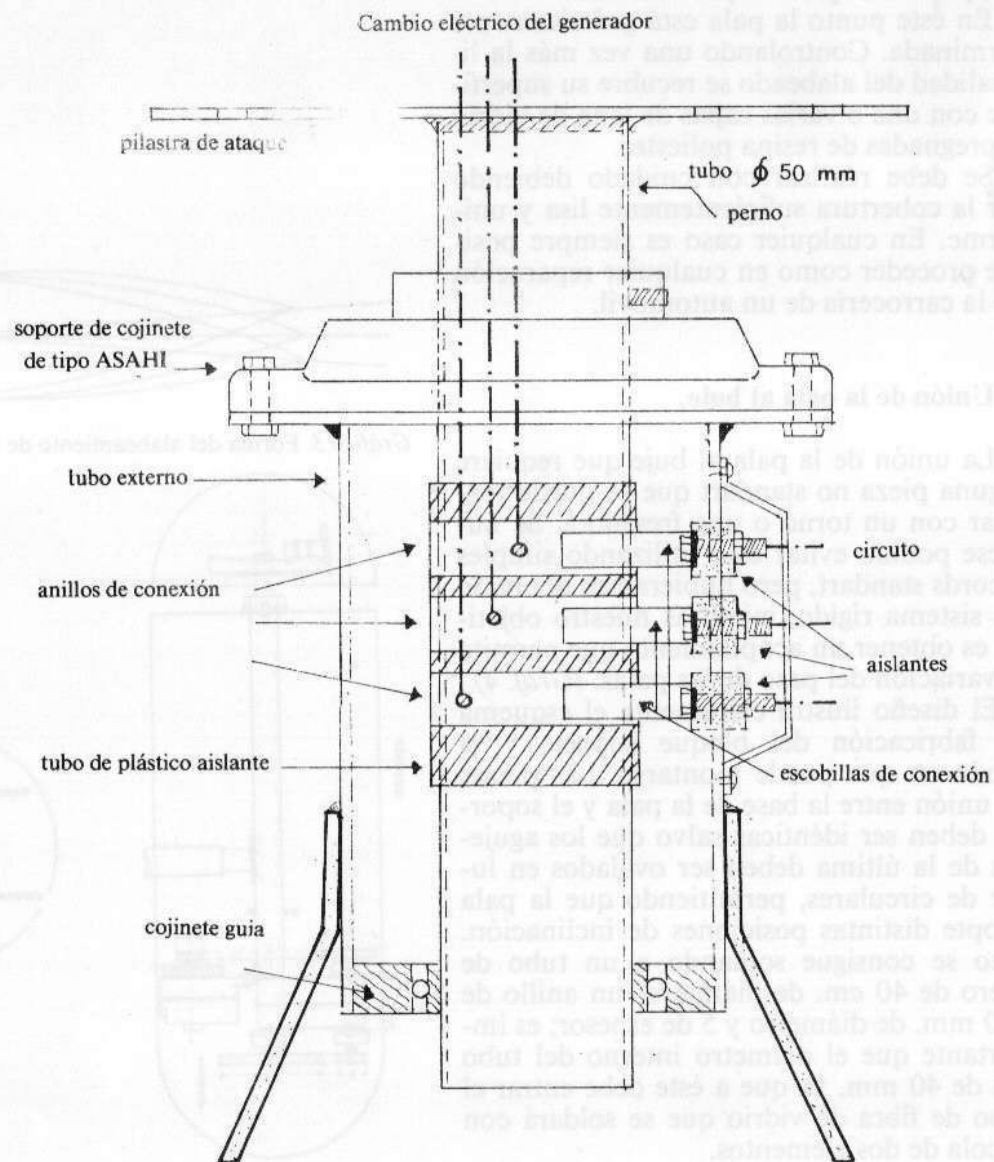


Gráfico 7. Esquema del sistema eléctrico.

debe practicar un agujero de 25 cm., se realiza con una fresa. Será una pieza rectangular de 220 x 80 mm. con la punta inclinada unos 6° por donde se sujetará la base de la pala. (Gráf. 5)

### Soporte y transmisión relativa.

Los materiales necesarios son:

- Tubo de sección cuadrada de 50 cm. de lado, de 2 a 2,5 mm. de espesor y 120, 130 cm. de largo.
- Barra de acero de 25 mm. de diámetro y 100 cm. de largo, rectificada (eje principal).
- Barra de acero de 20 mm. de diámetro y 25,30 cm. de largo (eje secundario).
- Perfil de acero en L de varias dimensiones 50 x 50 mm. y 25 x 25 mm.
- Material para soldadura.
- 2 soportes de transmisión a cojinetes de diámetro interior de 25 mm.
- 2 soportes de transmisión a cojinetes de diámetro interior 20 mm.

Para el montaje del conjunto vease el esquema de construcción teniendo en cuenta el alinear perfectamente los cojinetes

### Transmisión.

Se ha escogido una transmisión a base de polea y correa dentada. La primera polea tiene un diámetro de 20 cm. y transmite el movimiento a una de 5 cm. solidaria al eje secundario, una tercera polea de 10 cm. transmite el movimiento al alternador al que se le ha sustituido su polea por otra dentada de 5 cm. de diámetro.

La relación de transmisión será de 1 a 8.

### Soporte del rotor y eje de orientación.

Se puede diseñar fijo o desmontable. Un tubo de 50 cm. de diámetro soldado a una placa de acero, la cual a su vez será soldada (versión fija) o atornillable (versión móvil) al tubo cuadrado por cuyo interior gira el eje del rotor.

La posición exacta de unión dependerá del peso del conjunto y debe hacerse de modo que esté en perfecto equilibrio. La parte superior del cojinete se soldará a un tubo de diámetro superior en donde se alojará el sistema de transmisión eléctrica desde el rotor a la base de la torre.

## CONSTRUCCIÓN DE UN ANEMÓMETRO

Un aparato para medir la velocidad del viento es caro, a no ser que se emplee la escala de Beaufort. En el mercado de las embarcaciones a vela se pueden obtener de segunda mano a precios razonables. Nuevos son demasiado caros ya que constan de anemómetro, veleta y marcadores de aguja de medida directa.

A continuación explicamos la construcción de dos tipos de anemómetros, uno de medida directa de la velocidad del viento en cada momento, mediante una aguja en una escala graduada y otro con un registro totalizador que nos da el recorrido del viento en un periodo determinado.

Estos instrumentos son de una realización sencilla y poco costosa y de una precisión suficiente para la estimación de la velocidad en un emplazamiento determinado. Por otra parte no requieren ningún tipo de energía exterior, lo cual es muy ventajoso ya que podemos olvidarnos del aprovisionamiento de energía y por tanto podemos medir la velocidad del viento desde cualquier emplazamiento.

### Anemómetro de lectura directa.

Este aparato consiste en un mecanismo que transforma la energía del viento en el giro de un eje mediante un molinete de cazoleta. Posteriormente, se convierte en una señal eléctrica mediante una dinámo de polos permanentes. Esta señal se mide mediante un miliamperímetro.

Al soplar el viento el molinete de cazoletas gira, ya que unas tienen la parte convexa de cara al viento y las otras tienen cóncava, como se ve en el gráfico. La velocidad de giro es una función no lineal de la velocidad del viento. Esta causa provoca que el ajuste del miliamperímetro sea laboriosa.

El molinete hace girar la dinámo que es poco voltaje como la de los coches de juguete de los niños u otros juguetes mecanizados. Estos dos elementos, molinete y dinámo, se colocan en el exterior encima de un mástil o palo, formando una unidad compacta.

En la vivienda o local cerrado, tendremos el aparato medidor de la intensidad producida que estará conectado a la unidad por cables eléctricos.

### Materiales.

Dos pelotas de plástico de 50 mm. de Ø. Deben ser mayores que las de ping-pong y de poco peso. Dos varillas de aluminio de 200 mm. de largo y tres mm. de Ø. Un motor eléctrico de imanes permanentes de corriente continua (dinamo). Existen en el mercado (tiendas de maquetas, aeromodelismo,...) de diferentes potencias, tensiones y velocidades de giro. Que sea el de menor potencia y menos número de revoluciones que haya. 10 mm. de tubo de plástico que entre en el eje de la dinámo, con un grosor máximo a ser posible, de 10 mm. Un trozo plano de plástico rígido de 3 mm. de espesor. Un tubo de plástico o madera en cuyo



interior debe alojarse la dinamo. Pegamento de alta resistencia que no ataque a los plástico al pegar. Cable eléctrico de 1 mm. de sección y de una longitud adecuada a la distancia entre el anemómetro y el centro de medida. Silicona o cualquier materia que impermeabilice. Un miliamperímetro de escala de 0 a 1 mA. Un mástil o palo de unos 10 m. de altura.

### Construcción.

**Molinete de cazoletas:** Se debe cumplir siempre que el diámetro de las cazoletas dividido por la longitud de las varillas de aluminio que las soportan sea de 0,25. Es decir, que si las cazoletas son de 4 mm. de Ø. las varillas deben ser de  $4/0,25 = 16$  mm.

Dividir las pelotas por la mitad obteniendo 4 cazoletas y pegarlas como se indica en la figura a las varillas. Con el tubo y el trozo de plástico hacer la pieza A, sobre la cual se deben colocar en cruz las dos varillas con las cazoletas, procurar que queden centradas, caso de que al girar vibren, añadir una gota de pegamento en un extremo del molinete. Una vez se tiene el molinete, hacer el soporte de la dinamo. Colocar esta en el interior del tubo procurando que quede vertical con el eje hacia arriba. Colocar el molinete en el eje y sellar con silicona, procurando no atascar el eje. Conectando el cable eléctrico al miliamperímetro, procedemos a realizar una serie de ensayos destinados a marcar la escala de medidas del anemómetro las velocidades del viento en cada caso.

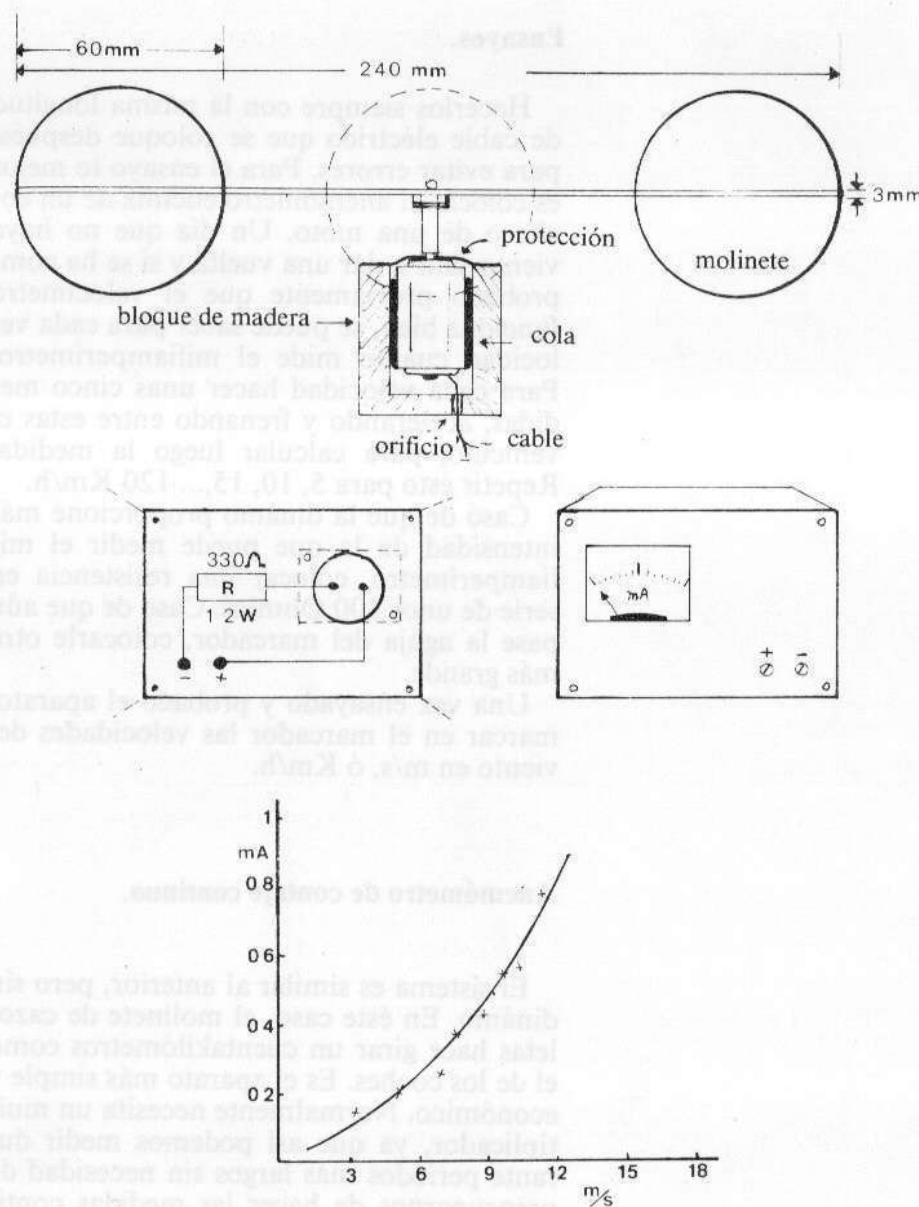


Gráfico 1. Esquema de construcción de un anemómetro de lectura directa y curva de calibrado.

**Ensayos.**

Hacerlos siempre con la misma longitud de cable eléctrico que se coloque después, para evitar errores. Para el ensayo lo mejor es colocar el anemómetro encima de un coche o de una moto. Un día que no haya viento salir a dar una vuelta y si se ha comprobado previamente que el velocímetro funciona bien, se puede saber para cada velocidad cuanto mide el miliamperímetro. Para cada velocidad hacer unas cinco medidas, acelerando y frenando entre estas el vehículo, para calcular luego la medida. Repetir esto para 5, 10, 15,... 120 Km/h.

Caso de que la dinámo proporcione más intensidad de la que puede medir el miliamperímetro, colocar una resistencia en serie de unos 300 Ohmios. Caso de que aún pase la aguja del marcador, colocarle otra más grande.

Una vez ensayado y probado el aparato, marcar en el marcador las velocidades del viento en m/s, ó Km/h.

**Anemómetro de contaje continuo.**

El sistema es similar al anterior, pero sin dinámo. En éste caso, el molinete de cazoletas hace girar un cuentakilómetros como el de los coches. Es el aparato más simple y económico. Normalmente necesita un multiplicador, ya que así podemos medir durante períodos más largos sin necesidad de preocuparnos de hacer las medidas continuamente.

Para el molinete, los mismos que para el anterior. Un multiplicador que se puede comprar en las tiendas especializadas de juguetes, maquetas o aeromodelismo. La relación de multiplicación debe estar comprendida entre 1 : 16 y 1 : 40. Normalmente son de plástico ya que son más económicos y menos pesados. Un cuenta-kilómetros de 5 dígitos como mínimo.

**Construcción.**

El molinete, de igual modo; el multiplicador y el cuenta-kilómetros deben colocarse dentro del tubo, pero teniendo la precaución de que el contador se vea desde fuera tal como se indica en la figura gráfico 2.

**Materiales.**

Repetir lo mismo de antes con el coche o la moto, pero en lugar de medir velocidades instantáneas, se deben ahora medir en un día que no haga viento, el número de vueltas que ha dado el contador del anemómetro durante un minuto, a una velocidad constante.

Restando el número que marca el contador después y antes de la prueba, se obtiene el número total de vueltas que corresponderán a la velocidad  $a$  que se haya hecho la prueba. Repitiendo esto para cada velocidad, de 5, 10, 15,... 120 Km/h., se obtendrán la velocidad y número de vueltas. Construir la curva del gráfico 2 y cuando se mida por ejemplo la velocidad durante 15





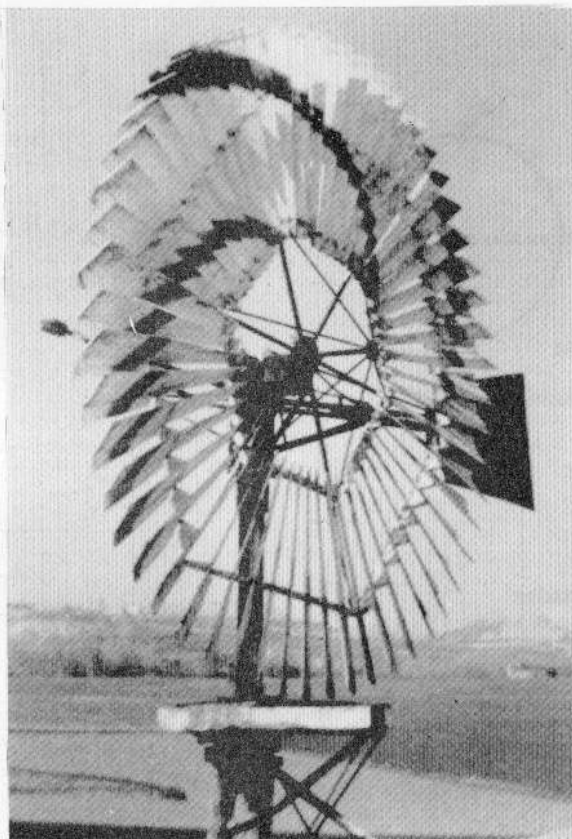


Gráfico 2. Motor de viento.

