

## TURBINAS EOLICAS EUROPEAS

Ricardo A. Bastianon  
Servicio Naval de Investigación y Desarrollo

### Resumen

Este informe describe las principales instalaciones eólicas europeas visitadas por el autor en un viaje realizado a Suecia, Dinamarca, Alemania, Francia e Inglaterra, durante el mes de Mayo de 1979.-

Cada instalación es descripta con abundantes detalles técnicos, incluyendo la filosofía del diseño de cada constructor, esquemas y fotografías de los aerogeneradores.-

Para el caso particular de la turbina SAAB de 60KW, se dispone de una película sobre el proceso de fabricación de cada una de las partes y detalles constructivos de las palas de la hélice, como asimismo sobre su instalación en el terreno.-

Esta revisión, que también incluye la gigantesca turbina de Tvind, en Dinamarca, de 54m de diámetro, ofrece una clara visión del estado de la tecnología actual en Europa y permite sacar conclusiones sobre su aplicación en la Argentina.-

Se considera, además, que la descripción de los distintos aerogeneradores representa una excelente compilación de ideas que pueden ser usadas para realizar nuevos diseños.-

## EUROPEAN WIND TURBINES

### Abstract

This report describes the principal european wind power plants which the author visited during a trip to Sweden, Denmark, Germany, France, and England in May 1979.

Each installation is described with abundant technical details including the design philosophy of each constructor, schemes and photographs of the wind turbines.

For the particular case of the SAAB turbine of 60 kW, a film is available showing the manufacturing process of each of its parts, construction details of the propeller blades and the installation of the turbine.

This review, which also includes the gigantic Tvind turbine of 54 m diameter in Denmark, offers a clear vision of present day technology in Europe and allows to evaluate the possibility of its application in Argentina.

It is considered that the description of different wind power generators provides an excellent source of ideas which can be used in new designs.

## 1.- INTRODUCCION

Este informe describe las principales instalaciones de aerogeneradores europeos visitadas por el autor en el viaje realizado a Suecia, Dinamarca, Alemania, Francia e Inglaterra durante el mes de Mayo de 1979. Este viaje fue parcialmente financiado por la Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología.-

## 2.- SAAB-SCANIA

En Linköping, Suecia, se comenzó la visita de la empresa SAAB-SCANIA, donde se ha diseñado y construido una planta experimental de energía eólica de 60KW que sirve como base experimental para la obtención de datos, los cuales permitirán extender el programa a unidades de mayor potencia. Esta central provee actualmente energía a la red eléctrica de Suecia, habiendo entrado en operación en Abril de 1977.-

La turbina está ubicada en Älvkarleby, al norte de Estocolmo y sobre la costa este de Suecia, donde se registra una velocidad del viento media anual de 7 m/s. Figura 1.-



Figura 1



Figura 2

La hélice es de eje horizontal, con dos palas con un perfil NACA 64<sub>3</sub>-618 modificado. Tiene 18m de diámetro y va colocada detrás de la torre. Figuras 2 a 5.-

La cuerda de las palas disminuye linealmente desde un máximo de 1,1m en la raíz hasta 0,2m en la punta.-

La torre ha sido construida en hormigón por medio de un proceso continuo y, posteriormente, con la ayuda de una grúa se montó el cabezal con la hélice. Figuras 6 y 7.-

La distribución del multiplicador, freno a disco, generador y tablero electrónico, puede apreciarse en la Figura 8.-

En la parte inferior de la torre se encuentra instalada una computadora especial que controla el funcionamiento de la turbina, la cual se halla automatizada de tal modo, que opera sin intervención humana. Su sistema de control detiene la turbina si el viento es inferior a 4 m/s y sólo se pone nuevamente en funcionamiento si la velocidad media del viento supera los 4 m/s durante 3 minutos. En este caso, actúa el sistema de control automático y la turbina se orienta en la dirección del viento, mientras las palas se colocan en el ángulo de incidencia necesario para arrancar. Estas condiciones de funcionamiento están programadas en su computadora y pueden alterarse modificando el programa correspondiente. Actualmente la planta es de propiedad del Comité Nacional Sueco para el Desarrollo de Puentes de Energía, siendo responsable por la operación de rutina mientras SAAB-SCANIA realiza los ensayos experimentales en colaboración con varias instituciones científicas.-

Para el desarrollo del primer prototipo, SAAB-SCANIA recibió u\$s 1.660.000 del Comité Nacional, entre Abril de 1976 y Junio de 1977. Este dinero fue invertido en el estudio del sistema para la generación de energía eólica, diseño, manufactura y ensayos iniciales de la unidad experimental.-

El desarrollo de esta unidad ha cumplimentado los requerimientos básicos del Comité Nacional, el cual, en su programa de energía eólica comprende 3 etapas y que son las siguientes:

1) Estudios y Experiencias por un período de 3 años (1975 a 1978), en el que instituciones científicas oficiales y privadas, consultores y la industria, se encargaron de analizar las posibilidades y problemas de la energía del viento como así también realizar las mediciones en la turbina construida por SAAB. Hasta mediados de 1977, u\$s 3,5 millones habían sido invertidos con esta finalidad incluyendo los trabajos de SAAB-SCANIA.-

2) Prototipo potencia del MW a desarrollar en un período de 4 años (1977/81).

3) Construcción de 10 unidades entre 1979/83, como grupo de demostración.-

En Julio de 1979, el Comité Nacional Sueco llamó a licitación para el desarrollo de un prototipo de 2,5MW.-

### 3.- KARLSTADS MEKANISKA WERKSTAD (KMW)

En Kristinehamn, Suecia, KMW tiene en marcha un proyecto de turbina eólica de 2,5MW, tratando de responder a la solicitud hecha por el Gobierno. Ha diseñado y efectuado los estudios de un gigantesco aerogenerador de eje horizontal, con la hélice delante de la torre, de 80m de diámetro y también de 80m de altura.

La torre tiene una parte inferior cónica de 10m de diámetro en la base y cilíndrica en su parte superior, con un diámetro de 4m. Es construida en cemento, de 30cm de espesor de pared y posee en su interior un par de ascensores y el sistema de generación eléctrica, engranajes de transmisión, freno y sistema