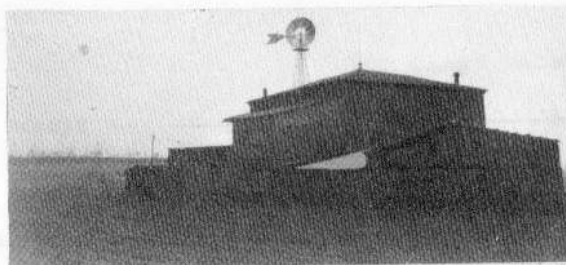


Gráfico 1. Manso Serrarrica.



Gráfico 3. Rotor multipala.

## AUTOCONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE VIENTO PARA BOMBEO.

### Localización

Esta ubicado en el Manso Serrarrica, término municipal de Vic, en la Comarca de Osona (provincia de Barcelona). (Graf. 1)

### Construcción

Sobre la base de un antiguo motor de viento realizado en madera de pino (Graf. 2), construido a finales del siglo pasado por Josep M<sup>a</sup> Gamisans (abuelo del actual constructor), que funcionó más de 80 años, Lluís Gamisans construyó un nuevo motor de viento realizado enteramente con hierro y aluminio.

Teniendo en cuenta que la construcción se realizaba a ratos libres, tardó unos dos años en dejarlo listo, y empezando a funcionar en el mes de marzo de 1979.

El antiguo motor tenía un rotor de 6 cuerpos con 8 palas cada uno (en total 48 palas) y estaba apoyado en una viga de roble, en el mismo lugar donde se ha instalado el nuevo modelo.

El mecanismo de captación de la energía del viento es un rotor multipala (Graf. 3), de 6 cuerpos con 6 palas en cada cuerpo. En total son 36 palas. Cada una tiene un perfil curvado y se realizó en aluminio (Graf. 4). Tienen una longitud de 90 cm. El diámetro del rotor es de 2,50 m.

El mecanismo de orientación y frenado, está formado por dos aletas, una fija y otra

movil, además de un muelle recuperador (*Graf. 5*). La aleta mayor situa al rotor para que esté siempre orientado perpendicularmente a la dirección del viento. La menor regula la velocidad, de forma que para vientos fuertes hace girar al rotor hasta situarse oblicuamente a la dirección del viento, e incluso, si el viento es lo suficientemente fuerte, lo pone en su misma dirección parándose el rotor.

El movimiento circular se transmite a partir del eje del rotor solidario con un cigüeñal (*Graf. 6*), que lo transforma en un movimiento longitudinal (en sentido vertical) y que una barra denominada "Bergallina" lo transmite hasta la bomba.

El soporte es una torre metálica de 4 patas y 6 cuerpos, de una altura aproximada de 3,60 m., apoyada parcialmente sobre el tejado de la casa y sobre un soporte de hierro adosado a la pared, a una altura de 9 m. sobre el nivel del suelo (*Graf. 8*).

El mecanismo de aspiración del agua del pozo consta de una bomba de membrana, de dos válvulas, autoconstruida, situada a unos 2 m. debajo del nivel del suelo. El tubo de aspiración tiene una longitud de 10 m. (*Graf. 7*).

#### Características.

Con los vientos locales el rotor gira a una velocidad de 70 a 100 r.p.m.

Por cada vuelta que dá, el motor aspira 1,700 litros de agua, lo que a 80 r.p.m. proporciona un caudal de 8.160 litros/hora.

Durante los meses cálidos, cuando las brisas son más regulares, puede llenar los

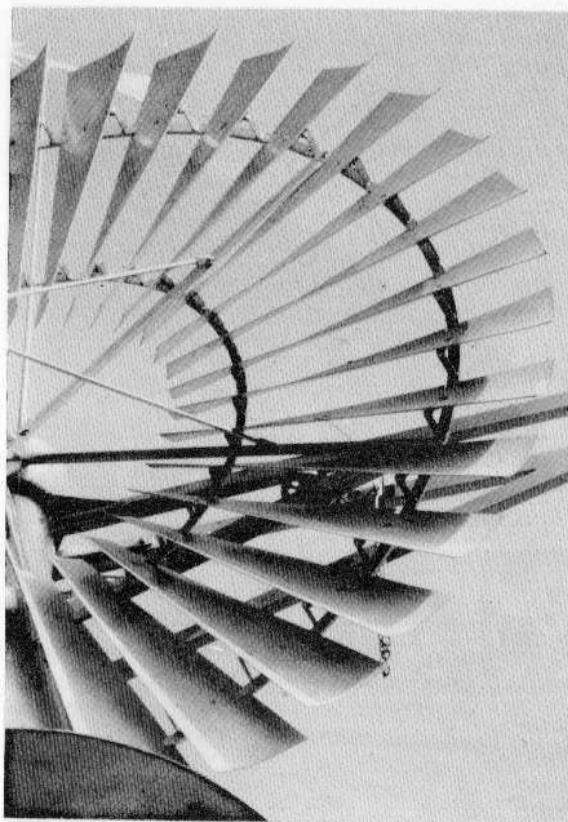


Gráfico 4. Detalle de las palas.

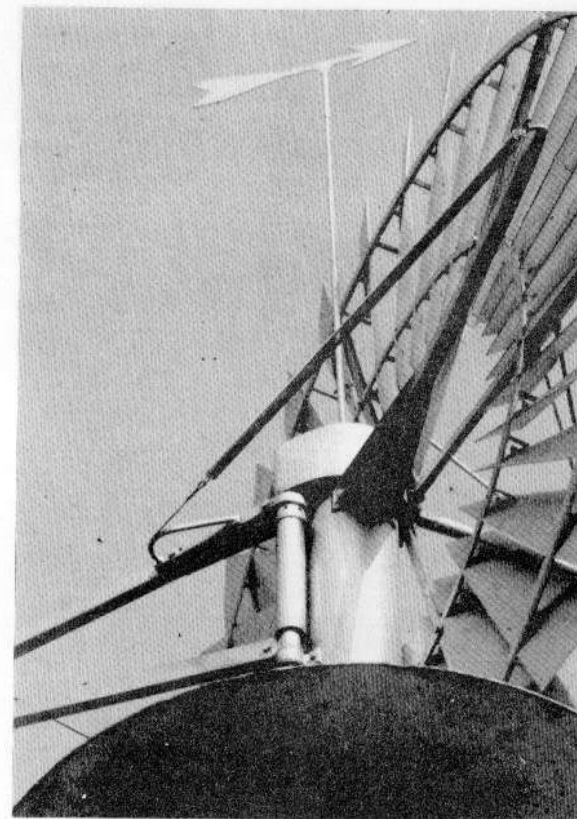


Gráfico 5. Mecanismo de orientación y frenado.

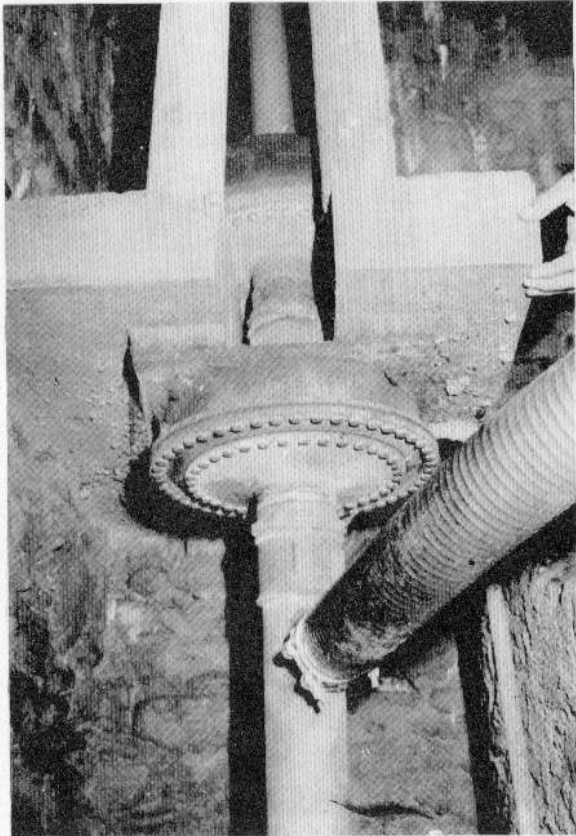


Gráfico 8. Tubo de aspiración.

Bomba de membrana y  
tubo de aspiración



Gráfico 7. Detalle del soporte.

depósitos de suministro de agua potable y una balsa de 35.000 litros en un día, es decir, desde que empieza a soplar la brisa a media mañana, hasta el atardecer.

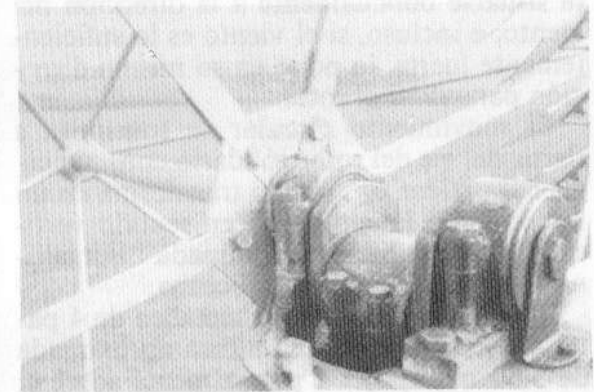


Gráfico 6. Detalle de la excéntrica.

del cigüeñal y



de 19

Mes de

de 19

[illegible]

(3) Total en el día civil, de 0 a 24 horas.

(4) Total desde las 7 horas del día de la fecha a las 7 horas del día siguiente.

(3) Total en el día civil, de 0 a 24 horas.

(3) Total en el día civil, de 0 a 24 horas.

(4) Total desde las 7 horas del día de la fecha a las 7 horas del día siguiente.

**Gráfico del I.N.M. para la cuantificación del viento.**

## Servicio Meteorológico Nacional

Estación de .....

Municipio de .....

Provincia de .....

Mes ..... Año 19.....  $\varphi =$  .....;  $\lambda =$  .....;  $g =$  .....;  $\Delta G =$  .....;  $H_s =$  .....;  $H_b =$  .....;  $h_l =$  .....;  $h_a =$  .....;  $h_d =$  .....;  $h_r =$  .....

Mod. 460/74 - Imp. Instituto Nacional de Meteorología.

Temperatura máxima absoluta ..... °C fecha ..... * mínima absoluta ..... °C fecha ..... * media de las máximas ..... °C * media de las mínimas ..... °C * media mensual ..... °C * media a 7 Horas ..... °C * media a 13 Horas ..... °C * media a 18 Horas ..... °C  N.º de días de temperatura mínima $\geq -5^{\circ}\text{C}$ ..... * * * * * $\geq 0^{\circ}\text{C}$ ..... * * * * * $\geq 20^{\circ}\text{C}$ ..... * * * * * máxima $\geq 25^{\circ}\text{C}$ ..... * * * * * $\geq 30^{\circ}\text{C}$ .....  Humedad relativa media a 7 Horas (% ) ..... * * * * * a 13 Horas (% ) ..... * * * * * a 18 Horas (% ) ..... * * * * * mensual (% ) .....	Precipitación total en mm ..... * máxima en un día mm ..... Fechas de la precipitación máxima ..... N.º total de días de precipitación ..... Viento dominante en el máximo ..... N.º de días de precipitación ip. $< 0,1$ mm ..... * * * * * $\leq 0,1$ ..... * * * * * $\leq 1,0$ ..... * * * * * $\leq 10,0$ ..... * * * * * $\leq 30,0$ ..... * * lluvia * ..... * * nieve * ..... * * granizo o pedrisco $\Delta \blacktriangle$ ..... * * tormenta $\nabla$ ..... * * niebla $\equiv$ ..... * * rocío $\cup$ ..... * * escarcha $\perp$ ..... * * suelo cubierto de nieve $\boxtimes$ ..... Tensión media del vapor de agua ..... (mm) ..... (mb) ..... Punto de rocío medio mensual ( $^{\circ}\text{C}$ ) ..... Evaporación total del mes (mm) ..... * media diaria (mm) ..... Presión atmosférica { en la estación en mm: ..... en mb ..... media $0^{\circ}\text{C}$ { en m al nivel del mar o al de ref. que corres. ....	Nubosidad media (En octavas partes de cielo) A 7 horas ..... 13 horas ..... 18 horas ..... Número de días despejados ..... * * * * * nubosos ..... * * * * * cubiertos ..... Insolación total mensual (horas de sol) ..... % de insolación ..... Otros fenómenos .....
--	--	---

## V I E N T O

Número de veces en % que se ha observado en cada dirección y velocidad media para cada una de ellas en Km/hora													Calma $< 1,8$ Km/h	Velocidad media km/h	Recorrido mensual del viento en km. (de 0 a 24 H.) ..... (de 7 a 7 H.) ..... * medio por día * ..... (de 0 a 24 H.) ..... (de 7 a 7 H.) ..... * medio por hora * ..... (de 0 a 24 H.) ..... (de 7 a 7 H.) ..... * máximo en un día * ..... (de 0 a 24 H.) ..... (de 7 a 7 H.) ..... Fechas ..... Dirección y velocidad de la racha máxima registrada en el anemocinógrafo { Dirección ..... } día ..... a ..... horas ..... min. { Velocidad ..... km/h. }	
N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W				WNW
%																
Km/h																
Número de veces en % con velocidad de													Número de días con velocidad igual o mayor que			Enviado el día ..... de ..... de 19 ..... El Jefe del Observatorio.
0 - 5 Km/h	6 - 12	13 - 20	21 - 32	33 - 50	$> 50$ Km/h	36 Km/h	55 Km/h	91 Km/h								

Explicaciones a la vuelta

Gráfico Meteorológico del Instituto Nacional de Meteorología.

### Significado de las letras del encabezamiento

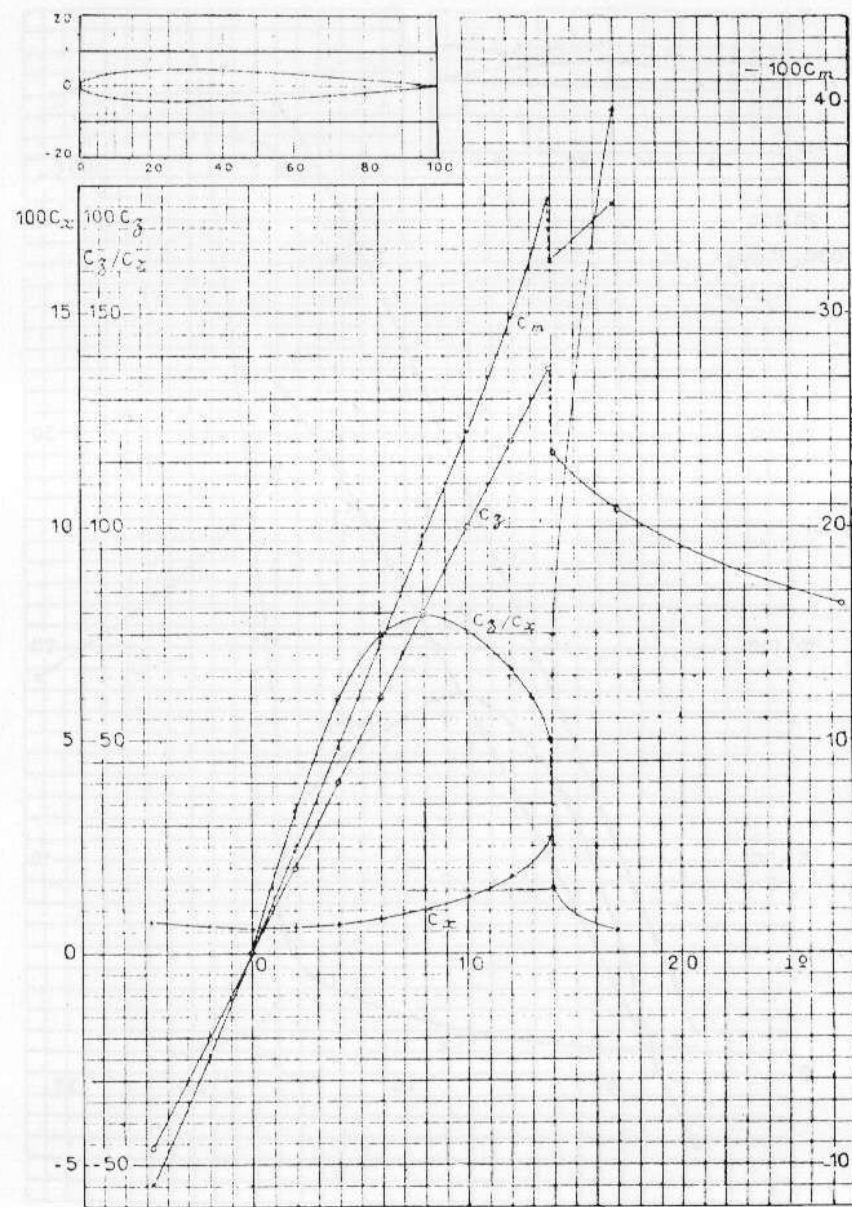
- $\varphi$  = Latitud geográfica.  
 $\lambda$  = Longitud geográfica, respecto a Greenwich.  
 $g$  = Aceleración de la gravedad.  
 $\Delta G$  = Diferencia entre la hora utilizada y la hora Greenwich.  
 $H_s$  = Altitud del suelo de la estación.  
 $H_b$  = Altitud de la cubeta del barómetro.  
 $h_t$  = Altura sobre el suelo del depósito del termómetro.  
 $h_a$  = Altura sobre el suelo del anemómetro.  
 $h_v$  = Altura sobre el suelo de la veleta.  
 $h_r$  = Altura sobre el suelo de la boca del pluviómetro.



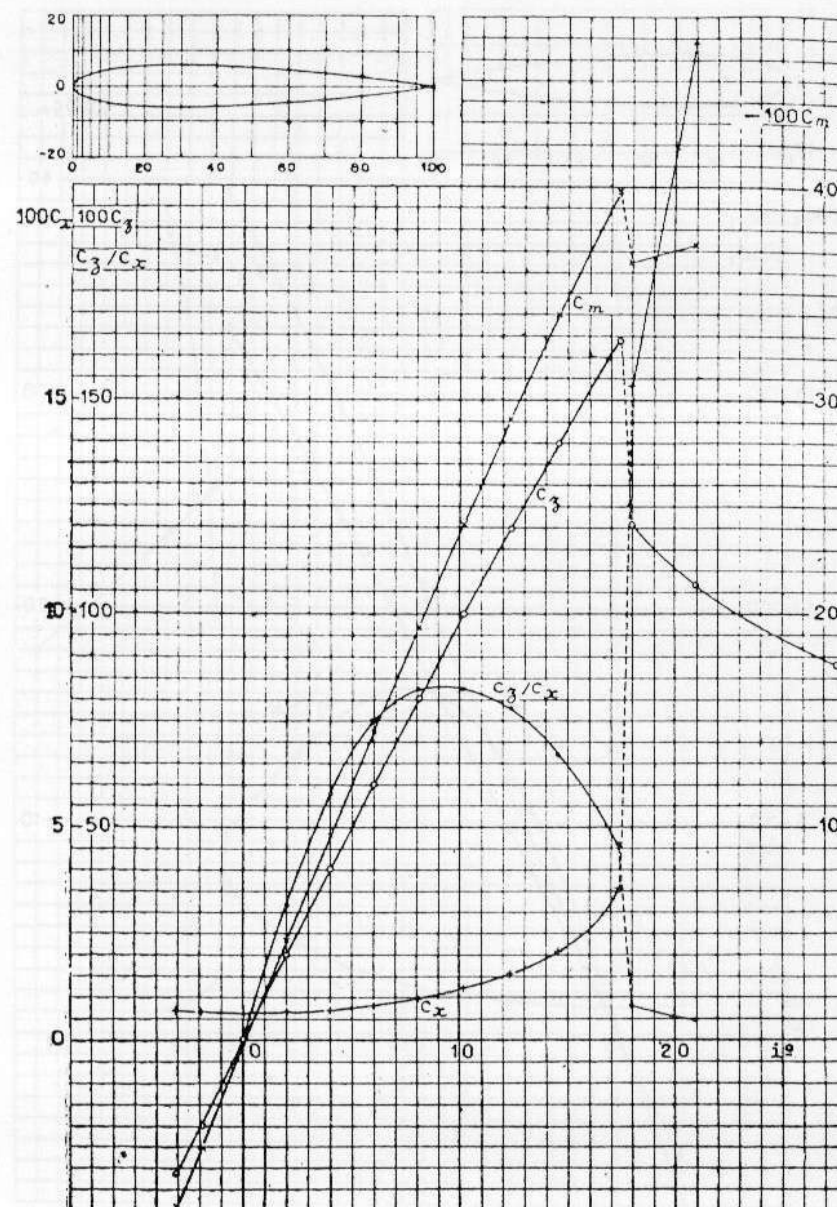
## COTAS DE PERFILES NACA

	$x$	0	1,25	2,5	5,0	7,5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	95	100	RAYON du bord d'attaque
NACA 0009	$y_1$	0	1,42	1,96	2,67	3,15	3,51	4,01	4,30	4,46	4,50	4,35	3,97	3,42	2,75	1,97	1,09	0,60	0	
	$y_2$	0	-1,42	-1,96	-2,67	-3,15	-3,51	-4,01	-4,30	-4,46	-4,50	-4,35	-3,97	-3,42	-2,75	-1,97	-1,09	-0,60	0	0,89
NACA 0012	$y_1$	0	1,89	2,62	3,56	4,20	4,68	5,34	5,74	5,94	6,00	5,80	5,29	4,56	3,66	2,62	1,45	0,81	0	
	$y_2$	0	-1,89	-2,62	-3,56	-4,20	-4,68	-5,34	-5,74	-5,94	-6,00	-5,80	-5,29	-4,56	-3,66	-2,62	-1,45	-0,81	0	1,58
NACA 0015	$y_1$	0	2,37	3,27	4,44	5,25	5,85	6,68	7,17	7,43	7,50	7,25	6,62	5,70	4,58	3,28	1,81	1,01	0	
	$y_2$	0	-2,37	-3,27	-4,44	-5,25	-5,85	-6,68	-7,17	-7,43	-7,50	-7,25	-6,62	-5,70	-4,58	-3,28	-1,81	-1,01	0	2,48
NACA 2409	$y_1$	0	1,62	2,27	3,20	3,87	4,43	5,25	5,81	6,18	6,38	6,35	5,92	5,22	4,27	3,10	1,72	0,94	0	
	$y_2$	0	-1,23	-1,66	-2,15	-2,44	-2,60	-2,77	-2,79	-2,74	-2,62	-2,35	-2,02	-1,63	-1,24	-0,85	-0,47	-0,28	0	-0,89
NACA 2412	$y_1$	0	2,15	2,99	4,13	4,96	5,63	6,61	7,26	7,67	7,88	7,80	7,24	6,36	5,18	3,75	2,08	1,14	0	
	$y_2$	0	-1,65	-2,27	-3,01	-3,46	-3,75	-4,10	-4,23	-4,22	-4,12	-3,80	-3,34	-2,76	-2,14	-1,50	-0,82	-0,48	0	1,58
NACA 4409	$y_1$	0	1,81	2,61	3,74	4,64	5,37	6,52	7,33	7,90	8,25	8,35	7,87	7,00	5,76	4,21	2,33	1,26	0	
	$y_2$	0	-1,05	-1,37	-1,65	-1,74	-1,73	-1,55	-1,30	-1,02	-0,76	-0,35	-0,07	-0,14	-0,26	-0,26	-0,14	-0,03	0	0,89
NACA 4412	$y_1$	0	2,44	3,39	4,73	5,76	6,59	7,89	8,80	9,41	9,76	9,80	9,19	8,14	6,69	4,89	2,71	1,47	0	
	$y_2$	0	-1,43	-1,95	-2,49	-2,74	-2,86	-2,88	-2,74	-2,50	-2,26	-1,80	-1,40	-1,00	-0,65	-0,39	-0,22	-0,16	0	1,58
NACA 23009	$y_1$	0	2,04	2,83	3,93	4,70	5,26	5,85	6,06	6,11	6,05	5,69	5,09	4,32	3,42	2,41	1,31	0,72	0	
	$y_2$	0	-0,91	-1,19	-1,44	-1,63	-1,79	-2,17	-2,55	-2,80	-2,96	-3,03	-2,86	-2,53	-2,08	-1,51	-0,86	-0,50	0	0,89
NACA 23012	$y_1$	0	2,67	3,61	4,91	5,80	6,43	7,19	7,50	7,60	7,55	7,14	6,41	5,47	4,36	3,08	1,68	0,92	0	
	$y_2$	0	-1,23	-1,71	-2,26	-2,61	-2,92	-3,50	-3,97	-4,28	-4,46	-4,48	-4,17	-3,67	-3,00	-2,16	-1,23	-0,70	0	1,58
NACA 23015	$y_1$	0	3,34	4,44	5,89	6,90	7,64	8,52	8,92	9,08	9,05	8,59	7,74	6,61	5,25	3,73	2,04	1,12	0	
	$y_2$	0	-1,54	-2,25	-3,04	-3,61	-4,09	-4,84	-5,41	-5,78	-5,96	-5,92	-5,50	-4,81	-3,91	-2,83	-1,59	-0,90	0	2,48

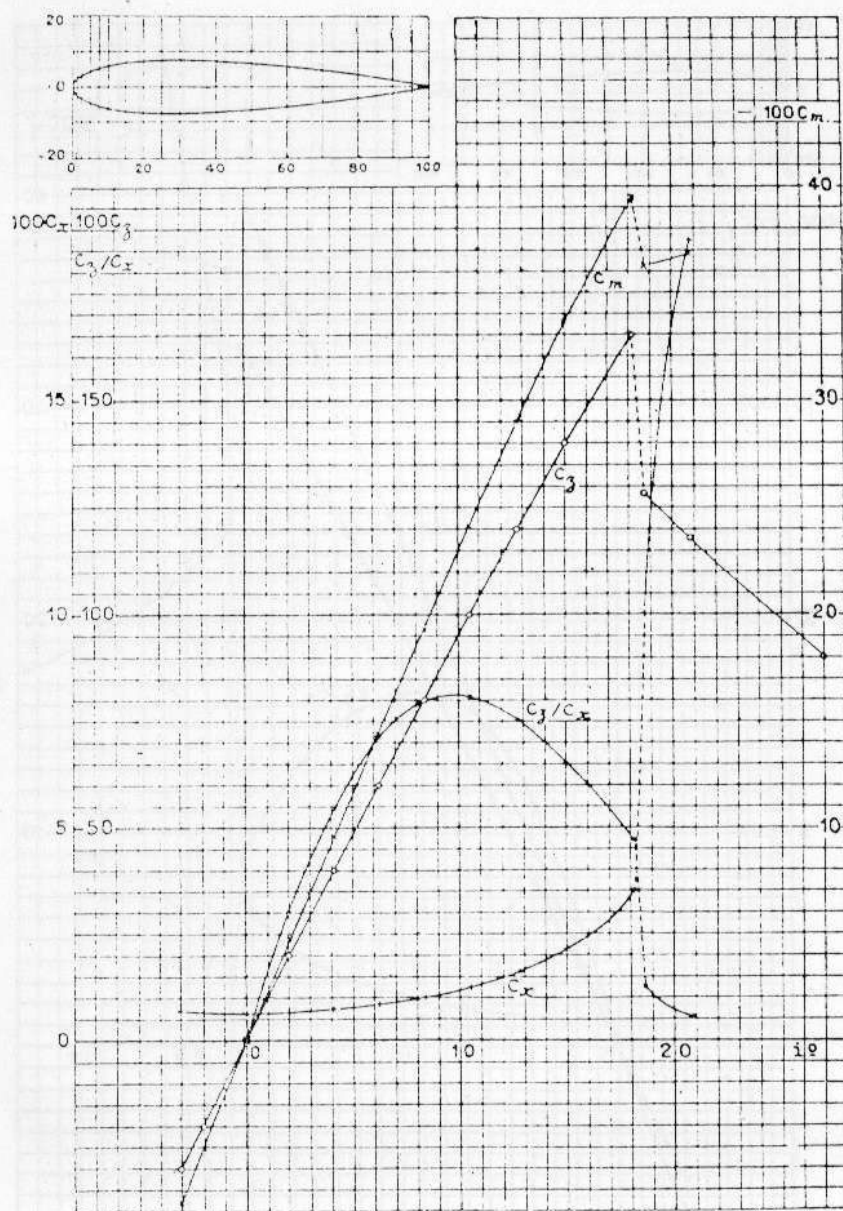
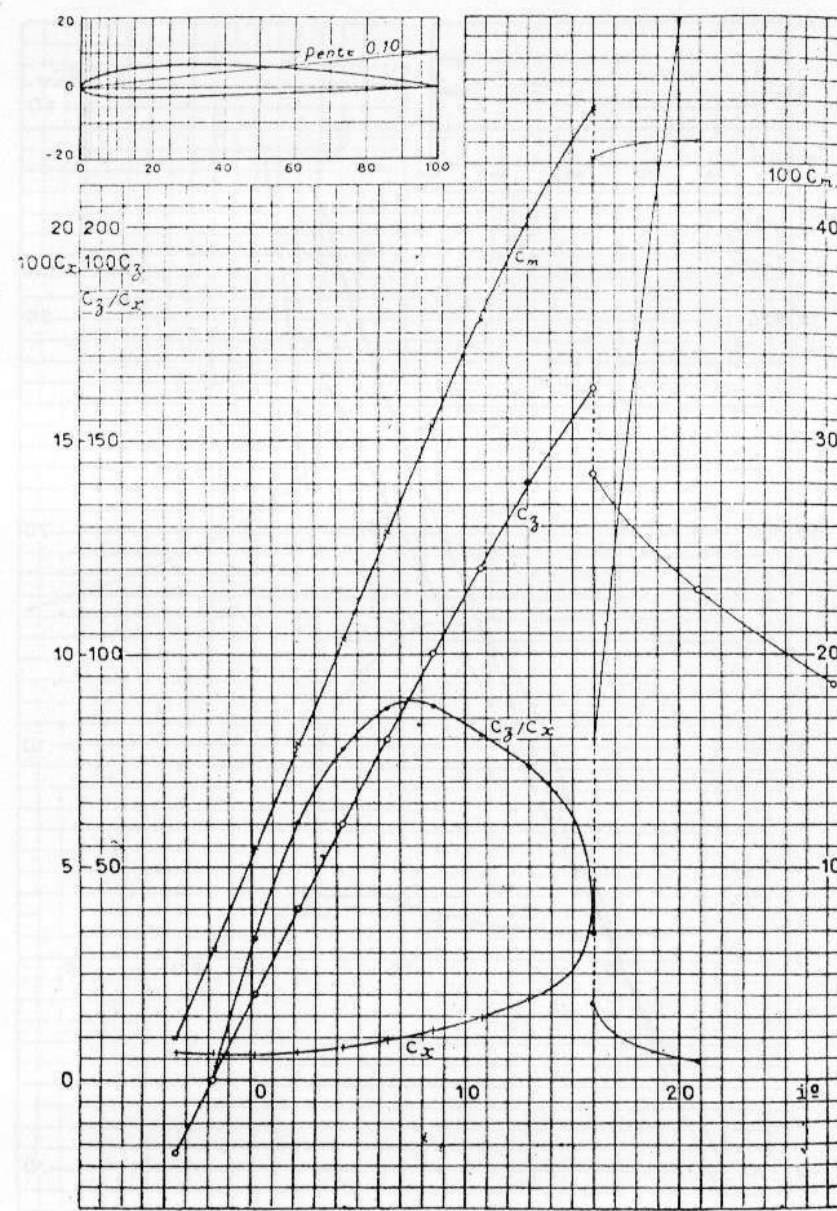
Cotas de 10 perfiles NACA