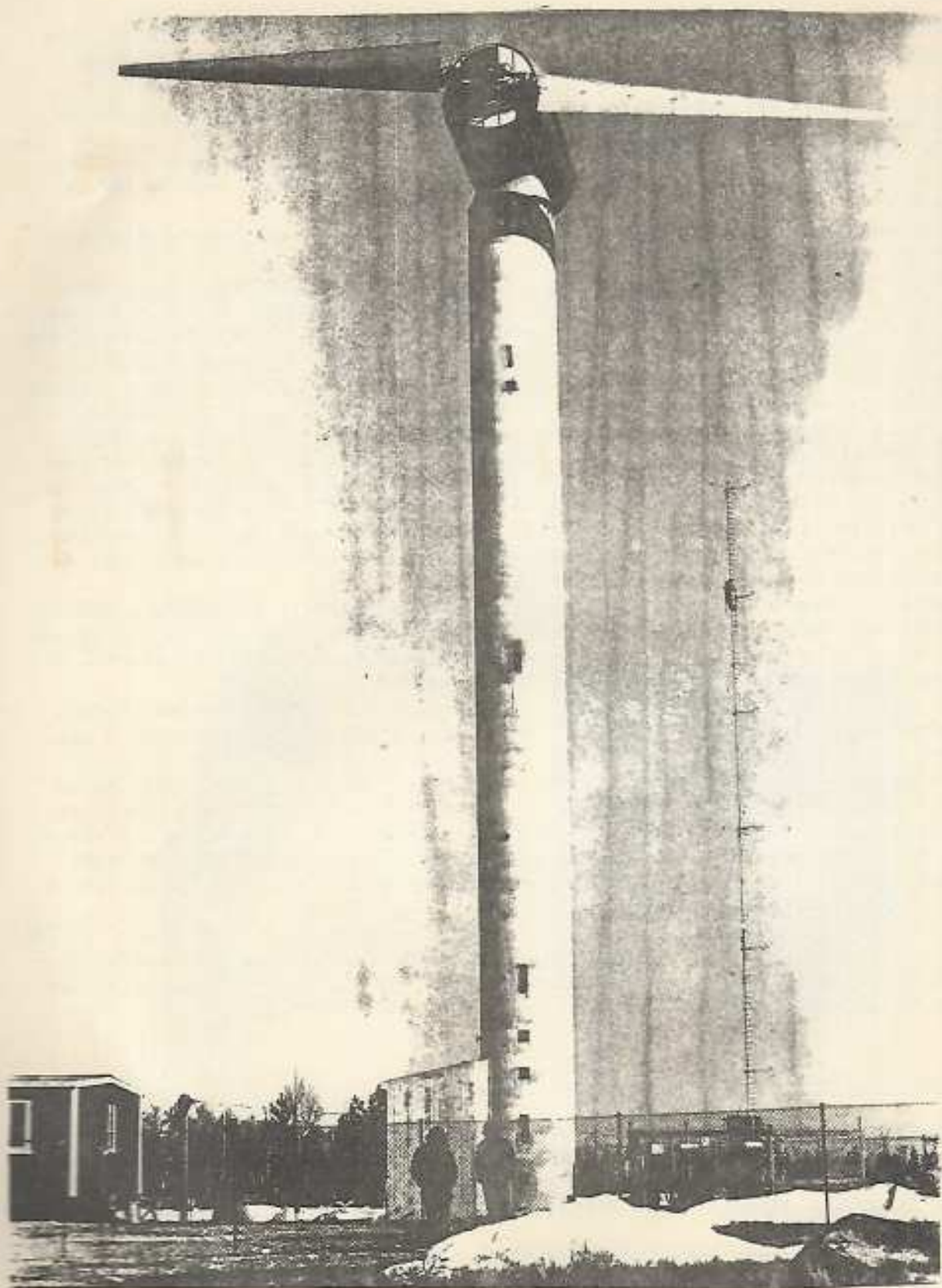


Figura 3

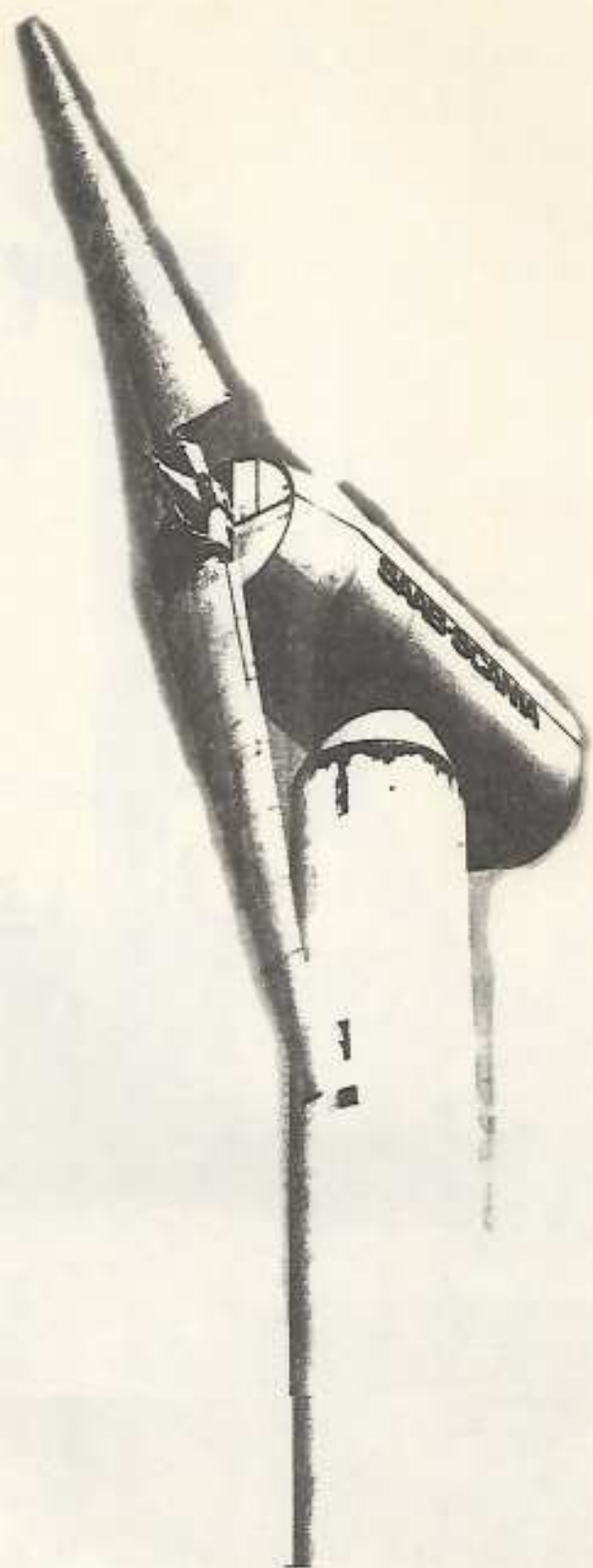


Figura 4



Figura 5



Figura 6



Figure 7



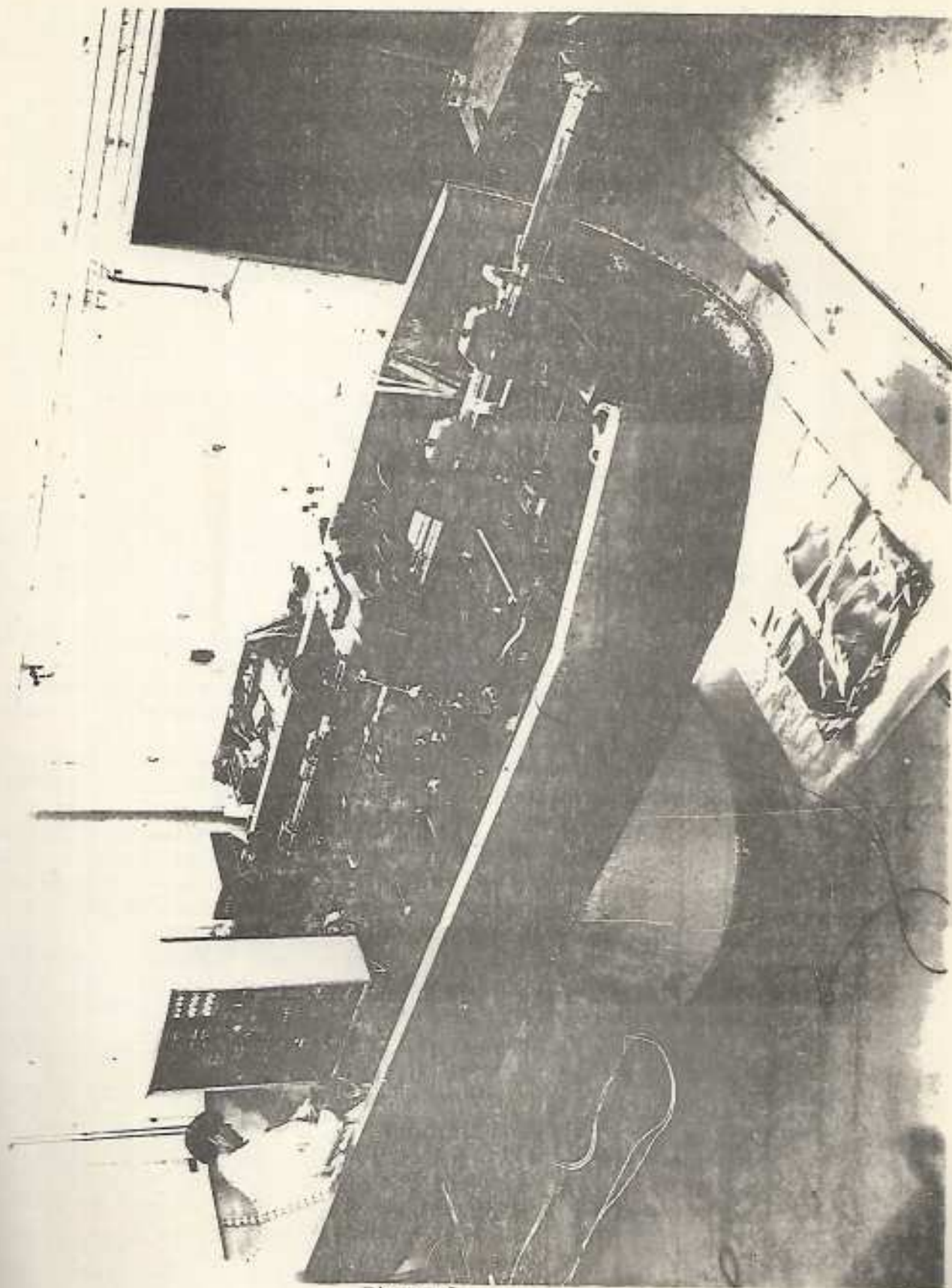


Figura 8

de control.-

La hélice es de 2 palas y gira a 25rpm. Está construida por una viga metálica de acero en forma de cajón rectangular que se extiende desde la raíz hasta la punta. Este cajón completa el perfil con un borde de ataque y un borde de fuga de plástico extruido. Cada pala pesa 13ton y la cuerda en la raíz es de 4m.-

La hélice tiene en su centro un tubo que se proyecta hacia adelante unos 15m y que lleva un sensor de velocidad y dirección del viento. El eje de la hélice está inclinado 10° hacia arriba sin ángulo de cono. La velocidad de arranque es 6 m/s y la de corte superior es de 21 a 23 m/s. La velocidad de viento nominal de diseño es de 12,5 m/s y a esta velocidad produce la potencia nominal de 2,5MW. El generador es asincrónico.-

El problema de la erección ha sido muy bien resuelto construyendo la torre de cemento con un riel vertical apoyado en la parte externa. La hélice completa es armada en la base de la torre y luego izada con cables hasta la parte superior donde en una articulación rota todo el cubo hasta quedar en su posición normal.-

No han efectuado ensayos en el túnel de viento debido a que por el considerable cambio de tamaño se tendría un número de Reynolds muy poco realista.-

#### 4.- LABORATORIO NACIONAL RISO

El Laboratorio Nacional Riso, de Dinamarca, es una planta experimental construida en 1977, que está destinada a ensayar aerogeneradores pequeños y medianos. Por intermedio del Ministerio de Comercio otorga los certificados de las performances que cumplen los equipos disponiendo actualmente, para su funcionamiento, de un presupuesto de u\$s 1.000.000 para un período de 3 años.-

El laboratorio tiene capacidad para ensayar 6 aerogeneradores simultáneamente, alineados sobre la costa para recibir mayor viento.-

Al lado de cada equipo se hallan dispuestos anemómetros para detener la velocidad del viento y detrás de los aerogeneradores tienen instalados 6 anemómetros para registrar la estela producida por el equipo.-

El primer aerogenerador ensayado y que aún se encuentra en estudio, es un Darrieus, construido por el Departamento de Mecánica de los Fluidos de la Universidad Técnica de Dinamarca. Figura 9.-

El rotor tiene un diámetro y una altura de 4m, con perfiles NACA 0012 de 0,25m de cuerda o con NACA 0018 con 0,15m de cuerda, en modelos de 2 y 3 palas. Estos fueron construidos de maderas laminadas dobladas en forma de troposkian, siendo luego cada pala perfilada y cubierta con una delgada capa de fibra de vidrio reforzada.-

El generador es de corriente continua y un sistema de control electrónico fue construido para conservar constante la velocidad de rotación del rotor o para mantener constante la relación:  $\lambda = \omega R/V$  entre la velocidad angular y la velocidad del viento.- Figura 10.