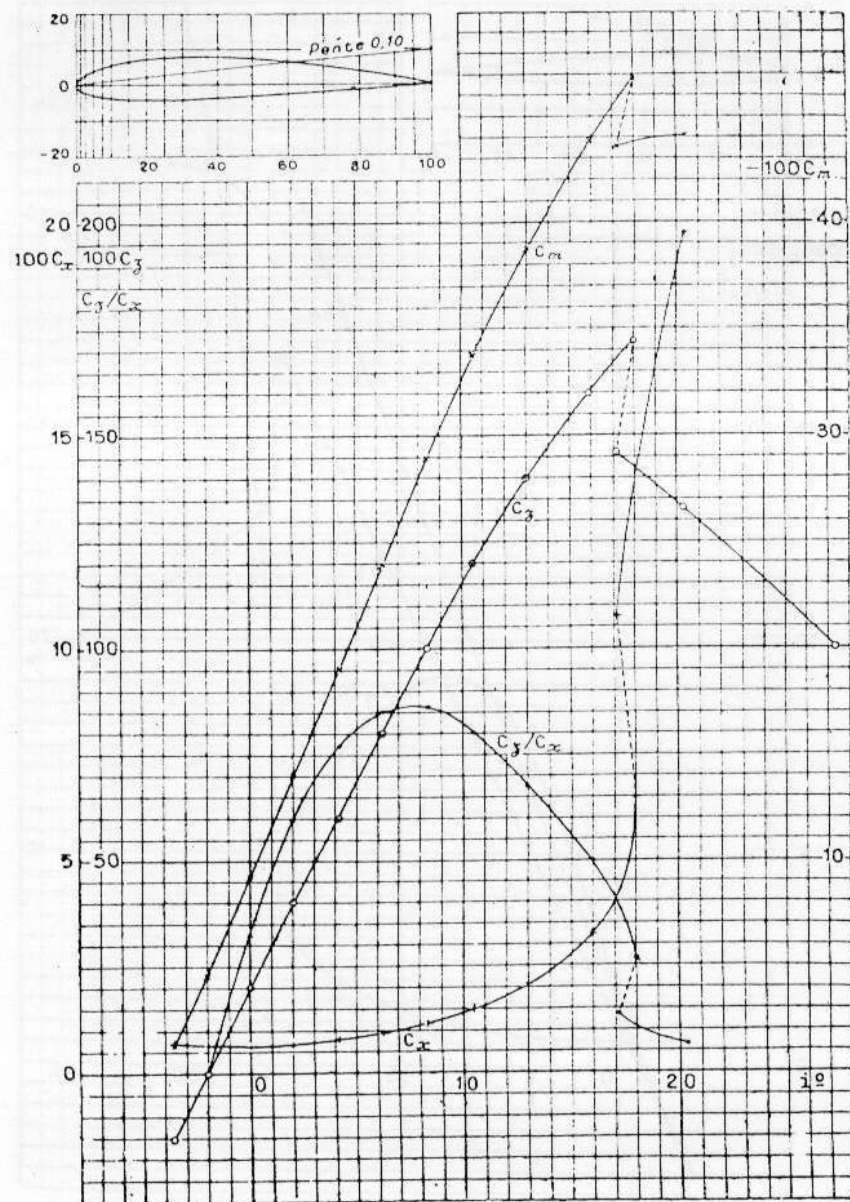
N.A.C.A. 0009,  $\lambda = \infty$ .



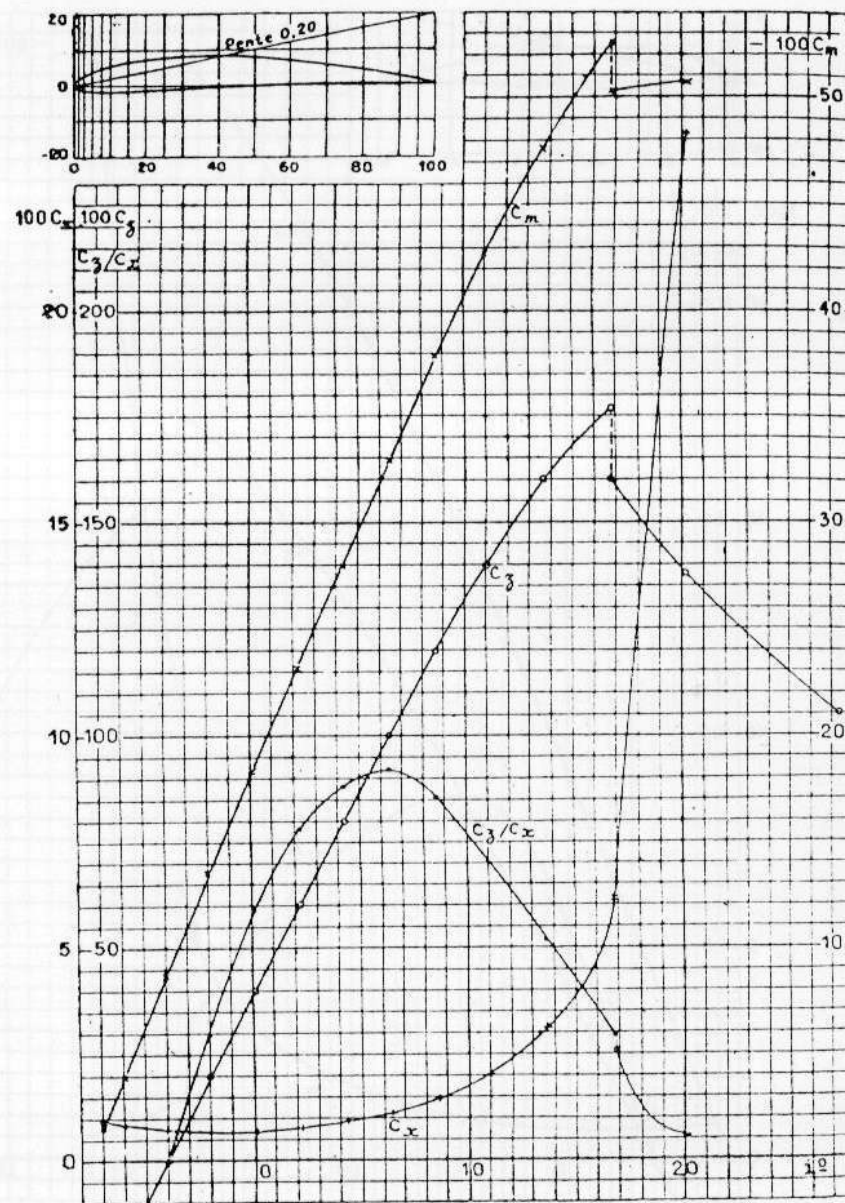
N.A.C.A. 0012,  $\lambda = \infty$ .

N.A.C.A. 0015,  $\lambda = \infty$ .N.A.C.A. 2409,  $\lambda = \infty$ .

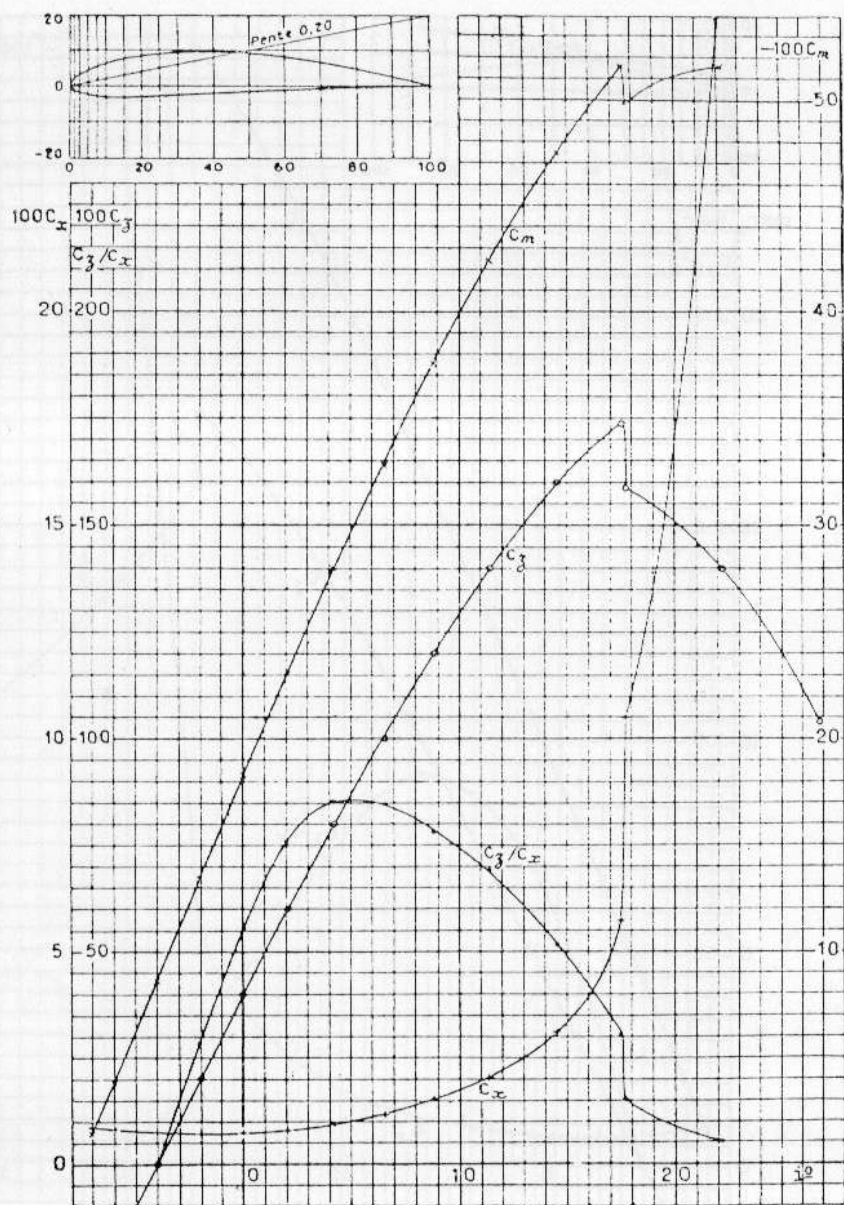
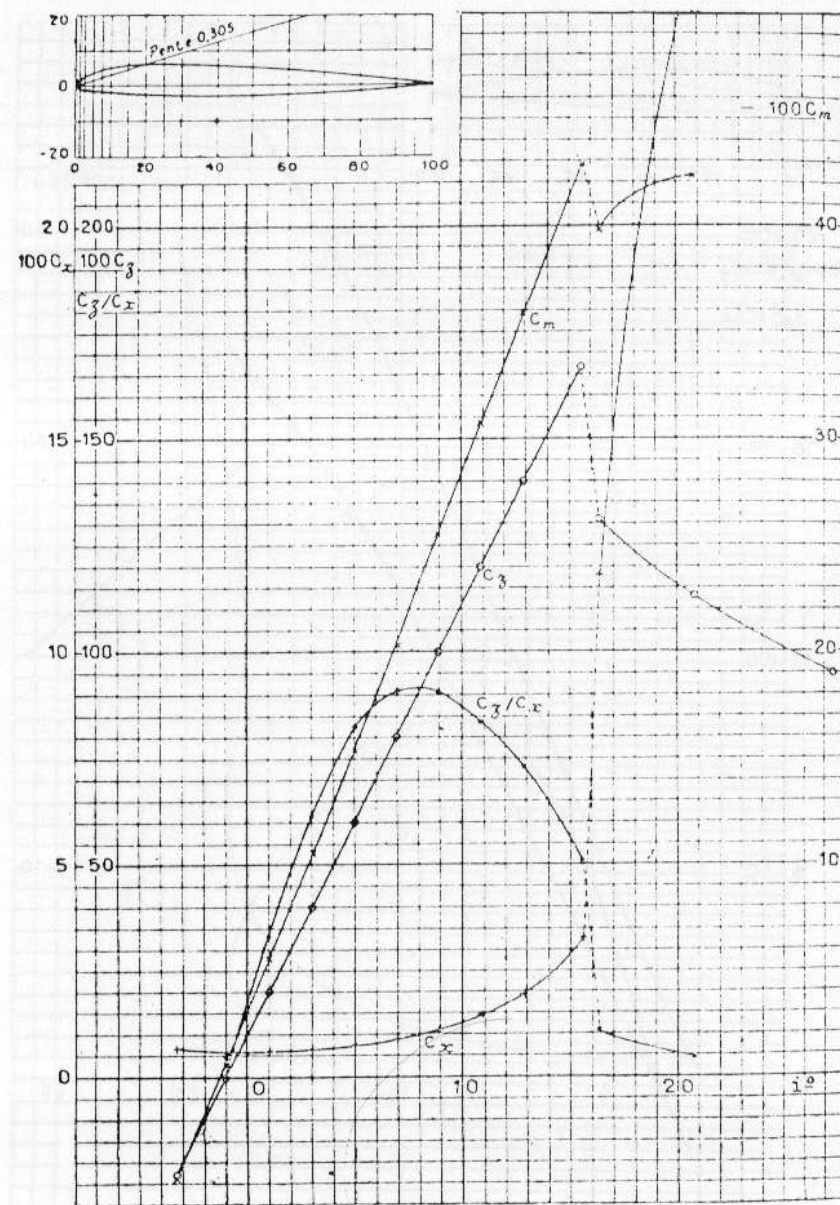


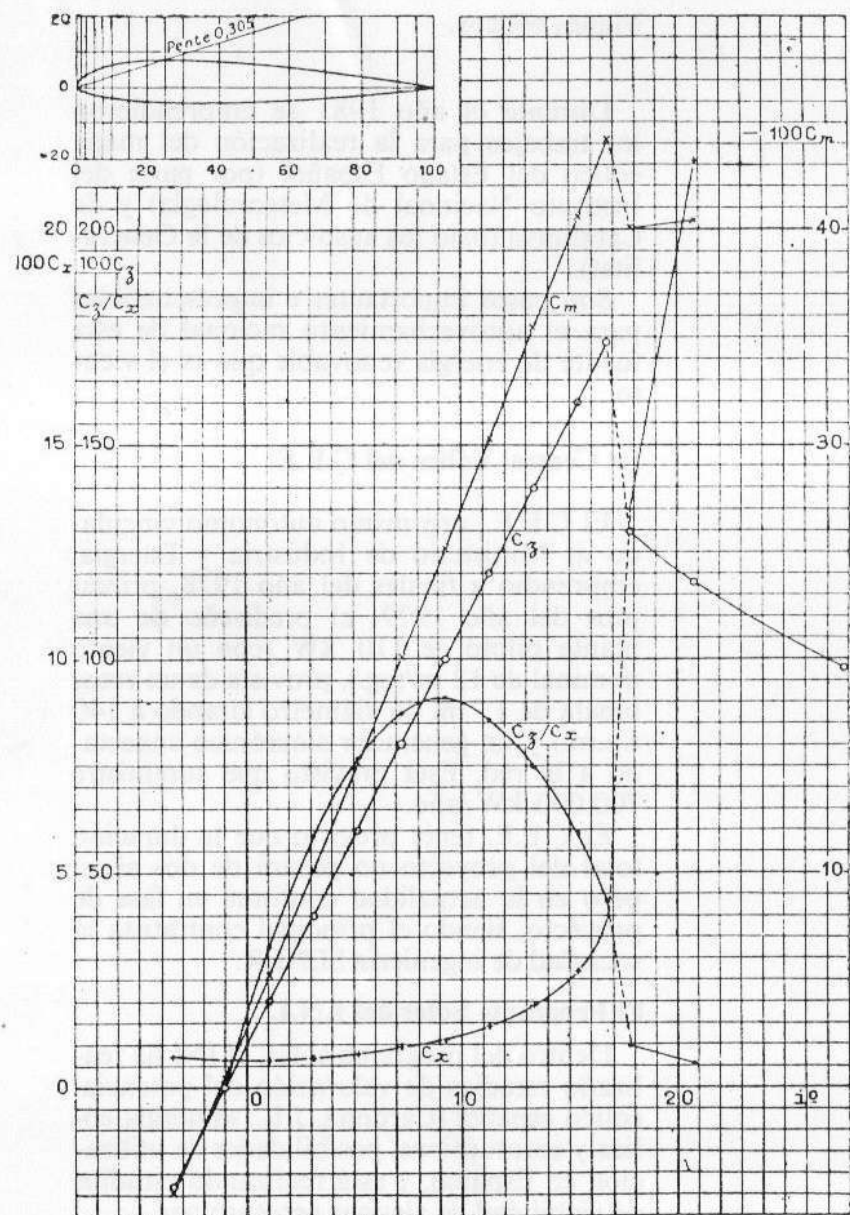


N.A.C.A. 2412,  $\lambda = \infty$ .