El control de velocidad se logra variando la corriente de magnetización del generador y consecuentemente controla la cupla del generador.-

También se estaban comenzando los ensayos de una cicloturbina de eje vertical construida por Dansk Vindkraft Industri ApS, de 15KW, para una velocidad nominal del viento de 11 m/s. Las dimensiones geométricas del equipo se hallan indicadas en la Figura 11, pudiéndose apreciar su aspecto en las Figuras 12 y 13. El perfil de las palas es un NACA 0015 que rota a una velocidad de 53rpm, moviendo un alternador asincrónico trifásico.-

Las palas del rotor son de paso variable, siendo el control accionado mecánicamente por medio de un apoyo sobre una rueda excéntrica. Esta rueda, a su

vez, se mueve según la dirección del viento, comandada por la veleta que se puede observar en la parte superior de la turbina.-

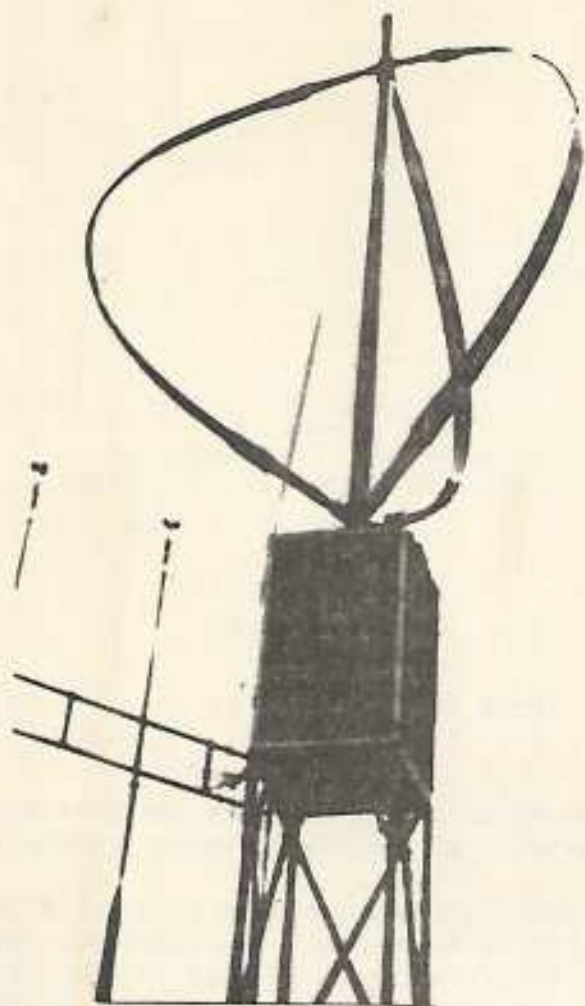


Figura 9

La construcción de este prototipo, incluyendo el diseño, costó u\$s 127.000 y la licencia con los planos completos puede ser otorgada por u\$s 20.000. Por su parte, se estima que el aparato de serie producido dentro de 6 meses a 1 año, podrá costar aproximadamente u\$s 20.000, debiendo agregar a este valor los gastos de transporte, derechos de aduana, etc.-

En el Laboratorio Nacional Riso también será ensayado el aerogenerador Risager de 18m de alto, 14m de diámetro, con un generador asincrónico de 45KW, con palas fijas y un freno mecánico. Figura 14.-

Los ensayos de este equipo son particularmente interesantes después de su accidente ocasionado por una falla en el sistema de control, que permitió que la hélice se acelerara a un régimen de revoluciones excesivo, sometiendo a la estructura de la torre a esfuerzos considerables no previstos. El resultado de este accidente puede apreciarse en la Figura 15.

#### 5.- GIGANTESCA TURBINA DE TVIND

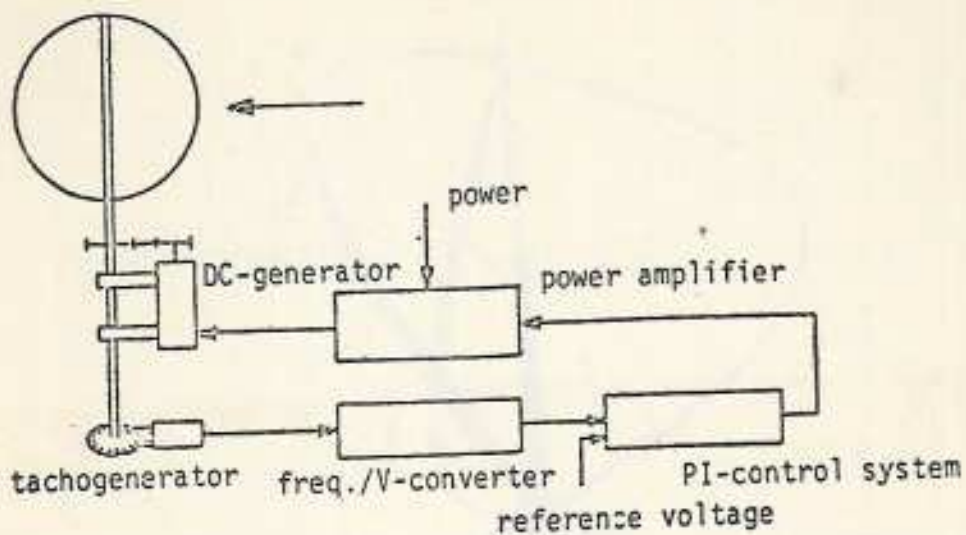


Figura 10

En la pequeña localidad de Tvind, sobre la costa oeste de Dinamarca, se levanta una extraordinaria turbina eólica, que figura entre las más grandes del mundo.

El sistema es de eje horizontal, con una hélice de 3 palas ubicadas detrás de la torre. El diámetro de la hélice es de 54m y su centro está ubicado a 53m de altura. La velocidad nominal del viento para la cual ha sido diseñada, es 14,5 m/s y 42rpm, produciendo en este régimen una potencia de 2MW. Figura 16.-

Durante su construcción trabajaron entre 30 a 40 personas, habiendo llegado en momentos picos a 200.-

Este grupo comenzó la construcción en Mayo de 1975 y demoró en la misma 3 años, habiéndose invertido durante este período un total de u\$s 1,2 millones.-

Por su parte, el Gobierno Danés ha invertido u\$s 150.000 en mediciones con strain-gages colocados en una pala de la hélice.-

La torre ha sido construida en cemento armado con una base estructural de 2m de profundidad por debajo del nivel del suelo. Figura 17.-

La torre fue elevada inyectando cemento entre los hierros contenidos en un anillo de madera en dos mitades, que se deslizaba hacia arriba a razón de 10cm/h, durante 20 días, trabajando entre 10 a 20 personas en forma continua. Figuras 18, 19 y 20.-

Actualmente, durante el funcionamiento, la torre oscila en su parte superior con una amplitud de 3cm.-

Debido a que aún se encuentra en su etapa experimental, todavía no se ha permitido funcionar a la potencia nominal. El máximo autorizado hasta el presente ha sido generando 400KW a una velocidad del viento de 12 m/s.-

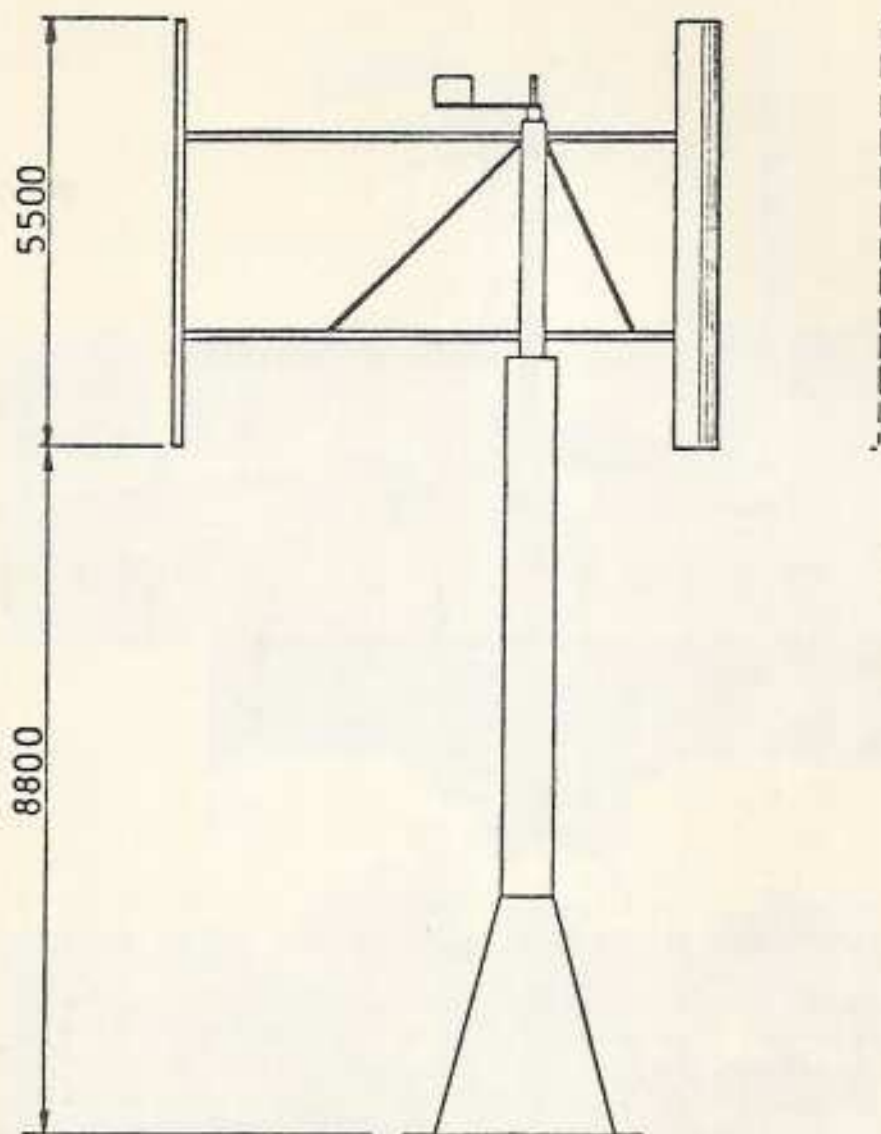


Figura 11

Está previsto que si las revoluciones aumentan más allá del régimen nominal y por encima de 46rpm, actúa un sistema de emergencia que consiste en la apertura de un paracaídas al extremo de cada pala.-

El eje de la hélice está inclinado  $4^\circ$  hacia arriba y posee un ángulo de cono entre las palas, de  $9^\circ$  y no cuenta con sistema de flapping.-

La hélice es de perfil variable entre NACA 23035, NACA 23024 y NACA 23012, según se indica en la Figura 21.-

Las palas de la hélice, de 27m de longitud, han sido construidas en material compuesto con fibras de vidrio, donde cada filamento es hecho separadamente, como se indica en la Figura 22. Cada fibra elemental pasa a través de un adhesivo plástico líquido y luego es trenzada con otras para formar fibras más gruesas.-

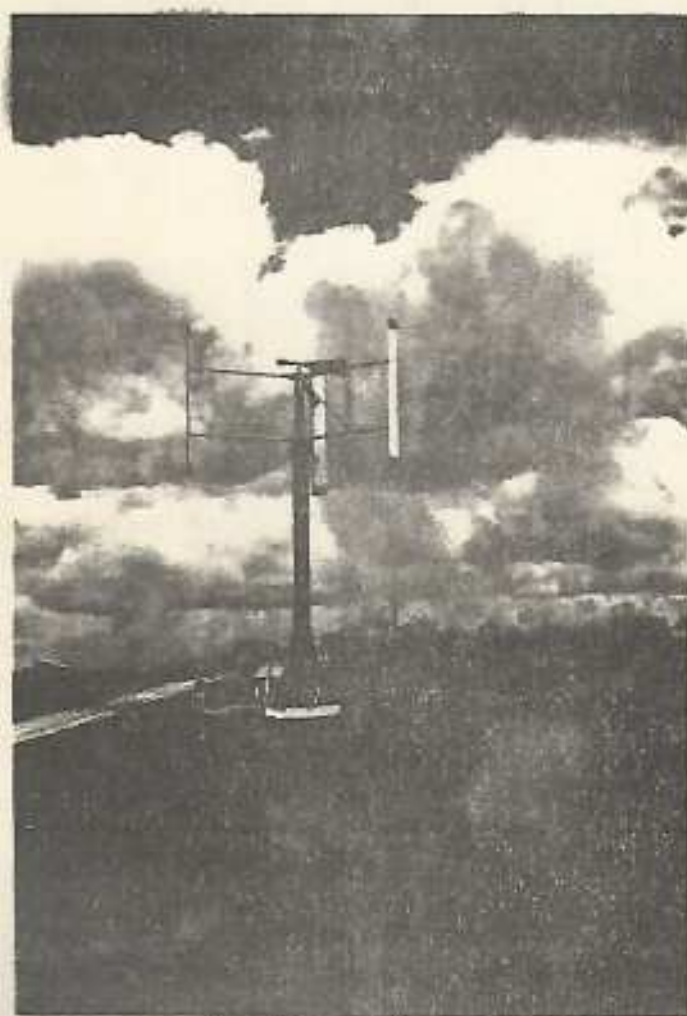


Figura 12

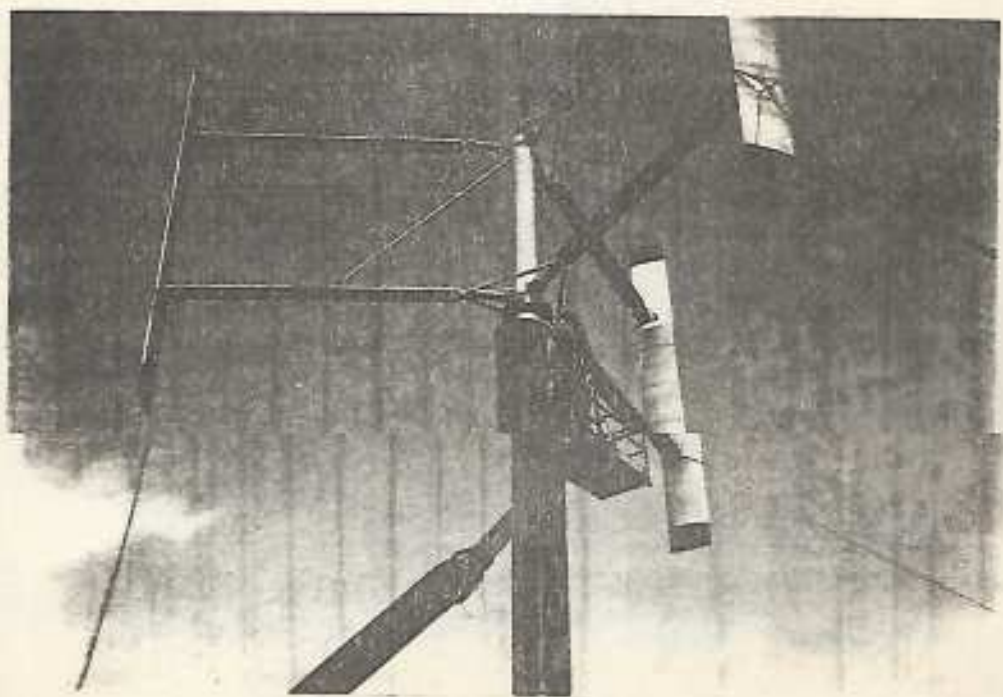
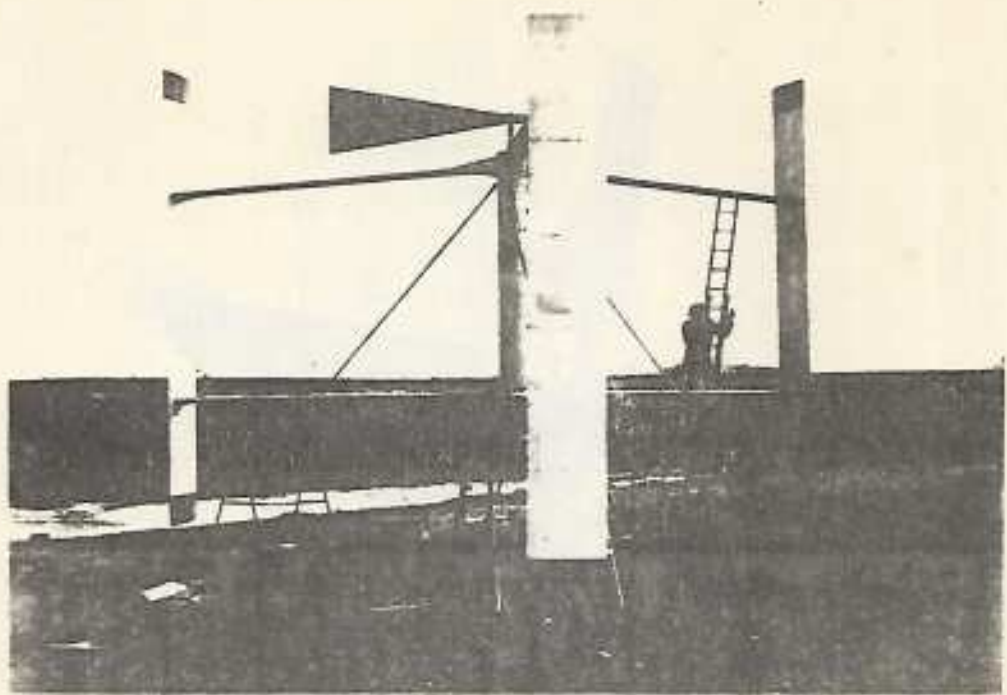


Figura 13



Figura 14





Figura 15

La fabricación del perfil se inicia con la elaboración de un molde formado por una serie de plantillas de madera apoyadas sobre un suelo plano y sobre éstas se adhiere un plástico que las cubre totalmente. Figura 23.-

Esta superficie es pulida y luego encerada, colocándose sobre ésta las fibras de vidrio en el sentido longitudinal de la pala. La fibra se adhiere a una matriz, partiendo desde la punta de la pala hacia la raíz y se gira alrededor de bulones, en el cubo, volviendo nuevamente hacia la punta de la pala.-

Luego se colocan las costillas, Figura 24, y se hace la otra mitad del recubrimiento con un proceso similar. La pala terminada puede apreciarse en la Figura 25.-

Por otro lado, la construcción de la estructura del cuerpo central se observa en la Figura 26, la cual luego es elevada a la parte superior de la torre por las grúas indicadas en la Figura 27.-

Posteriormente, se eleva el generador, Figura 28, y los otros componentes del sistema incluyendo también las palas de la hélice. Figura 29.-

La hélice va montada sobre un cono central de 13,5ton de peso, que se inserta en un eje de acero de casi 1m de diámetro y 15ton de peso. Una caja de transmisión multiplica las revoluciones, llegando a un generador sincrónico que