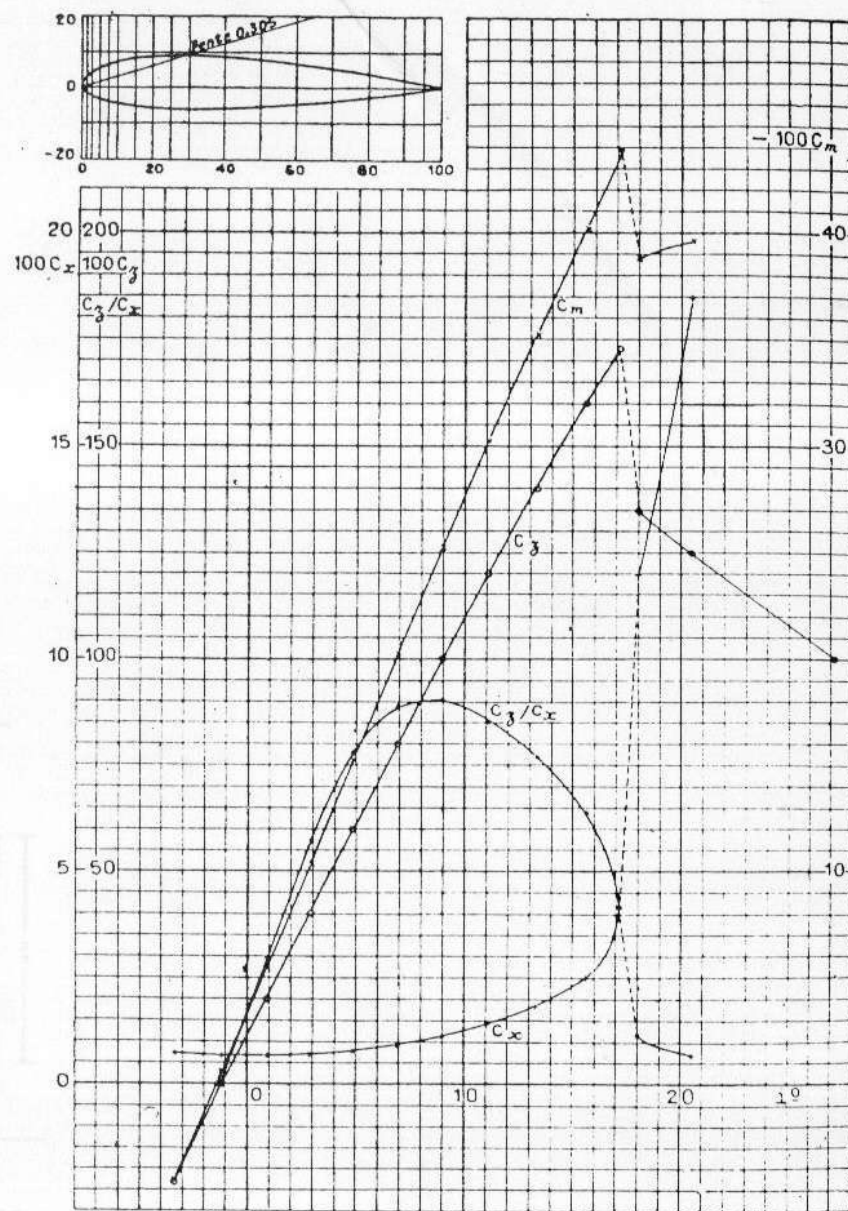


N.A.C.A. 4409  $\lambda = \infty$ .

N. A. C. A. 4412,  $\lambda = \infty$ .N. A. C. A. 23009,  $\lambda = \infty$ .



N. A. C. A. 23012,  $\lambda = \infty$ .



N. A. C. A. 23015,  $\lambda = \infty$ .



### Mapas eólicos.

Durante el año 1981 se emprendieron los trabajos para la realización del mapa eólico del Estado Español (por parte del Instituto Nacional de Meteorología) y de Catalunya (bajo los auspicios de la Generalitat).

Son pasos importantes e imprescindibles para el aprovechamiento racional de esta fuente de energía renovable que es el viento.

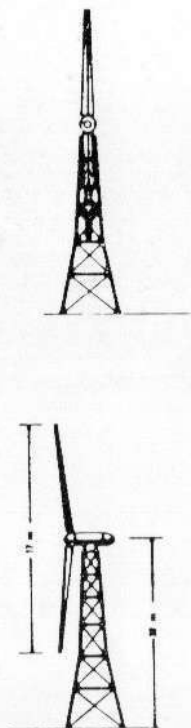
### La Central Eólica del C.E.E.

El C.E.E., organismo autónomo vinculado al Ministerio de Industria y Energía, emprendió a finales del año 1978, principios del año 1979, el prediseño de una planta piloto de 110 kW (con un viento nominal de 12 m/seg.), provista de un rotor bipala de 17 m. de diámetro girando a 140 r.p.m., y un generador sincrónico conectado a la red. Está previsto que suministre 700.000 kW/año.

El C.E.E. tenía previsto que la duración total del proyecto no pasará de dos años, pero en la actualidad continua en fase de proyecto, siendo el principal contratista la sociedad de ingeniería SENER.

### El Programa Solar del I.N.I.

Dentro del programa solar, el INI ha realizado estudios de valoración del potencial eólico español (Cardona, J.L., «Energía eólica y aeroturbinas, posibilidades de utilización en España), y está realizando estudios de viabilidad de algunas aeroturbinas.



Maqueta de la Central Eólica del CEE.

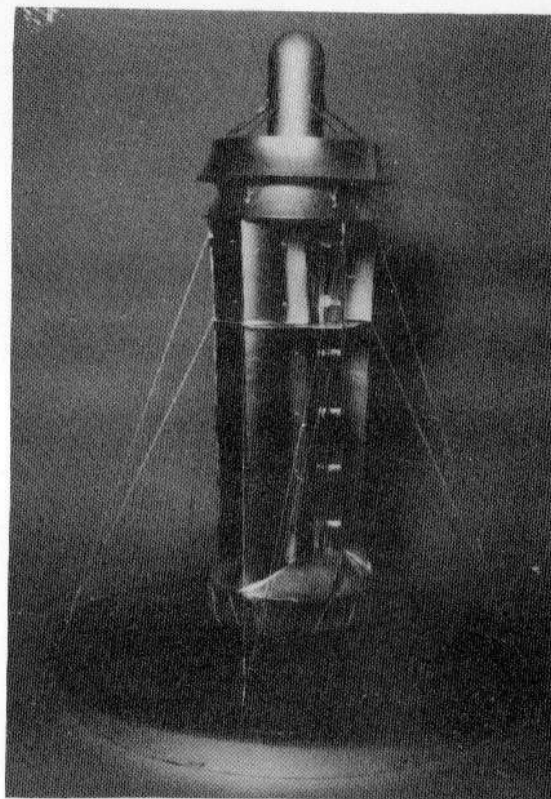
### El Convertidor Ciclónico de SENSE.

La conversión ciclónica es, según su inventor José V. Zapata (grupo SENSE), la integración en un solo proceso de todas las energías presentes en la atmósfera.

La constante guerra librada por J. V. Zapata a todos los niveles (ver carta a «El País») se ha materializado con la creación de una empresa mixta (Centrales Energéticas Ciclónicas, S. A.) que constituye un prototipo de 100 kW en el término municipal de Sta. Cruz de la Zarza (Toledo), cuya corporación cedió los terrenos gratuitamente (30/11/80) para la ubicación del primer prototipo. Las obras se inauguraron el 7/11/81.

La central ciclónica de 100 kW se instalará en el Cerro del Águila, está constituida por una torre de 25 m. de altura y una superficie circular alrededor de ella de 50 m. de diámetro.

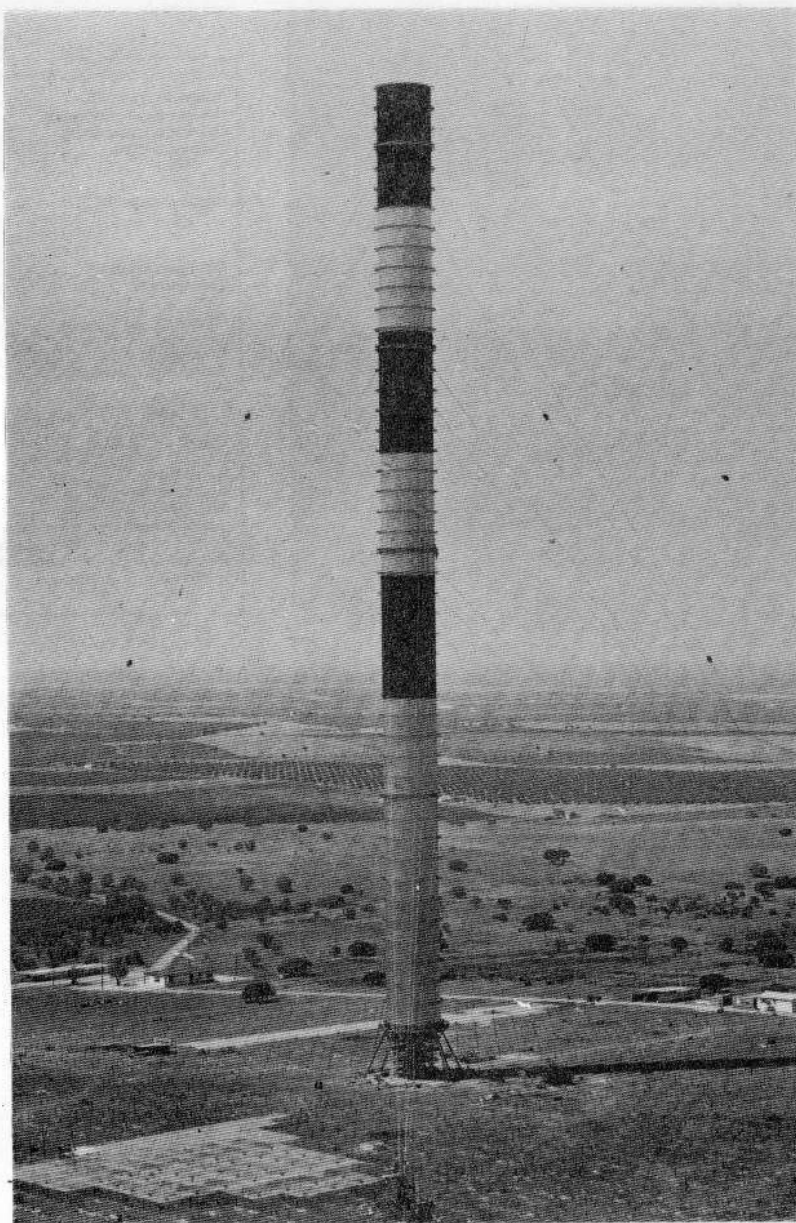
El grupo CECSA tiene previsto pasar a prototipos de 100 MW de potencia con éste sistema de conversión ciclónica.



Convertidor ciclónico de SENSE.

#### Características

Unidad experimental "Gertrud"	
Potencia nominal .....	0,1 MW
Altura con difusores .....	15 m
Diámetro invernáculo .....	30 m
Diámetro torre .....	8,5 m
$V_{\infty}$ (max) .....	sin limitación superior
$V_{\infty}$ (min) .....	3,5 m/s
Grado utilización .....	83,6 por cien tiempo al 50 por cien potencia nominal con energía ambiental exclusivamente.
Diámetro rotores .....	1,65 m
Convectores .....	Resina poliéster reforzada con fibra de vidrio.
Difusores .....	Estructura metálica y carenado de resina poliéster.
Invernáculo .....	Mylar doble lámina
Cámara de combustión .....	Hormigón aislado con forro de acero
Combustible .....	Hidrógeno generado en la unidad para la asistencia en períodos de carencia solar u edílica.
Generador .....	asíncrono
Acumulación .....	H <sub>2</sub> baja la presión, 48 h.
Inversión total prevista .....	15 millones
Gastos recurrentes esperados .....	(practicamente nulos)
Tiempo de construcción esperado .....	18 meses
Producción esperada a partir de la puesta en servicio .....	$0,3 \times 10^6$ kwh anuales. Netos



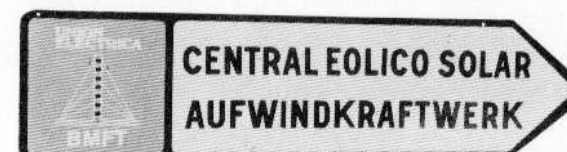
### Proyecto de Central Eólico-Solar.

Se trata de una planta generadora de electricidad a partir del efecto invernadero y del efecto chimenea: el aire calentado por el sol bajo el invernadero produce un flujo ascensional ocasionado por la diferencia de densidades, atravesando una turbina-generator.

Una inversión de 4,5 millones de marcos (190 millones de pesetas) del Gobierno Federal Aleman, a través de su Ministerio de Investigación y Desarrollo, se destinará a la construcción de una unidad eólico-solar de 100 kW en el término municipal de Manzanares (Ciudad Real).

El área colectora es una gran cubierta de 225 m. de diámetro, formada por una membrana transparente a una altura del suelo comprendida entre los 2 y los 8 metros. Bajo ella, el aire se calentará a  $55^{\circ}\text{C}$  ascendiendo por la chimenea a velocidades entre 20 y 60 m/s (72 y 216 Km/h.). El diámetro exterior de la chimenea es de 10,30 m. y una altura de 200 m.

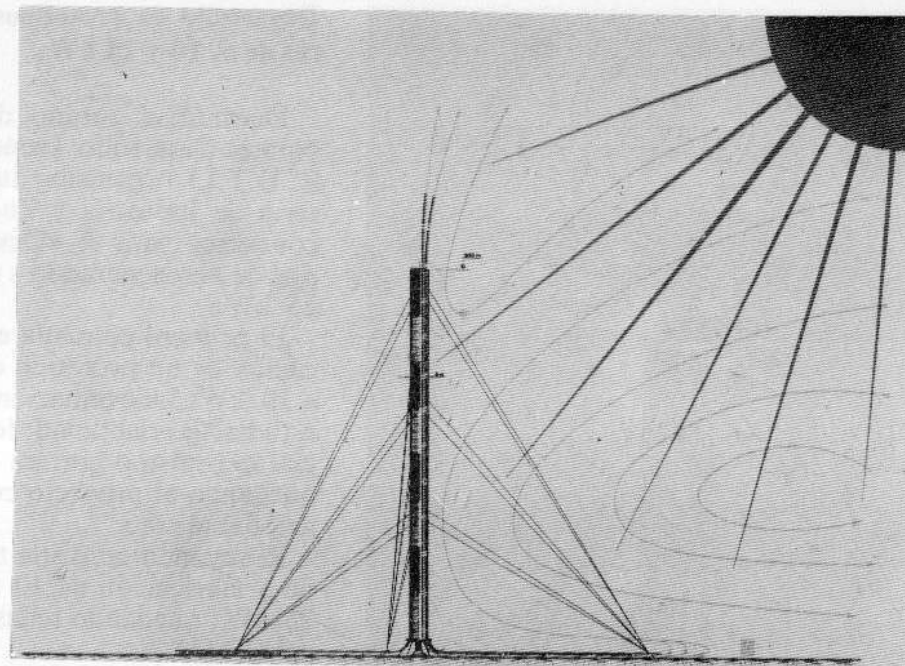
En un futuro, una vez funcionando el primer prototipo, se tiene previsto pasar a una unidad de 100 MW. y posteriormente a una de 1.000 MW. (ver dimensiones y características en tabla adjunta).