# Vindmøllen i Tvind

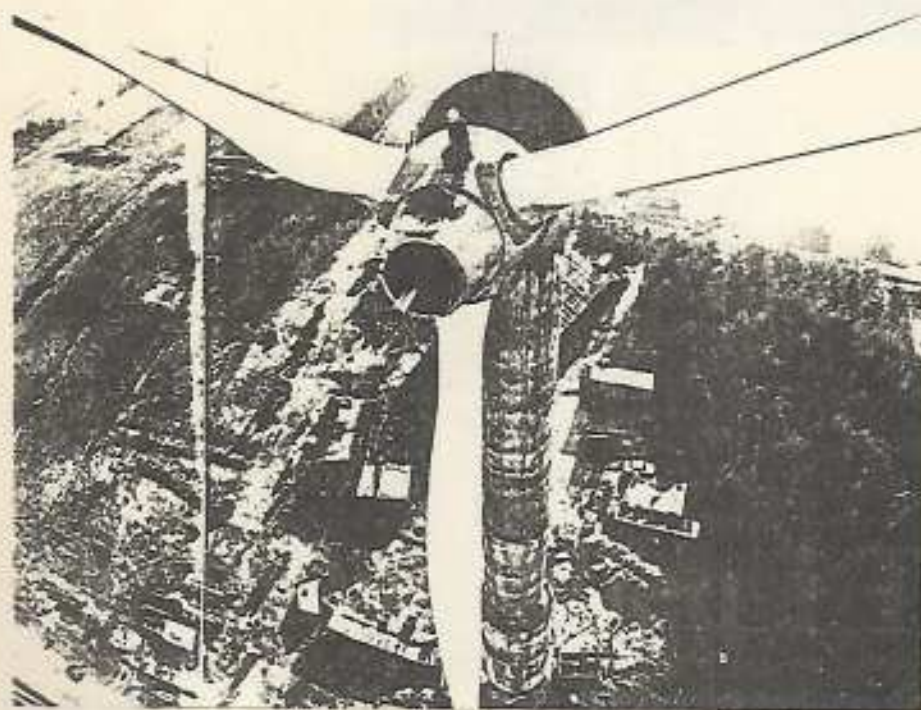
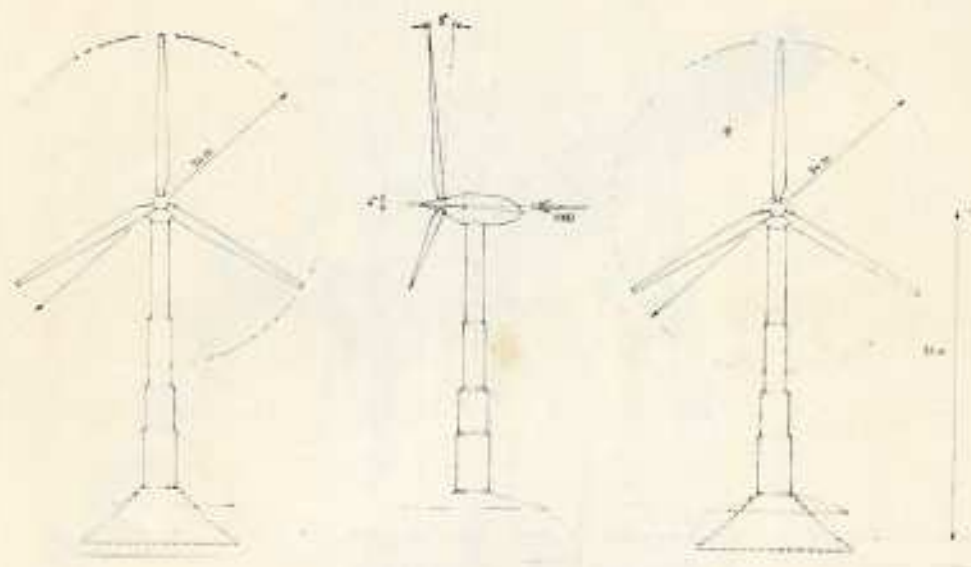
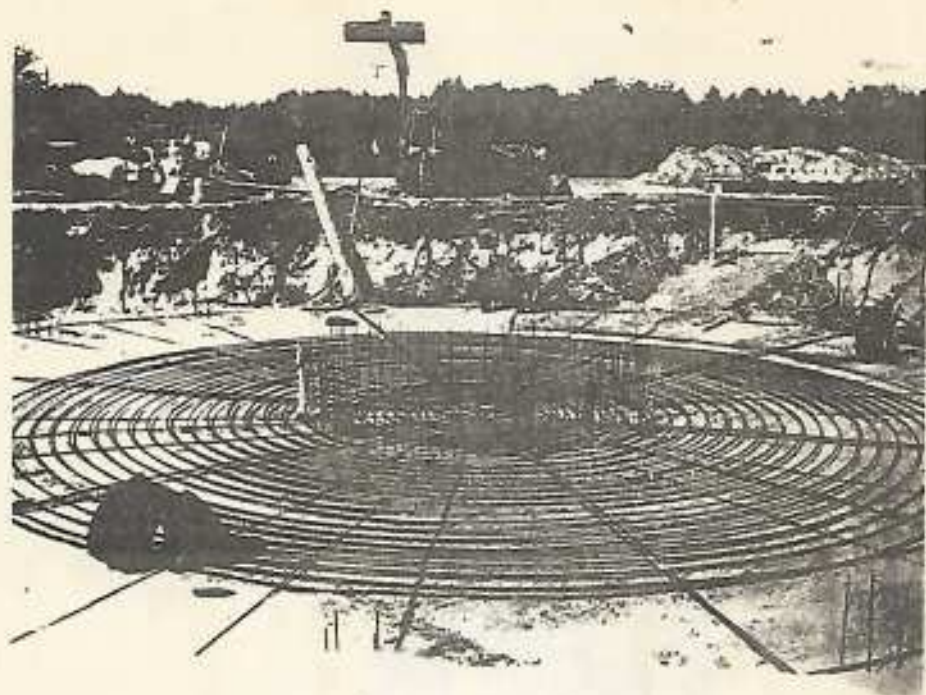


Figura 16



Comienzo de la Base

Figura 17

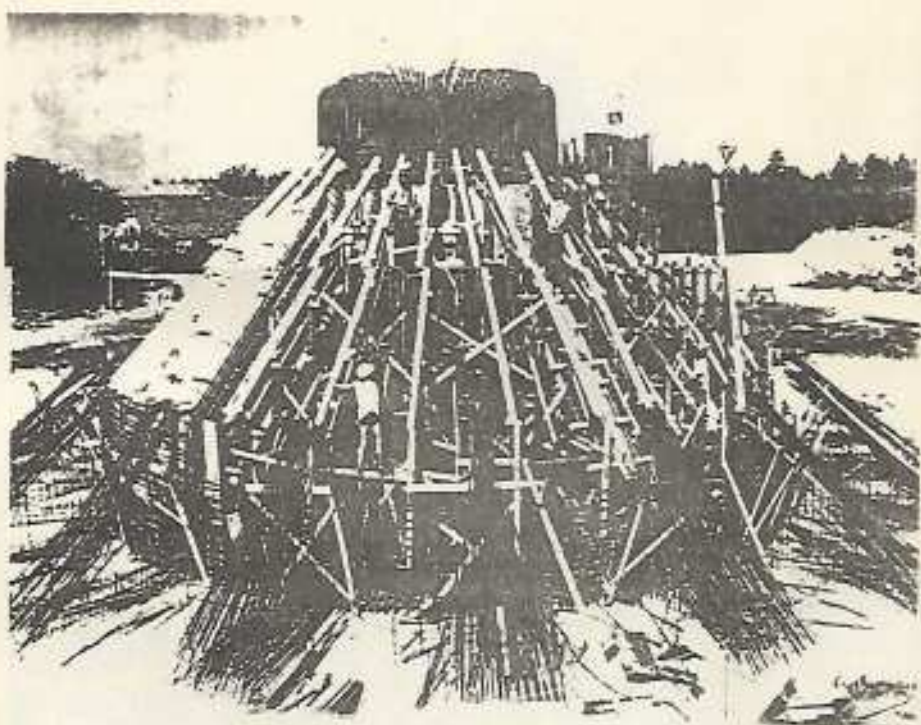


Figura 18

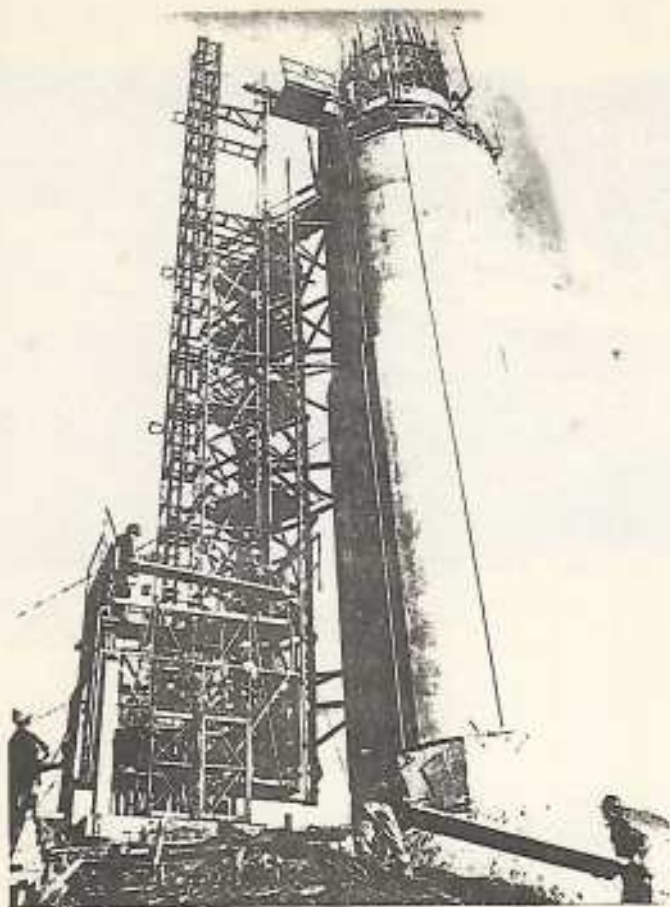


Figura 19

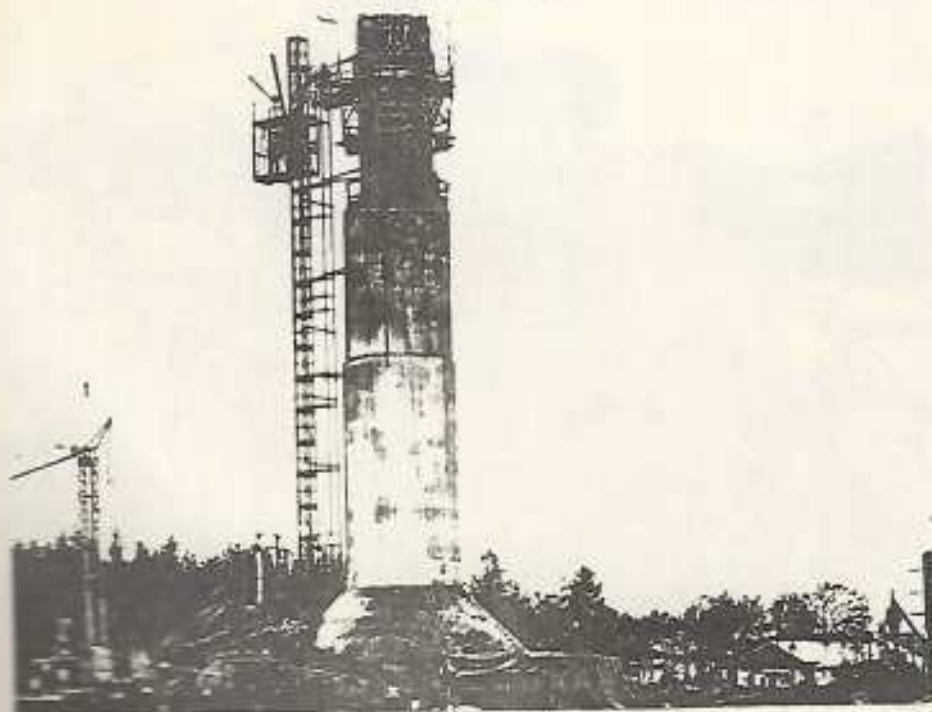


Figura 20

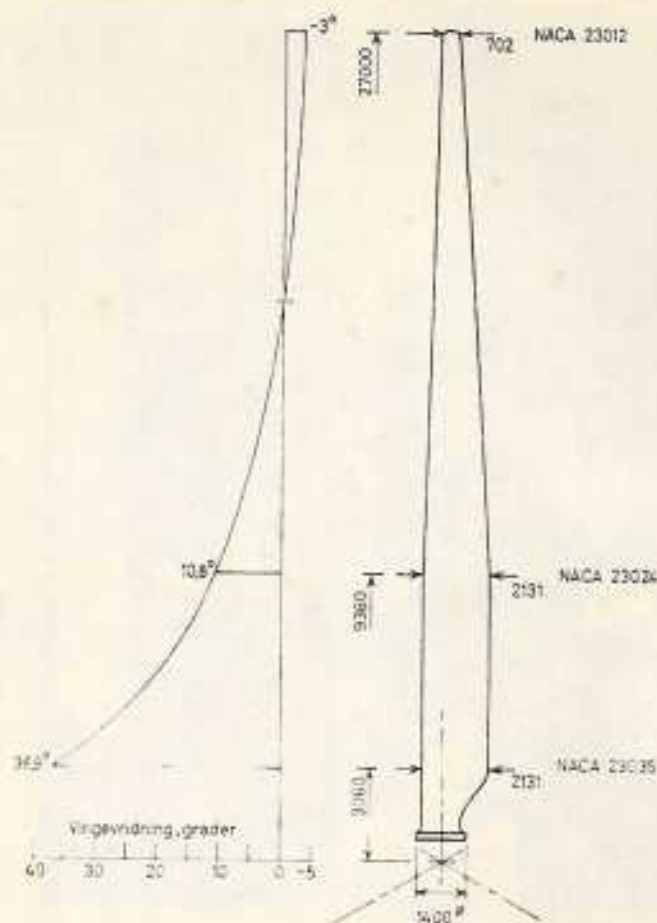


Figura 21

produce electricidad a alto voltaje y frecuencia variable entre 20 v 80 c/seg. Por medio de un transformador en tierra es bajado a 380v y luego convertido a corriente continua. Seguidamente se convierte en alterna de 50 c/seg. y 380v. Parte de la energía eléctrica es consumida localmente mientras el resto de la energía es entregada a la red de distribución luego de ser transformada al alto voltaje. El precio de venta de esta energía es de 2 centavos de dólar el KWh.-

Todo el equipo está supervisado por un sistema de computadoras en tierra y otro en la turbina. El primero controla las operaciones mientras que la sub-computadora instalada sobre el mismo eje de rotación y que gira con él, controla los casos de emergencia. Esta última, actúa automáticamente frente a fallas, como podría ser una baja en el sistema de presión hidráulica.-

#### 6.- UNIVERSIDAD DE STUTTGART

El Dr. Ing. Ulrich Hütter dió un seminario sobre energía eólica en San Miguel, Provincia de Buenos Aires, en Octubre de 1978 y es actualmente Profesor Emeritus en la Universidad de Stuttgart, Alemania.-

Su grupo de trabajo en el Instituto de Investigación y Desarrollo de Estructura y Diseño, está desarrollando avanzados conceptos para la construcción de turbinas eólicas y, en especial, la técnica de fabricación de palas de hélice en material compuesto de fibra de vidrio de elevada resistencia y bajo peso.-