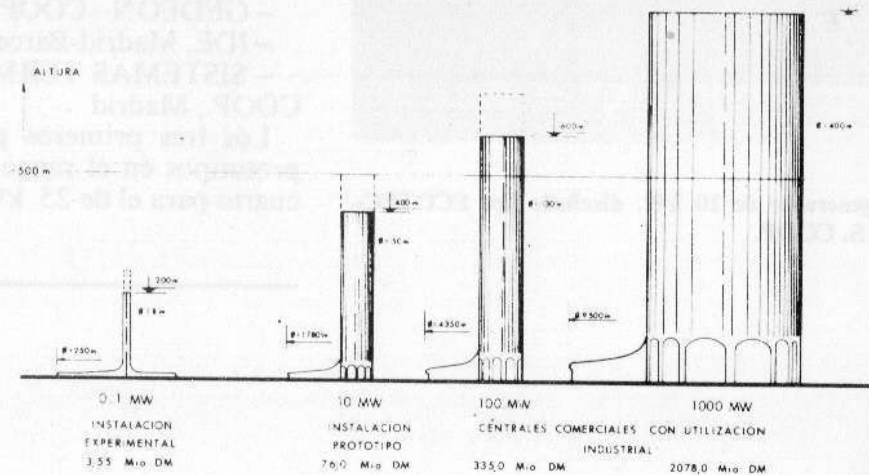


			Instalación de Demostración	Instalación de prototipo	Centrales comerciales para utilización industrial	
			0,1 MW	10 MW	100 MW	1000 MW
Potencia media P	MW		0,05	10,0	100,0	1000,0
540 W/m <sup>2</sup> a lo largo de 10 h/d.						
Potencia máxima P <sub>máx.</sub>	MW		0,10	15,0	150,0	1470,0
con 1000 W/m <sup>2</sup>						
Producción anual con 300 días de funcionamiento	MW.h/a		—	3 x 10 <sup>4</sup>	3 x 10 <sup>5</sup>	3 x 10 <sup>6</sup>
Rendimiento medio $\eta$ con 540 W/m <sup>2</sup> (7 máx. con 1000 W/m <sup>2</sup> )	%		0,20	0,75 (0,60)	1,25 (1,00)	1,80 (1,43)
Superficie cubierta F <sub>v</sub> (Díametro techo D <sub>v</sub> )	m <sup>2</sup> (m)		5.10 <sup>4</sup> $\varphi$ 250	2,5.10 <sup>5</sup> $\varphi$ 1780	2,5.10 <sup>6</sup> $\varphi$ 4350	0,9.10 <sup>8</sup> $\varphi$ 9500
Díametro de la turbina D <sub>H</sub>	m		(13,3) 6,0	(33) 40,0	103,3	(325) 7 x 123,0
Díametro de la chimenea D <sub>T</sub>	m		8,0	50,0	130,0	400,0
Altura de la chimenea H <sub>T</sub>	m		200,0	400,0	600,0	900,0
Superficie de la chimenea F <sub>T</sub>	m <sup>2</sup>		5 x 10 <sup>3</sup>	6,3 x 10 <sup>4</sup>	2,5 x 10 <sup>5</sup>	1,13 x 10 <sup>6</sup>
Costo de la cubierta	DM/m <sup>2</sup>		33,—	20,—	15,30	15,30
	DM		1,65 Mio.	50,0 Mio.	227 Mio.	1380 Mio.
Costo de la chimenea	DM/m <sup>2</sup>		300,—	350,—	350,—	350,—
	DM		1,50 Mio.	22,0 Mio.	88,0 Mio.	398 Mio.
Costos del rotor, maquinaria, instalación eléctrica y obra civil	DM/kW		—	400,—	300,—	300,—
	DM		0,40 Mio.	4,0 Mio.	30,0 Mio.	300,0 Mio.
Costos totales	DM		3,55 Mio.	76,0 Mio.	335,0 Mio.	2078,0 Mio.
Costos específicos	DM/kW		35500,—	7600,—	3350,—	2078,—

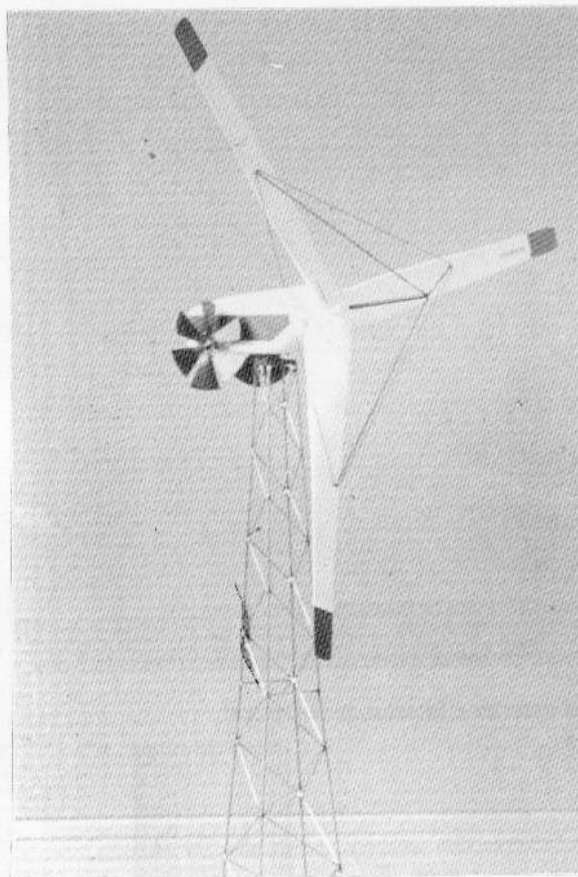
Bases de costes: Alemania 1979. Costes de desarrollo no incluidos.



Posibles direcciones del aire en el exterior e interior de la Central.



DIMENSIONES DE LA SERIE DE DESARROLLO DEL SISTEMA DE CENTRALES DE CORRIENTE ASCENSIONAL.



Aerogenerador de 10 kW. diseñado por ECOTECNIA, S. COOP.

### Desarrollo de prototipos de aerogeneradores de 5, 10 y 25 kW.

Durante el verano de 1981 el Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (C.D.T.I.), organismo autónomo del Ministerio de Industria y Energía, convocó dos concursos para el «Desarrollo de Prototipos de aerogeneradores de 5 a 10 kW y de 25 kW».

El primero consistía en el diseño y fabricación de un prototipo de aeroturbina de 5 a 10 kW. La evaluación del prototipo para estudiar la viabilidad de desarrollo comercial del mismo correrá a cargo del CDTI, quedando el proyecto completo en propiedad del mismo.

El segundo consistía también, en el diseño y fabricación de 10 unidades eólicas de 25 kW, quedando todas ellas en propiedad del CDTI.

Los ganadores del concurso fueron:

- ECOTECNIA S. COOP., Barcelona
- GEDEON COOP., Madrid
- IDE, Madrid-Barcelona
- SISTEMAS TERMICOS SOLARES S. COOP., Madrid

Los tres primeros por el desarrollo de prototipos en el rango de 5 a 10 kW y el cuarto para el de 25 kW.

### Subcomisión de energía eólica de la Comisión Técnica de Energía de la «Associació d'Enginyers Industrials de Catalunya»

Organización existente desde finales del año 1978 que realiza tareas de recogida de información y divulgación.

Organizó unas «Jornades d'Energia Eòlica» en Barcelona durante los días 28-29 de Enero de 1980 que contaron con la asistencia de Mr. L. Romani (ingeniero francés que proyectó el aerogenerador de BEST-Romani de 800 KW) y de J.V. Zapata, además de dedicar una sesión a pequeños sistemas eólicos.

Actualmente está realizando un programa de pruebas de aerogeneradores existentes en nuestro país, que consiste en determinar las prestaciones de las máquinas eólicas. Las primeras pruebas se realizarán con un aerogenerador comercial GEMZ, un Jacobs americano de los años 30 recuperado y un aerogenerador de autoconstrucción.

Subcomissió d'Energia Eòlica  
Comissió Tècnica d'Energia (CTE)  
Associació d'Enginyers Industrials de Catalunya (AEIC)

~~Pau Claris~~, 39 *Viala i Jaur*  
Barcelona







## LEGISLACIÓN Y FACILIDADES FINANCIERAS RELATIVAS A INSTALACIONES DE ENERGÍAS RENOVABLES, ESPECIALMENTE EÓLICA.

El Boletín Oficial del Estado del 13/11/80 publicó el Real Decreto 2.454/1980 de 24 de octubre por el que se establecen medidas especiales para la modernización de explotaciones agrarias.

Dentro del ámbito de este Decreto, el pasado 29/10/81 se suscribió un convenio entre la Generalitat de Catalunya, una renombrada Caja de Ahorros catalana y el IRYDA, por el que se destinan 200 millones de pesetas para la utilización de energías alternativas en las explotaciones agrarias. Incluye créditos para la realización de obras e instalaciones para aprovechamiento de energía solar, *eólica*, hidráulica y orgánica. Estos créditos se otorgan con períodos de amortización de 10 años y a un interés anual preferente (?) del 15 al 16%. Se puede solicitar hasta el 70% del coste de la instalación.

Por otra parte existen algunas entidades bancarias que dan créditos a personas y/o comunidades que deseen instalar equipos de energía solar y equipos para el ahorro energético (no incluyen explícitamente a la energía *eólica*).

También el B.O.E. del 27/1/81 publicó la ley 82/180, de 30 de diciembre, sobre conservación de la energía.

1898 *LEY 82/1980, de 30 de diciembre, sobre conservación de energía.*

### TITULO PRIMERO

#### Artículo primero

Es objeto de la presente Ley establecer las normas y principios básicos, así como los incentivos, para potenciar las acciones encaminadas a la consecución de los siguientes fines:

a) Optimizar los rendimientos de los procesos de transformación de la energía, inherentes a sistemas productivos o de consumo.

b) Potenciar la adopción de fuentes de energía renovables, reduciendo en lo posible el consumo de hidrocarburos y en general la dependencia exterior de combustibles.

c) Promover la utilización de energías residuales de procesos industriales así como la reducción de pérdidas, gastos e inversiones en transportes de energía.

d) Analizar y controlar el desarrollo de proyectos de creación de plantas industriales de gran consumo de energía, según criterios de rentabilidad energética a nivel nacional.

e) Regular las relaciones entre los autogeneradores y las compañías eléctricas distribuidoras.

f) Fomentar las acciones técnica y económicamente justificadas, encaminadas a reducir la dependencia energética exterior.

### CAPITULO PRIMERO

#### Fomento de las acciones encaminadas a lograr los fines de la presente ley

#### Artículo segundo

Uno. Podrán acogerse a los beneficios que se contemplan en la presente Ley las personas físicas y jurídicas que acometan actividades comprendidas en alguno de los siguientes apartados del presente artículo:

a) El desarrollo de un programa que incremente a rendimiento de los procesos de transformación energética en empresas con consumos anuales superiores

a quinientas toneladas equivalentes de petróleo.

b) La modificación o el montaje de nuevas instalaciones de transformación energética, en orden a sustituir el petróleo o sus derivados como fuente de energía utilizada, por otras fuentes de origen nacional o excepcionalmente importantes por motivos económicos de interés público.

c) La realización de cambios en los métodos de producción industrial que supongan disminución en el uso de energía.

d) El perfeccionamiento de las condiciones de aislamiento térmico de viviendas, edificios e instalaciones.

e) El acondicionamiento o renovación de los equipos de agua caliente o climatización de viviendas, edificios e instalaciones.

f) Establecer o ampliar instalaciones de autogeneración eléctrica.

g) Efectuar aplicaciones en sistemas de transformación energética que usen como fuente de energía las de tipo renovable.

h) Realizar instalaciones de aprovechamiento de residuos agrarios para la obtención de bio-gas o combustibles sólidos.

i) Instalar equipos de uso doméstico que utilicen energías renovables y especialmente la solar.

j) Construir, ampliar o adaptar para su utilización instalaciones de producción hidroeléctrica con una potencia de hasta cinco mil KVA., ya se destine la energía producida a consumo propio o a su conexión con la red eléctrica.

k) Cualquier otra aplicación que comporte la sustitución de un consumo energético de fuente procedente del petróleo por otra renovable.

l) Modificar o realizar nuevas instalaciones de transformación energética para usos industriales, agrarios y de servicios que utilicen calores residuales procedentes de procesos de transformación energética.

m) Promover la investigación y el desarrollo tecnológico dirigidos al logro de los fines de la presente Ley, y en especial:

Primero.—Crear y desarrollar la tecnología nacional de sistemas que utilicen fuentes de energías renovables.

Segundo.—Impulsar la investigación tecnológica re-

lacionada con la mejora de la eficiencia en la transformación energética.

Tercero.—Desarrollar fuentes de energía de origen nacional y aquellas cuya importación se autorice excepcionalmente por motivos económicos de interés público, así como su utilización y nuevas, formas de manipulación de las mismas.

Dos. Asimismo podrán acogerse al régimen de incentivos previstos en esta Ley aquellas asociaciones o agrupaciones de personas físicas o jurídicas que pretendan realizar un proyecto de inversión para la optimización energética de un conjunto de instalaciones próximas.

## CAPITULO SEGUNDO

### Fomento de la autogeneración de energía eléctrica y de la producción hidroeléctrica

#### Artículo séptimo

Se consideran autogeneradores de energía eléctrica a los titulares individuales o agrupados de instalaciones de cualquier tipo que simultáneamente reúnan las condiciones siguientes:

a) Que el fin primordial de sus actividades no sea el de producir energía eléctrica, pero obtengan o puedan obtener ésta por sus propios medios, a partir de la utilización de residuos o subproductos energéticos excedentarios de su proceso de producción o, en general, por cualquier medio que represente una mejora del consumo energético.

b) Que la producción de energía eléctrica a que se refiere el apartado anterior se realice de forma que se deduzca un ahorro energético dentro de las prioridades de la política energética general.

#### Artículo octavo

En sus relaciones con las compañías eléctricas suministradoras, los autogeneradores y, en su caso, los titulares de concesiones hidroeléctricas no distribuidores, gozarán de los siguientes derechos:

a) Conectar en paralelo su grupo o grupos generadores a la red de la compañía eléctrica suministradora.

b) Utilizar conjunta o alternativamente en sus instalaciones la energía eléctrica autogenerada y la suministrada por la compañía eléctrica.

c) Alimentar parte de sus instalaciones con energía procedente de sus generadores, con independencia del suministro de la red.

d) Transferir a la compañía suministradora de electricidad sus excedentes de energía siempre que técnicamente sea posible su absorción por la red, y percibir por ello el precio que reglamentariamente se determine. En caso de discrepancia, la citada posibilidad técnica será previamente determinada por los órganos de la Administración competentes en materia de instalaciones electrónicas.

e) Recibir en todo momento de la compañía eléctrica suministradora, en el caso de fallo de sus sistemas de autogeneración, tanto la energía previamente convenida como la que sea necesaria para el completo desenvolvimiento de su actividad, en las condiciones, y forma que reglamentariamente se establezcan.

f) Establecer con la compañía eléctrica suministradora el régimen de producción concertada y acogerse a la tarificación correspondiente, según lo previsto en el artículo noveno.

#### *Artículo noveno*

Uno. Son obligaciones de los autogeneradores y de los titulares de concesiones hidroeléctricas no distribuidores en relación con las compañías eléctricas suministradoras, y dentro de los límites que reglamentariamente se establezcan:

a) Entregar y recibir la energía en condiciones técnicas adecuadas, de forma que no se causen transtornos en el normal funcionamiento del sistema.

b) Someterse a la programación establecida en el régimen de producción concertada.

c) Abstenerse de ceder a terceros los excedentes de energía eléctrica no consumida.

Dos. No tendrá la consideración de cesión a terceros la que se realice con líneas propias a empresas filiales o matrices o a aquellas que se hayan agrupado para la instalación de autogeneradores, según lo esta-

blecido en el artículo segundo, apartado dos, de la presente Ley.

#### **PRESIDENCIA DEL GOBIERNO**

**24805** *REAL DECRETO 2454/1980, de 24 de octubre, por el que se establecen medidas especiales para la modernización y utilización de energías alternativas en las explotaciones agrarias.*

Las circunstancias derivadas de la situación energética actual hacen aconsejable adoptar medidas especiales tendentes a equipar las explotaciones agrarias para la utilización de fuentes de energía alternativas y reincorporar los desechos orgánicos como fertilizantes.

Es conveniente también promover la realización de otras mejoras que, junto con las señaladas, continúen a modernizar las explotaciones agrarias, a incrementar las producciones y a impulsar, aunque de forma indirecta, la industria nacional.

En este sentido, el presente Real Decreto, en virtud de lo establecido en la Ley de Reforma y Desarrollo Agrario, autoriza al Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario a establecer conciertos con Entidades financieras, con el fin de que éstas puedan conceder créditos hasta un total de dos mil millones de pesetas. Se autoriza, asimismo, al instituto a conceder subvenciones, y se le faculta para proceder a su pago fraccionario en anualidades diferidas, con el fin de mejorar las condiciones de amortización de los préstamos.

En su virtud, a propuesta conjunta de los Ministros de Industria y Energía, Agricultura, Economía y Comercio y Hacienda y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día veinticuatro de octubre de mil novecientos ochenta.

#### **DISPONGO:**

Artículo primero.—Los auxilios establecidos en el presente Real Decreto se aplicarán a la realización, por la iniciativa privada, de las siguientes mejoras:

a) Obras e instalaciones para aprovechamiento de la energía solar, eólica, hidráulica u orgánica.



b) Obras e instalaciones para aprovechamiento de residuos orgánicos como fertilizantes.

c) Instalación de tanques de enfriamiento de leche.

Artículo segundo.—Uno. Con objeto de financiar la ejecución, por la iniciativa privada, de las obras e instalaciones a que se refiere el artículo primero, se autoriza al Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA), Organismo autónomo del Ministerio de Agricultura, para celebrar conciertos con Entidades financieras de carácter público o privado.

Dos. En virtud de estos conciertos, las Entidades financieras que los suscriban concederán préstamos, que se ajustarán a las condiciones establecidas en el presente Real Decreto.