Figura 22

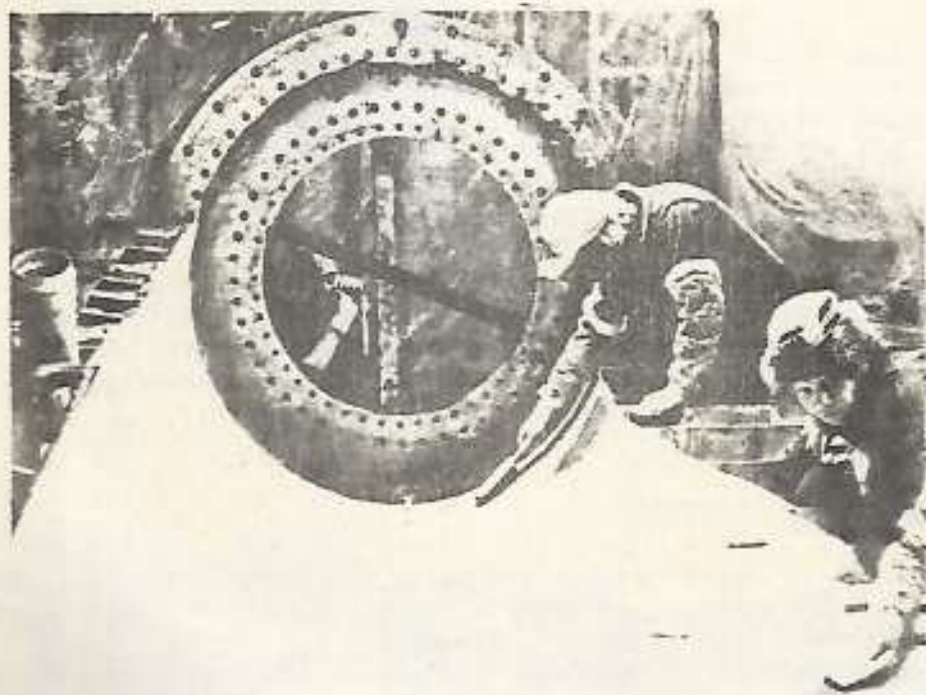


Figura 23

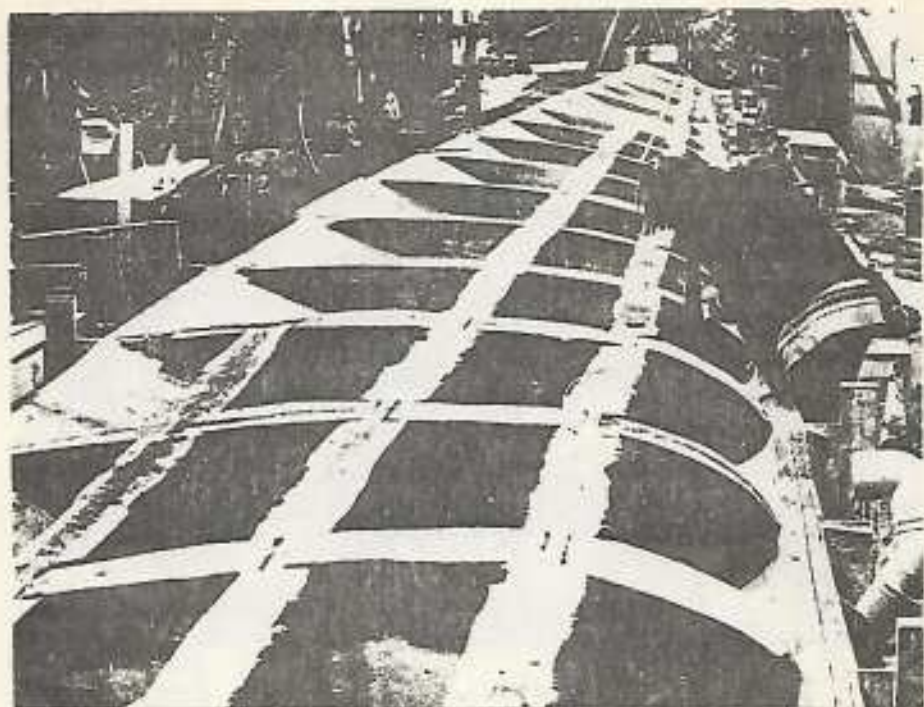


Figura 24

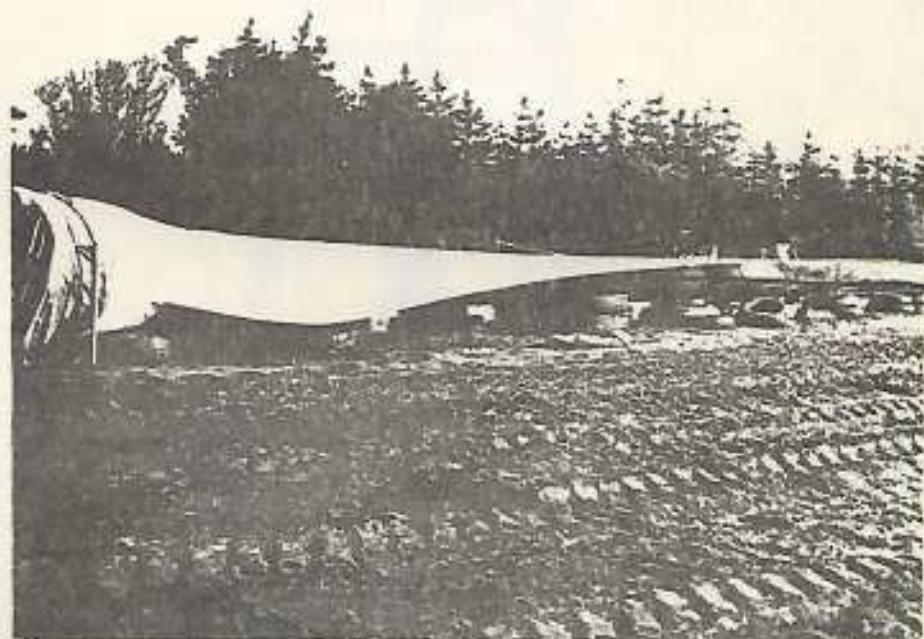


Figura 25

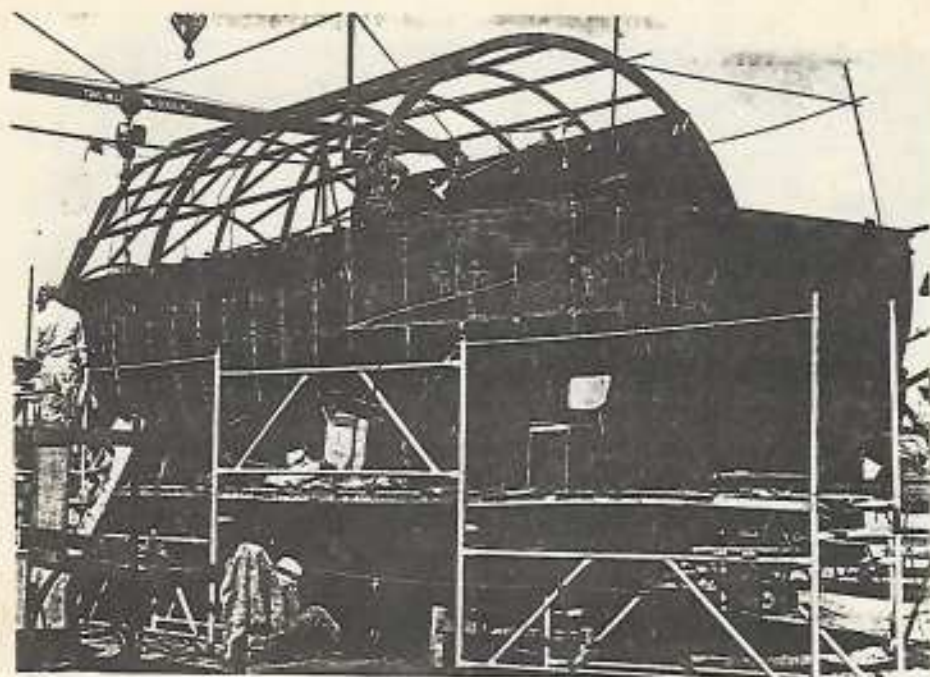


Figura 26



Figura 27



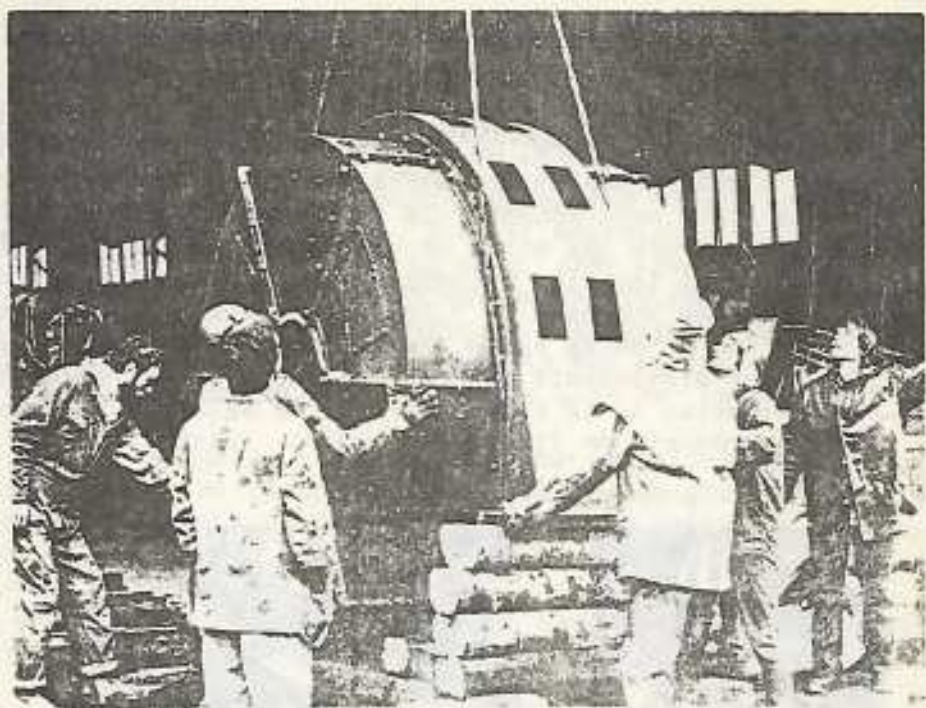


Figura 28



Figura 29

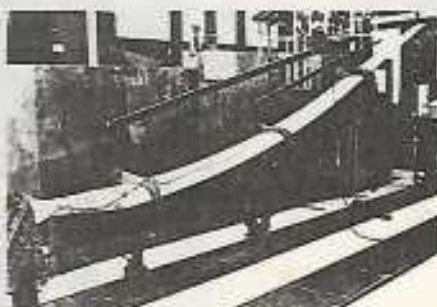
Según el criterio del Dr. Hütter, considera que actualmente no es admisible otra alternativa para la construcción de hélices, que el empleo de materiales compuestos.-

La técnica consiste en la preparación de un modelo positivo en madera, donde la forma del perfil es perfectamente ajustada y con un estado de superficie extremadamente pulido. Sobre éste, se realiza el molde negativo en dos mitades, en tela de vidrio y adhiriendo externamente una estructura metálica. De este modo, el molde queda listo para comenzar la fabricación de la hélice propiamente dicha. Primero se construye una mitad de un espesor de 6 a 7mm (Figura 30a), se coloca el larguero en el interior y luego se realiza la otra mitad.-

La construcción de una pala de 5,5m de longitud insume aproximadamente 60 hs. de trabajo. Una de estas palas, recientemente fabricada, fue ensayada bajo cargas, habiéndose previamente colocado variados strain-gages a partir de la raíz hasta las 3/4 partes de la envergadura de la pala. Las fuerzas fueron aplicadas en 3 puntos, produciendo flexión y torsión. Figura 30b.-



a) Rohbauteilherstellung mit regellosem Strömestrom



b) Rohbauteil im Versuch unter Dreh- und Torsionsbelastung



c) Schnitt durch das Rohbauteil

1 Rohbauteil 2 Holzbohle 3 Tensilelement

Figuras 30a, b y c

El ensayo fue realizado en 4 etapas. Primero se registró la lectura de los strain-gages en posición cero y se comenzó la deformación hasta que el extremo de la pala alcanzó unos 10cm a partir de la posición inicial. Se descargó a cero y se volvió a cargar hasta una deformación de la punta de 20cm. Se repitió el ciclo de descarga y nueva carga, alcanzando 30cm y luego 40cm. En cada caso se registraron las medidas de los strain-gages y simultáneamente se midieron las deformaciones y se grababan en video tpe los eventos que iban ocurriendo.-

Un gran número de turbinas han sido desarrolladas por el Dr. Hütter y su equipo. Una de estas turbinas se encuentra instalada en el techo de uno de los edificios de la Universidad.-

Este aerogenerador es usado como banco de prueba para investigar el comportamiento de ciertas partes. El instrumental de este equipo está instalado en una oficina, desde donde se puede seguir y controlar el funcionamiento del aerogenerador.-

Para estudios particulares, se ha colocado una manivela al pie del aeroge-

nerador, que permite variar el paso de la hélice manualmente.-

También se encuentra en taller una turbina de 2 palas, de 11m de diámetro, donde cada pala de 5,5m pesa 31Kg (la mitad de una similar de acero). El perfil es EX 63-137.-

El eje de la hélice transmite su movimiento por medio de una cadena sumergida en aceite dentro de una caja de fundición de una aleación de aluminio. Este sistema no cuenta con freno y el control de máximo número de revoluciones se efectúa cambiando el paso de la hélice. Todo el mecanismo, con la hélice montada, multiplicador, generador y control de paso, pesa 450Kg. Este equipo estará terminado y probado en 2 años, estimando que su precio de venta sería u\$s 24.000.-

En los diseños de los aerogeneradores de Stuttgart se ha tenido en cuenta muy especialmente, la relación entre la potencia del equipo y la superficie de captación del viento. En general, esta relación debe ser baja a fin de poder captar la mayor energía.-

Un aerogenerador diseñado para operar a una velocidad nominal del viento muy elevada, aparecerá en el diseño como una máquina de gran potencia, pero en realidad estará funcionando a plena carga sólo cuando exista un viento mayor o igual al nominal. De este modo se obtendrá una gran potencia por un reducido número de horas.-

Por otro lado, un aerogenerador diseñado para una baja velocidad nominal, será capaz de extraer poca potencia pero durante un considerable número de horas.-

El óptimo se encontrará para un valor tal que maximice el número de KWh que anualmente podrá extraerse.-

Aproximadamente se estima que para la Patagonia y para una turbina de 20m de diámetro, este óptimo se encuentra entre 250 a 350 watts/m<sup>2</sup>.-

## 7.- AEROWATT (AW)

Aerowatt es una empresa francesa ubicada en la región parisien que cuenta con un personal técnico de 14 personas para los estudios y diseños y luego contrata a talleres particulares para la construcción de los aerogeneradores, manteniendo 2 personas de AW en los talleres, para supervisar los trabajos.-

Aerowatt se encarga especialmente de la fabricación de aerogeneradores para su comercialización, lo cual significa que frecuentemente deba aceptar perder un poco de eficiencia para ganar en facilidad de fabricación. Las palas de la hélice, por ejemplo, son extruidas de una aleación de aluminio, obteniendo un precio de producción de pala muy conveniente; casi el precio del material solamente, pero la pala debe ser recta, de sección constante y sin alabeo. Siendo constante la sección del perfil, su dimensión debe ser capaz de soportar la condición más crítica, la cual se ubica en la raíz de la pala, siendo para el resto sobredimensionada. En el punto de mayor carga, en la raíz de la pala, se han observado algunas fallas por rotura.-

Otra característica de los equipos AW es la solidez de la construcción del sistema de transmisión y la carcasa, debida al tipo de aplicación para la cual han sido diseñados. En general, deben ser instalados en faros y balizas en medio del mar y, por lo tanto, expuestos a un medio altamente corrosivo o en zonas polares con fuertes nevadas o en zonas desérticas con vientos que arrastran arena, donde, además, deben operar una vida útil de 20 años.-

Por ello, el equipo consta de un block externo casi herméticamente cerrado en fundición de aluminio. Este block contiene el multiplicador, el generador y un sistema de escobillas para la transmisión de la electricidad al mástil de

la torre.-

La hélice del aerogenerador es de dos palas de calado variable. El calado de las palas se realiza por regulación centrífuga y las barras de regulación van incorporadas a las palas.-

El regulador comprende asimismo dos tipos de resortes. Figura 31.-

Los resortes de arranque dan a las palas, cuando la máquina está parada, el calado suficiente para que se ponga a girar con vientos muy suaves (1,5 m/s).-

El resorte de regulación, comienza a actuar cuando la máquina alcanza la velocidad de rotación nominal.-