Artículo tercero.—La suma de los préstamos no podrá superar el setenta por ciento de la inversión a realizar, sin que pueda rebasar la cifra de cinco millones de pesetas en el caso de préstamos individuales, y de veinte millones de pesetas, cuando se trate de Cooperativas, Comunidades u otras Asociaciones o Agrupaciones de agricultores legalmente reconocidas.

Dos. La amortización de los préstamos se realizará en un plazo máximo de diez años, y las garantías a exigir para esta clase de operaciones quedarán a juicio de las Entidades financieras, que deberán actuar con la máxima flexibilidad, compatible con las exigencias derivadas de su riesgo.

Tres. Estos préstamos devengarán el interés que se determine en los conciertos.

Artículo quinto.—El IRYDA podrá auxiliar técnicamente a los solicitantes acogidos a esta disposición, cuando se trate de titulares de explotaciones familiares agrarias o de Agrupaciones de agricultores.

Artículo Sexto.—Se autoriza al IRYDA a conceder las subvenciones previstas en el artículo doscientos ochenta y ocho de la Ley de Reforma y Desarrollo Agrario, para las obras y mejoras a que se refiere el artículo primero, en la siguiente forma y cuantía:

a) Hasta el treinta por ciento del importe de los préstamos que se conceden al amparo de este Real Decreto, que se destinará a mejorar las condiciones de amortización de los mismos.

b) En sustitución total o parcial de la anterior modalidad, hasta el veinte por ciento de la inversión que se realice sin acogerse a los préstamos citados, sin que su cuantía, sumada a la que, en su caso, se abone de acuerdo con el apartado anterior, sea superior a la que pudiera corresponder acogiendo a los préstamos máximos autorizados.

Artículo séptimo.—Uno. Las subvenciones que se concedan de acuerdo con lo establecido en el apartado a) del artículo sexto serán abonadas por el IRYDA a las Entidades financieras concertadas, y se destinarán a la amortización parcial del préstamo en sus primeras anualidades; las entregas serán de igual cuantía, y no podrá superar cada una de ellas el diez por ciento del importe total del préstamo. El beneficiario satisfará a las Entidades concertadas la totalidad de los intereses del préstamo, y se hará cargo de la amortización del mismo, deduciéndose de las primeras anualidades las cuantías correspondientes a la subvención abonada por el IRYDA a la Entidad financiera.

Dos. Las subvenciones que se concedan de acuerdo con lo establecido en el apartado b) del artículo sexto serán abonadas por el IRYDA directamente al beneficiario.

Artículo octavo.—La realización de la mejora deberá efectuarse en el plazo de un año a partir de la formalidad del auxilio. En aquellas mejoras que por sus características precisen un mayor período de ejecución, y previa su justificación técnica, este plazo podrá ampliarse de acuerdo con las mismas.

Artículo noveno.—La subvención a que se refiere el artículo séptimo se hará efectiva con cargo al presupuesto del IRYDA, que queda autorizado para tramitar las transferencias precisas en sus presupuestos del año mil novecientos ochenta y a comprometer a este fin los oportunos créditos futuros, teniendo especialmente en cuenta a este último efecto las limitaciones establecidas en el artículo sesenta y uno de la vigente Ley General Presupuestaria.

Artículo décimo.—Para la mayor agilidad en la concesión de estos auxilios, los convenios del IRYDA con las Entidades financieras podrán establecerse a nivel provincial.



Aerogenerador deTVIND.

### EL AEROGENERADOR DE TVIND

Cerca de Ulfborg, en la costa oeste de Jutlandia, está situado el conjunto de escuelas Tvind, en el que viven y trabajan comunitariamente más de 600 alumnos y 120 profesores. Desde 1978 disponen de un sistema propio de generación de electricidad que ellos mismos construyeron.

Ya a fines del siglo pasado, la Askov High School utilizaba electricidad generada eólicamente. Precisamente esta misma área, el noroeste de Jutlandia, fue pionera en el uso de molinos de viento hace ya ochenta años. Hacia 1900 el paisaje danés estaba salpicado con más de 100.000 molinos de todos los tamaños y formas. Se usaban para bombear agua en las granjas o moler grano, pero bastantes de ellos se utilizaron para producir corriente eléctrica de uso local.

En 1974, al año siguiente de la "crisis" energética y de la subida de precios del petróleo, los profesores de las escuelas Tvind deciden hacer algo constructivo para mejorar su propio suministro de energía y colaborar a su vez con un argumento práctico y contundente en el debate antinuclear.

Las escuelas Tvind son un grupo de escuelas de iniciativa privada, que reciben fondos públicos para subvencionar el trabajo del equipo de profesores al igual que el resto del sistema educativo danés, sólo que los utilizan y gestionan de distinta forma.

Toda una experiencia de enseñanza diferente, directa, que lleva ya más de 10 años de existencia y que ha ido extendiéndose a

otros lugares. Actualmente son ya varias las escuelas asociadas que se rigen por los mismos principios, repartidas por toda Dinamarca e incluso hay intentos en Suecia, Alemania y Holanda.

En un principio el factor motivante para la construcción del molino, fue reducir su enorme gasto de fuel en calefacción: 300.000 coronas al año. Para ello se buscó una forma ecológica de hacerlo y una fuente de energía barata y limpia.

Antes de poner en marcha el proyecto, Tvind consultó con sus vecinos. Muchos de los viejos granjeros podían recordar aún el tiempo en que tenían sus propios molinos. Así, el soporte a la idea fue abrumador.

El plan original decidido después de discutir varias ideas consistía en un gran molino con un depósito de agua en la base. El eje, al girar, accionaba un agitador que calentaba el agua mediante fricción mecánica.

Los trabajos empezaron en mayo de 1975 y el grupo de energía eólica, curiosa mezcla de estudiantes, profesores, científicos, carpinteros, ingenieros y albañiles, comenzó los trabajos de cimentación de los 24 m. de diámetro de la base de la torre.

El común denominador de todos ellos era que ninguno antes había construido un aerogenerador. Vinieron jóvenes voluntarios de otros países.

Las decisiones se tomaban colectivamente en los distintos grupos de trabajo. Los treinta y tantos miembros que formaban el grupo central permanente, han obtenido una valiosa experiencia y son capaces ahora de exportar sus conocimientos a otros países.

Se buscó consejo y asistencia de ingenieros, compañías electrónicas, hidráulicas, de construcción, profesores de universidad...

Sólo la armadura del hormigón de la base pesa 40 Tm. y se empezó a levantar la torre aún antes de que los planos del aerogenerador estuvieran terminados en detalle.

Al principio se utilizó hormigón ya mezclado, y al poco se vio que era mucho más barato hacer la mezcla en el lugar.

La torre tiene 53 m. de altura, se construyó mediante un encofrado deslizante con la ayuda de gruesas y un elevador usado que se compró por 100 coronas tras regatear el precio inicial de 35.000 coronas. Posteriormente fue utilizado como ascensor, convenientemente modificado en el interior de la torre. Se trabajó duro día y noche por turnos y se terminó la torre en diciembre del mismo año. Al mismo tiempo que se terminaba, el plan fue modificado y se vio que era más productivo y eficiente usar el molino para generar electricidad. Se dividieron en dos subgrupos; el de la cabeza y el de las palas y se buscaron más voluntarios.

Cada semana todo el grupo se reunía para planificar el trabajo asambleariamente. Se discutían los planes generales o semanales, mientras las decisiones y el plan de trabajo cotidiano se discutía en los distintos grupos.

Durante el tiempo que duró la realización del proyecto discutieron, buscaron y probaron soluciones acerca de como difundir el conocimiento, de modo que cuando alguien tenía suficiente experiencia en alguno de los aspectos del trabajo enseñaba a otros compañeros y pasaba a otro grupo de

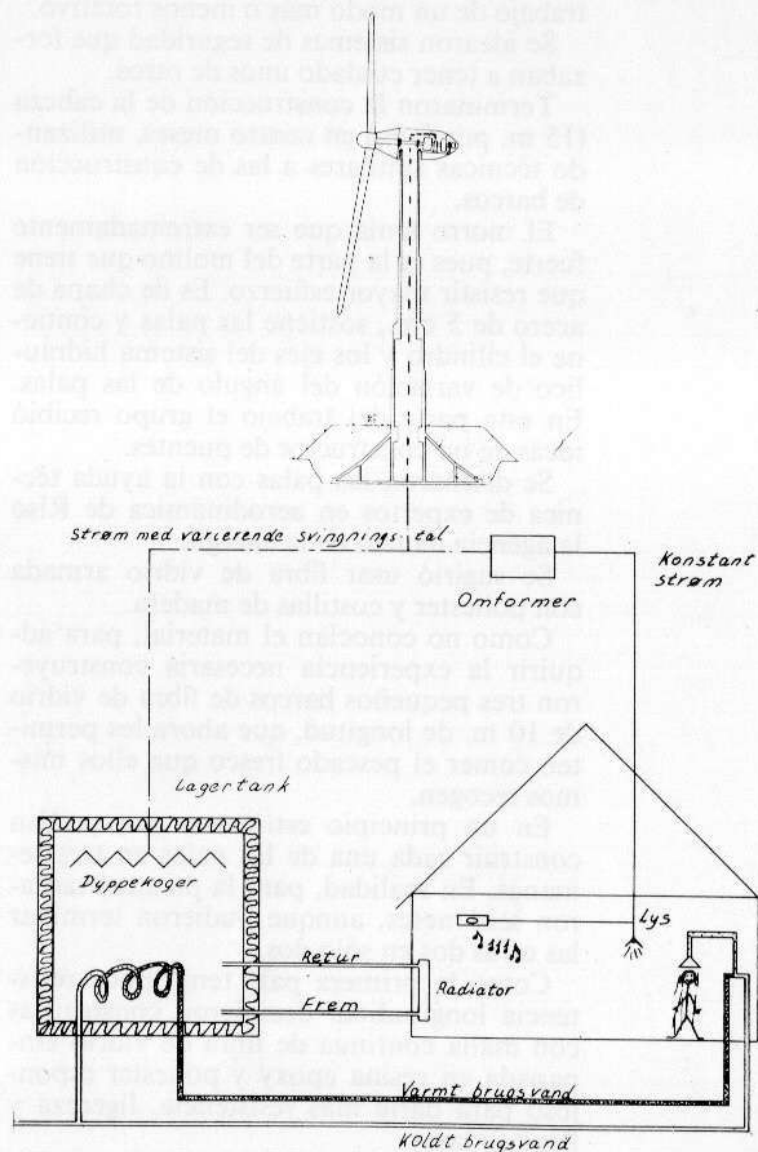


Diagrama del suministro de energía.



trabajo de un modo más o menos rotativo.

Se idearon sistemas de seguridad que forzaban a tener cuidado unos de otros.

Terminaron la construcción de la cabeza (15 m. por 5 m.) en cuatro meses, utilizando técnicas similares a las de construcción de barcos.

El morro tenía que ser extremadamente fuerte, pues es la parte del molino que tiene que resistir mayor esfuerzo. Es de chapa de acero de 5 cm., sostiene las palas y contiene el cilindro y los ejes del sistema hidráulico de variación del ángulo de las palas. En esta parte del trabajo el grupo recibió ideas de un constructor de puentes.

Se diseñaron las palas con la ayuda técnica de expertos en aerodinámica de Riso la agencia danesa de la energía.

Se sugirió usar fibra de vidrio armada con poliéster y costillas de madera.

Como no conocían el material, para adquirir la experiencia necesaria construyeron tres pequeños barcos de fibra de vidrio de 10 m. de longitud, que ahora les permiten comer el pescado fresco que ellos mismos recogen.

En un principio estimaron que podían construir cada una de las palas en tres semanas. En realidad, para la primera tardaron seis meses, aunque pudieron terminar las otras dos en sólo dos.

Como la primera pala tenía poca resistencia longitudinal decidieron construirlas con malla continua de fibra de vidrio empapada en resina epoxy y poliéster esponjoso para darle más resistencia, ligereza y flexibilidad.

Fueron enteramente construidas a mano sin maquinaria pesada o automatización

alguna en un hangar portátil que el ejército danés les prestó y en el que previamente hicieron un molde apropiado. Cada una pesa 54 Tm. y tiene 27 m. de longitud. El perfil está basado en la serie NACA 23.000; en la base el perfil es el 23.035, en la parte central es 23.024, y en el extremo el 23.012.

El ángulo de las palas se varía mediante unos cilindros hidráulicos.

El rotor se diseñó para girar a 40 r.p.m. Para velocidades de viento inferiores a 44 Km/h. el ángulo de inclinación de las palas se mantiene constante en la posición que da la máxima potencia. Cuando la velocidad del viento está por encima de 44 Km/h., el ángulo va variando gradualmente hasta que la velocidad es superior a 72 Km/h. y entonces se para.

La velocidad angular nominal es de 40 r.p.m. para una velocidad de 44 Km/h. lo que representa una velocidad lineal en el extremo de las palas de 400 Km/h.

El sistema está pensado para que gire dando la máxima potencia para cada velocidad del viento. Esto se consigue controlando la carga eléctrica del generador por debajo de la velocidad nominal y variando hidráulicamente el ángulo de inclinación de las palas para mantener la velocidad nominal.

El sistema de control de emergencia de la velocidad, asunto de gran importancia en una máquina grande, tiene aspectos nuevos: además de los más o menos convencionales de freno de eje y control de inclinación de las palas, tiene paracaídas del tipo usado por los aviones para frenarlas en condiciones de emergencia por velocidad

excesiva. Uno sólo de los tres paracaídas puede reducir suficientemente la velocidad.

El rotor del molino acciona el generador a través de una caja de engranajes que pasan las 40 r.p.m. a 760 r.p.m.

El eje es de 800 mm. de diámetro y había servido para accionar la hélice de un viejo barco desguazado; está acoplado a un limitador de par para proteger los engranajes y el generador. La caja de engranajes de 25 Tn. la compraron en una mina al norte de Suecia a la décima parte del costo de una nueva. La relación de multiplicación es 1:9 y tiene una potencia nominal de 1100 kW.

El generador es de 2 MW. corriente alterna, 3000 V. de frecuencia variable, que fue construido como motor síncrono de 760 r.p.m. y se usa como generador trifásico. Lo compraron de segunda mano en Suecia a un coste inferior al valor de su peso en cobre (12 Tn.). El conjunto de toda la maquinaria de la cabeza pesa 100 Tn.

En octubre del 77 se completó el trabajo. Para ello fue necesario montar las principales partes en tierra para probarlas, antes de colocarlas en la cima de la torre por partes separadas.

El sistema eléctrico refleja el uso propuesto: parte para calefacción y parte para producir electricidad. El generador de 2 Mw y 3000 V., es de corriente alterna y frecuencia variable. La electricidad baja por cable subterráneo hasta la casa de control. Allí en parte es transformada a 440 V. y parte rectificada a continua y usada para calentar agua. Luego invertida a 50 Hz. en una fase síncrona con la red, así no tienen problemas de almacenamiento. Lo que les permite en casos de excedente de energía

vender electricidad a la compañía local.

Ni que decir tiene que abastece todas las necesidades energéticas de la comunidad. Se espera que el molino producirá 3,6 millones de Kwh al año, lo que equivale a 1400 Tm de petróleo!

El coste total del molino se estima unos 8 millones de coronas que calculan amortizar en 15 años, contando con el incremento del precio de la energía y la inflación. No recibieron ayuda alguna del gobierno ni de ninguna corporación o fundación privada. Excepto tres ingenieros, el resto del grupo de trabajo ofreció su colaboración al proyecto desinteresada y voluntariamente, recibiendo sólo lo que ellos llaman dinero de bolsillo.

El costo del trabajo exterior y los gastos de manutención durante el tiempo invertido está incluido en el precio total. Aunque el costo resultó mayor de lo previsto, es mucho menor que el de otras máquinas de tamaño comparable.

Aun hoy, el aerogenerador de TVIND tiene un régimen de funcionamiento limitado a la mitad, esto es, aproximadamente a unos 900 kW de potencia (la mitad se destina a conversión térmica y la mitad a eléctrica), debido a problemas técnicos relacionados con la torre de hormigón. De hecho con lo que produce actualmente cubren suficientemente sus necesidades. Ello no es obstáculo para reconocer que las Escuelas TVIND han construido un gran aerogenerador, el primero en el mundo con estas dimensiones, estimulando a las administraciones estatales de diferentes países (EE.UU., Dinamarca, Suecia, Holanda)



Vista general de las escuelas TVIND.

## NÚMEROS MONOGRÁFICOS DE REVISTAS

**Windworker**, New Age Access, Northumberland, U.K., January 1979.

**L'AFFANCHI**, nº 55 Eoliennes et habitat, Paris, France.

**ECOLOGIE**, Energie Eolienne, Editions de la Surienne, Montargis, France.

## ALTERNATIVE SOURCES OF ENERGY

Reute, Box 90 A

Mikcu, Minnesota 50353 USA

**WIND INDUSTRY NEWS DIGEST (WIND)**  
1075 Central Ave. Milaca MN 56353

**RAIN**—Journal of Appropriate Technology 2270 NM  
Isning Portlana, Oregon 97210 USA

**URDERCURRENTS**—The Magazine of Radical Alternatives and Curmuny Tecnology 27 Clerkenwell Close; London EC1RDAT UK

**ECOTOPIA**: Energias Libres II

## LIBROS E INFORMES TÉCNICOS

Putnam, Palmer C.

**Power from the wind.**

Van Nostrand Reinhold Co., New York 1948.

Golding, E.W.

**The Generation of Electricity by Wind Power**,  
E & F Spon Ltd., London 1976 (reprint of 1955).

Syverson Ch.D., Symons J.G.

**Wind Power, information and planning manual for wind driven electric power systems.**  
Mankato, Minnesota, 1974.

Park, Jack

**Simplified Wind Power Systems for Experimenters.**  
Helion, Sylmar, California, 1975.

Eldridge, Frank R.

**Wind Machines.**

Mitre Corporation, RANN-NSF, NTIS, October 1975.

Simmons, Daniel M.

**Wind Power,**

Noyes Data Corporation, Vol. 6 ETRS, Park Ridge, N.J., 1975.

**Sol-vind, Handbog af Carl Herforth & Claus Nybroe,**

Informations Forlag, D.K., 1977.

**NIVE Publikation nº 1, Januar 1977.**

Vadvarende Energikilder.

Bugge, Jacob A. Chr.

**Bogen on Vindmoller.**

Clausen Boger, Kobenhavn 1978.

McGuigan, Dermot.

**Small Scale Wind Power,**

Wheaton & Co. Ltd., Exeter 1978.

Hallacy, D.S. Jr.

**Tierra-Agua-Viento-Sol, nuestras energias alternativas,**

Ed. Nuevomar, Mexico 1978.

Stoner, Carol Hupping (editor).

**Como usar las fuentes de energia natural.**

Ed. Diana, Mexico 1978.

Cella, Paolo.

**L'energia eolica, Guida basica per ottenere energia economica dai mulini a vento e dai generatori eolici,**  
Longanessi & C., Milano 1979.

Cunty, Guy.

**Eoliennes & Aerogenerateurs, Guide de l'énergie éolienne.**

Edisud, Aix-en-Provence, 1979.

Le Gourières, Desirée.

**Energie Eolienne, Theorie, Conception et Calcul pratique des installations,**

Eyrolles, Paris 1980.



# **PUBLICACIONES REFERENTES A CONGRESOS DE ENERGÍA EÓLICA**

– **Wind and Solar Energy, Proceedings of the New Delhi Symposium, UNESCO,** Paris 1956.

– **New Sources of Energy, Proceedings of the Conference, Rome, 21–31 Aug. 1961.**

– **Wind Energy Conversion Systems:**

**I Workshop Proceedings NSF/NASA, June 11–13 1973, Washington D.C.**

**II Workshop Proceedings NSF/NASA, June 9–11 1975, Washington D.C.**

– **Proceedings of the American Wind Energy Association:**

    1978 Spring Conference,

    1978 Fall Conference,

    1979 Spring Conference,

    1980 Spring Conference.

– **Proceedings of the International Symposium on Wind Energy Systems,** Cranfield, Bedford, England, 1976.

– **Papers presented at the Second International Symposium on Wind Energy Systems,** Amsterdam, Netherlands, October 1978.

– **Papers presented at the Third International Symposium on Wind Energy Systems,** Copenhagen, Denmark, August 1980.

**Proceedings of the 1st. BWEA Wind Energy Workshop, 1979.**

– **Proceedings of the 2nd. BWEA Wind Energy Workshop, 1980.**

# **LISTA DE FABRICANTES DE MOLINOS DE VIENTO**

**Aeromotor Division, Braden Industries** P.O.Box 1364 Conway, AR 72032

**American Wind Turbine Co., Inc.** 1016 E. Airport Road Stillwater, OK 74074

**Dempster Industries, Inc.** P.O. Box 848 Beatrice, NB 68310

**H.J. Godwin Ltd.** Quenington, Gloucester England GL7 5BX

**Heller Aller Company** Perry and Oakwood St. Napoleon, OH 43545

**K.M.P. Lake Pump Mfg. Co., Inc.** P.O. Box 441 Earth, TX 79031

**Sparco** P.O. Box 420 Norwinch, VT 05055

**Wadler Manufacturing Co., Inc.** Route 2, Box 76 Galena, KS 66739

**Aeroelectric** 13517 Winter Lane Cresaptown, MD 21502

**Aeropower** 2398 4th St. Berkeley, CA 94710

**Aerowatt S.A. Automatic Power, Inc.** 37 Rue Chanzy 75011 Paris France.

**Altos, The Alternate Current** Boulder, Co. 80302

**Amerenalt Corporation** P.O. Box 905 Boulder, CO 80302

**American Wind Turbine Co., Inc.** 1016 E. Airport Road So. El Monte, CA. 91733

**Dakota Wind & Sun, Ltd.** P.O. Box 1781 Aberdeen, SD 57401

**Domenico Speraudio & Ager** Via Cimarosa 13–21 58022 Follonica (GR) Italy

**Dominion Aluminum Fabricators** 3570 Kawkestone Road Mississauga, Ontario, L5C 2V8 Canada

**Dunlite Electrical Products Co. Div. Of PYE** 28 Ormond St. Hindmarch, S. Australia

**Dynergy** Laconia, NH 03246

**Elektro GmbuH** Winterthur, Schqez St. Gallers-trasse 27 Switzerland

**ENAG s.a.** Rue de Pont–l'Abbe Quimper (Finisterre) France

**Energy Development Co.** 179, RD=2 Hamburg, PA 19526

**Energy Research Products, Inc.** 508 S. Burne Road Toledo, OH 43609

**Enertech, Inc.** P.O. Box 420 Norwich, VT 05055

**Environmental Energy Engineering** 27996 Gardenia Drive North Olmstead, OH 44070  
**Grumman Energy Systems** 4175 Veterans Memorial Highway Ronkonkoma, NY 11779  
**Industrial Inst. Ltd.** Stanley Rd. Bromley BR29JF Kent, England  
**Jacobs Wind Electric Co.** Route 13, P.O. Box 722 Fort Meyers. FL 33901  
**Kaman Aerospace** Old Windsor Road Bloomfield, CT 06002  
**KEDCO, Inc.** 9016 Aviation Blvd, Inglewood, CA 90301  
**Lubing Maschinenfabrik**, Ludwig Bening P.O. Box 171 D-2847 Barstorf, Vasttyskland Germany  
**Millville Windmills & Solar Equipment Co.** P.O. Box 32 Millville, CA 96062  
**Natural Power, Inc** New Boston, NH 03070  
**Noah Energy Systems S.A.** Case Postale 81 CH-1211 Geneve 19 Geneva, Switzerland  
**North Wind Power Co.** P.O. Box 315 Warren, VT 05674  
**Pinson Energy Corporation** P.O. Box 7 Marston Mills, MA 026-48  
**Product Development Institute** 508 S. Byrne Road Toledo, OH 43609  
**SAAB-SCANIA S-581** 88 Linkoping Sweden  
**F.L. Schmidt Co.** 69 Skt Klemensuzj Hjallesse, Denmark 5260  
**Sencenbaugh Wind Electric** P.O. Box 11174 Palo Alto, CA 94306  
**Tvind College** DK-6990 Ulfborg, Denmark  
**Standard Research, Inc.** P.O. Box 1291 East Lansing, MI 48823  
**J. Taylor Co.** 88 Hull Road Woodmanseij East Yorkshire HU 17 OTH United Kingdom  
**USSR Energomashexport** 35 Mosfilmovskaya UL Moscow V 330 Russia  
**Whirlwind Power Co.** P.O.Box 18530 Denver, CO 80218  
**Winco Division of Dyna Technology** 7350 Kero Parkway Menneaples NM 5542.  
**Wind Power Systems, Inc** P.O. Box 17323 San Diego, CA 92117  
**Winduser Co.** P.O. Box 925 Hurricane, UT  
**Windworks** Box 329, Route 3 Mukwonago, WI 53149  
**Winpower Corp.** 1207 1st Avenue E Newton, IA 50200

**Zephyr Wind Dynamo Company** P.O. Box 241 Brunswick, ME 04011  
*Prototype Units*  
**Boeing Construction** 955 L'Engant Plaza N., S.W. Washington D.C. 20024  
**Grumman Energy Sustems** 4175. Veterans Memorial Hwy. Ronkondoma, NY 11779  
**General Electric Space Division** P.O. Box 8555 Philadelphia PA 19101  
**McDonnell Douglas Aircraft** P.O. Box 516 St. Louis MO 63166  
**TWR Enterprises** 72 W. Meadow Lane Sandy, UT 84070  
**United Techmologies Corporation** One Financial Plaza Hartford, CT 06101  
**U.S. Windpower Associates** 25 Adams Street Burlington, MA 01803  
**WTG Energy Systems** P.O. Box 87 1 LaSalle St. Angola, NY 14006  
**Wind Power Products Co., Inc.** 213 Boeing Field Terminal Seattle, WA 98108  
**PLANOS Y KITS DE MONTAJE**  
**Earth Mind** 2651 O'Jesel Drive Saugus, CA 91350  
**Enertech** P.O. Box 420 Norwich, VT 05055  
**Flanagan's Plans** 2032 23rd St. Astoria, NY 11105  
**Forrestal Campus Library** Princeton University Princeton, NJ 08540  
**Homecraft** 2350 W. 47th. St. Denver, Co 80211  
**Jack Park** Box 4301 Sylmar, CA 91342  
**Sencenbaugh Wind Electric** P.O. Box 11174 Palo Alto, CA 94306  
**Total Environmental Action, Inc.** Church Hill Harrisville, NH 03450  
**Windy Ten** Box 111 Shelby, MI 49445  
**Windowworks, Inc.** Route 3, Box 44A Mukwonago, WI 53149.

#### Direcciones de constructores españoles.

**GEMZ**  
 Pça. Catalunya, 4  
 ST. BOI DE LLOBREGAT (Barcelona)  
**BRYBSA**  
 Avda. de Ibi, s/n  
 CASTALLA (Alicante)





---

**Ecotopía Ediciones**

**ENERGÍAS LIBRES II: SOL, VIENTO, METANO.**

**Coordinado por: Cipriano Marín y Pep Pla.**

**Con la colaboración de:** J.M. Naredo, Joaquín Corominas B. Commo-  
ner, E. Tuzzi, Michel Bosquet, Pierre Samuel, Sergio Los, A. Lovins,  
Dario Pacino, José Luís Fandos Daniel Aixelà, Ramón Aguirre, Carlos  
Ponce, Lila Pla, Pep Puig y Joana Alemany.

Formato 17 x 23,5 ★ Profusamente ilustrado ★ 116 páginas ★ 300 Pts.

**Manual teórico-práctico de todas las energías alternativas, sol, viento, metano,... en el que se hace un análisis de las posibilidades actuales del uso y aprovechamiento de las fuentes naturales de energía.**

Entresacamos de un introducción: «Tenemos más claro que nunca que, este número no va dirigido a quienes consideran que los avances tecnológicos son la razón de existir de una sociedad moderna y que, la noción de progreso se mide por la cantidad de cosas producidas o por el volumen de energía consumida. Las nuevas energías no son meros sustitutos técnicos de la irracionalidad energética del capital, sino conllevan, la defensa de la descentralización frente a la dictadura de la concentración e implican la idea de autoabastecimiento, de la autogestión de la vida, de la concientización, del desarrollo armónico, de la racionalidad humana en una palabra, dentro de un mundo construido bajo cánones irreales.

---

**Ecotopía Ediciones**

**MEDICINAS BLANDAS Y ANTI-MEDICINA**

**por: Alfredo Embid.**

Formato: 17 x 23,5 ★ Profusamente ilustrado

Este texto está centrado en las alternativas al modo de concebir la medicina que impera actualmente. Está redactado con la máxima simplicidad posible, para que pueda ser accesible a todo el mundo. Pero esto no quiere decir que no sea útil para las personas que poseen conocimientos de sanidad, pues se refiere a aspectos poco o nada conocidos de la medicina. Es sin duda el catálogo de medicinas paralelas más completo que se ha publicado hasta la fecha y constituye, dada su amplia información, un útil de trabajo indispensable para todos aquellos que se interesan por estos temas. A partir de él, siguiendo sus bibliografías y contactos, cada cual puede profundizar su conocimiento del sector que desee y contactar con los grupos que ya trabajan en él.

Este libro viene a demostrar que es posible producir sanidad de otra forma, más barata, menos peligrosa, más autónoma y más sencilla.

---

**Ecotopía Ediciones**

## **FIESTA, COLOR Y ALQUIMIA EN LA COCINA.**

**por: Rosa Pastó y Joana Alemany.**

Formato 21 x 21 ★ Ilustrado a dos colores

En esta época en que los bares se convierten en antros de alcohol enclaustrante, en que los caldos del año se tornaron química y el cocinero cambió su comida de culto al cuerpo y a la tierra por un aséptico restaurante cultivador de úlceras de estómago a precios de asalto, te proponemos este recetario elaborado en la búsqueda del sujerente mundo del arte de cultivar tus sentidos, del goce y del caer en las más lúdicas perspectivas.

Conservas dulces ★ Conservas de verduras ★ Secado de frutas, verduras y hierbas ★ Elaboración de vinos y licores ★ Afrodisíacos ★ Especias ★ Pastelería ★ etc., etc...



---

**Ecotopía Ediciones**

**BIOENERGÍAS, EL METANO**

**Obtención de gas y abonos a partir de desechos orgánicos.**

Formato 21 x 28 ★ Profusamente ilustrado con gráficos y fotografías.

**Este libro intenta reflejar la incidencia que puede tener el aprovechamiento de los desechos orgánicos en nuestra sociedad, tanto en el desarrollo agrícola como en el problema de los desechos urbanos.**

**Actualmente existen en el tercer mundo multitud de planes de desarrollo en que las bioenergías juegan un papel fundamental, y en China, ya funcionan más de diez millones de digestores. En los países desarrollados funcionan multitud de empresas que instalan y venden equipos, situación que corresponde a una fuerte demanda por parte de los agricultores y a un nivel de investigación elevado.**

**En el campo de la eliminación de los desechos urbanos el interés está generalizado pues el problema de las grandes ciudades en este aspecto es agobiante. Muchas ya poseen en estos momentos sistemas de conversión de los detritus en gas metano.**

**En este texto se hace un análisis de los diferentes tipos de digestores con esquemas de funcionamiento y de montaje. El cálculo de un digestor, planos para el montaje de una pequeña unidad, teoría básica de los digestores, conceptos teóricos,...**









# El Poder Del Viento

**TODA LA INFORMACIÓN SOBRE SU DESARROLLO TECNOLÓGICO ACTUAL Y EL PAPEL QUE DESEMPEÑA EN LA NUEVA ESTRATEGIA ENERGÉTICA MUNDIAL.**

**Todo sobre:** La naturaleza de los vientos, sistemas de observación y medida, su historia, teoría básica de un aeromotor, aerodinámica, aerogeneradores.

**Contiene:** Planos para la autoconstrucción de un anemómetro, de un molino de bombeo y de un aerogenerador. La legislación vigente en España y los créditos que se pueden conseguir para una instalación eólica. Gráficas para el cálculo de perfiles y polares, así como las del Servicio Meteorológico. Bibliografía. Direcciones.

«Marc Bloch cuenta que en el siglo XVII, miles de molinos de viento fueron destruidos por los grandes hacendados: estos molinos daban a los campesinos la posibilidad de moler su propio grano, lo cual hacía extremadamente difíciles los controles. En su lugar, estos hacendados, crearon molinos de agua; de esta forma la energía del viento que había sido accesible a todo el mundo dejó paso a los saltos de agua que podían ser monopolizados por unos pocos.

Para dominar a los hombres es necesario controlar su acceso a la energía; es necesario impedirles que la produzcan y obligarles a comprarla.

Las Energías Alternativas son el molino de viento de éste fin de siglo. Aún queda tiempo para impedir que la historia se repita.»

—«¿Qué energía para qué sociedad?». Michel Bosquet.  
Artículo aparecido en el libro «Energías Libres» de ésta editorial.