La eficiencia de la regulación de la velocidad de rotación de las hélices, permite que cualquiera que sea la velocidad del viento y la carga de la máquina, la velocidad de ésta se mantiene constante con aproximación de  $\pm 3\%$ , desde 0 a la plena carga.-

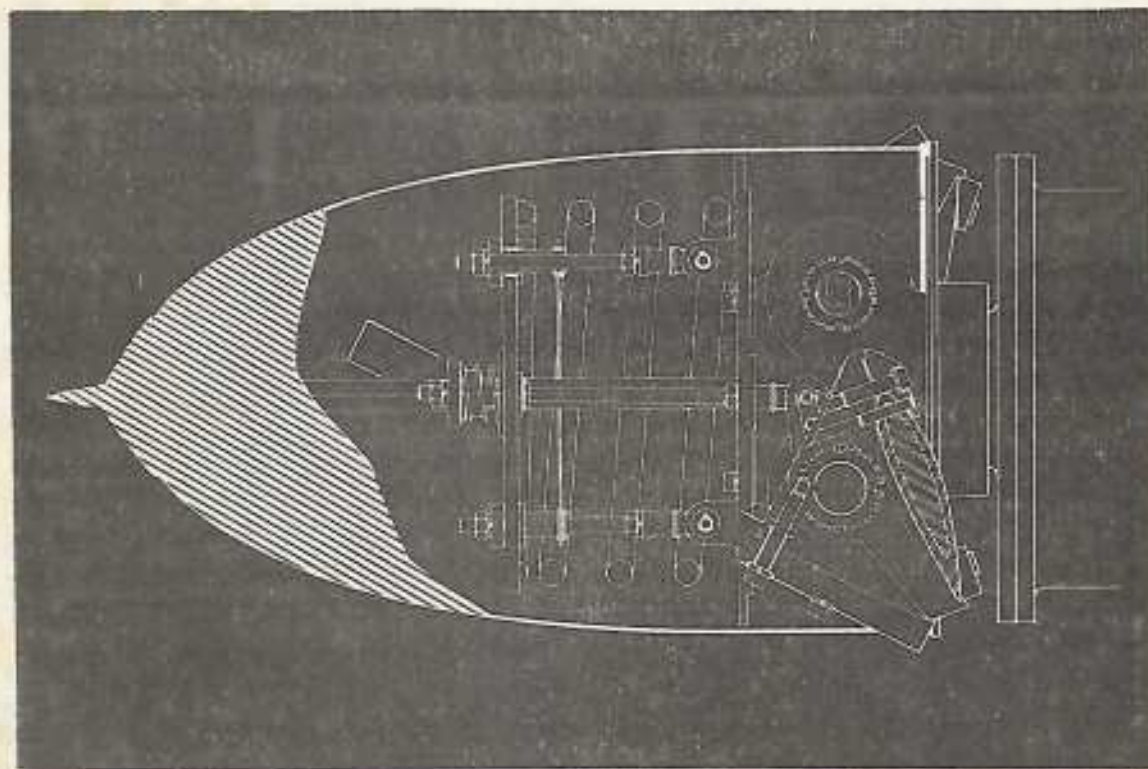


Figura 31

A medida que se acelera, dos masas centrífugas actúan sobre el resorte de regulación y el calaje cambia de modo tal que mantiene constante la potencia nominal.-

Debido al tipo de perfil elegido, un Gottingen 548, la velocidad de pérdida no es abrupta y permite que aún en vientos muy intensos no se necesite colocar el perfil en posición bandera, sino que se mantiene en valores alrededor de la pérdida y continúa girando al número de revoluciones nominales aún en condiciones de vientos muy elevados. Esta solución hace que no se requiera freno y la rotación se regula automáticamente.-

Los aerogeneradores Aerowatt están equipados con alternadores de imanes permanentes.-

Con este tipo de generador se obtienen pérdidas de carga muy bajas, lo que

facilita el arranque y la autoexcitación suprime el colector en el generador.-

En las máquinas más pequeñas, los generadores funcionan directamente acoplados a la hélice. Su velocidad es de 5 a 8 veces inferior a la nominal del alternador.-

Las máquinas medianas poseen un multiplicador mecánico de piñón, con entrada y salida coaxial, estando todo el conjunto bajo una misma carcasa.-

Tienen colocada la hélice delante de la torre y su orientación es obtenida con un timón compuesto por un plano vertical situado en el extremo de una viga orientada hacia arriba, de modo que el timón se sitúe en una corriente no perturbada. Figura 32.-

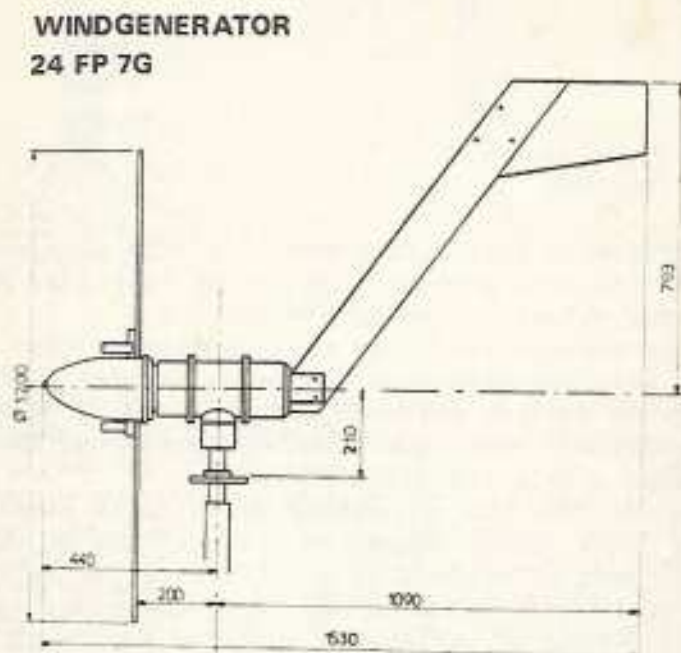


Figura 32

Las dimensiones y la distancia al eje vertical de orientación, se han determinado de modo que la máquina dé la respuesta óptima en caso de cambio brusco de la dirección del viento.-

En lugares donde la variación de la dirección del viento es apreciable, pueden originarse sobre la hélice fuerzas giroscópicas muy intensas. Por esta razón, la cola del timón es articulada sobre una charnela de material plástico, que amortigua el efecto.-

Este tipo de cola es muy simple y confiable, ya que no necesita ninguna transmisión de tipos de engranajes, como en otros equipos y que pueden deteriorarse sus funcionamientos por introducción de arena en los mecanismos. Por otro lado, este sistema permite colocar la hélice delante de la torre y con ello evita el pasaje en la estela de ésta y que es la principal fuente de vibración de las turbinas que operan detrás de la torre.-

En general, la vibración es controlada solamente para la hélice, ya que la torre y los soportes son calculados con bastante margen.-

Aerowatt dispone, para el cálculo, de 3 programas de computación que definen los elementos del aerogenerador a partir de los datos del viento de la zona elegida para la erección del equipo. Estos programas establecen la velocidad má-

xima, que puede ser 30 m/seg para zonas moderadas, 60 m/seg para el caso general y 90 m/seg para casos especiales en zonas ciclónicas.-

AW comercializa una variada gama de aerogeneradores, que se lista a continuación:

<u>Modelo</u>	<u>Diámetro hélice (m)</u>	<u>Velocidad nominal del viento (m/s)</u>	<u>Potencia nominal W</u>	<u>Generador</u>
24 FP7G	1,2	7	30	c. continua
150 FP7G	2	7	150	c. continua
100 FP5G	3,2	5	100	c. continua
300 FP7G	3,2	7	300	c. continua
1200 FP10G	3,2	10	1080	c. alterna
1100 FP7G	5	7	960	c. alterna
1100 FP5G	9,2	5	960	c. alterna
4100 FP7G	9,2	7	4000	c. alterna

Además, posee en avanzado estado de desarrollo otro aerogenerador con un diámetro de la hélice de 18m para generar 100KW a una velocidad nominal del viento de 13 m/s y estiman que su costo será de u\$s 168.000.-

Todos estos modelos son muy similares unos de otros y casi podría decirse que el cambio de tamaño sólo representa un cambio de escala. El modelo básico diseñado hace unos 10 años ha variado muy poco con el tiempo y parece ser muy apropiado para las aplicaciones aisladas, que requieren gran confiabilidad, como son los faros y las estaciones relays radiotelefónicas.-

Los equipos son concebidos con un sistema de baterías para la acumulación de la energía producida y que pueden usarse en los períodos de calma. Para estaciones de alta confiabilidad, el período en que las baterías deben proveer energía se calcula en base al período de calma más largo conocido, agregándole un 50%. Si para la estación considerada se obtiene un excesivo tamaño de baterías, entonces se complementa con un pequeño motogenerador de arranque automático.-

Un equipo de 20KW actualmente en desarrollo, contiene un novedoso sistema eléctrico que consiste en un alternador accionado por la hélice y produce energía alterna para el consumo. Si la energía disponible en la hélice excede el consumo, este excedente es transmitido mecánicamente a una dinamo de corriente continua que alimenta las baterías y, si por el contrario, el viento no produce la energía necesaria, entonces las baterías accionan la dinamo como motor, que se acopla mecánicamente al alternador y éste produce la energía para la línea.-

#### 8.- THE ELECTRICAL RESEARCH ASSOCIATION LTD. (ERA)

ERA es un laboratorio de investigación ubicado a 40Km de Londres. Se ocupa de distintas actividades, entre las que se encuentra la energía eólica. Realiza, fundamentalmente, el diseño básico de los aerogeneradores y contrata luego los trabajos especiales a otras empresas.-

Históricamente, fue pionera de los trabajos en energía del viento, en Inglaterra y su precursor, el Dr. E. W. Golding, alcanzó renombre internacional. Luego de su fallecimiento, las turbinas eólicas perdieron predominio dentro de los trabajos desarrollados en el laboratorio y recién volvieron a crecer con la crisis energética. No obstante este resurgimiento, aún no han logrado alcanzar el nivel de otras épocas.-

Actualmente cuenta con un proyecto de 3,7MW en la etapa de diseño. Figura

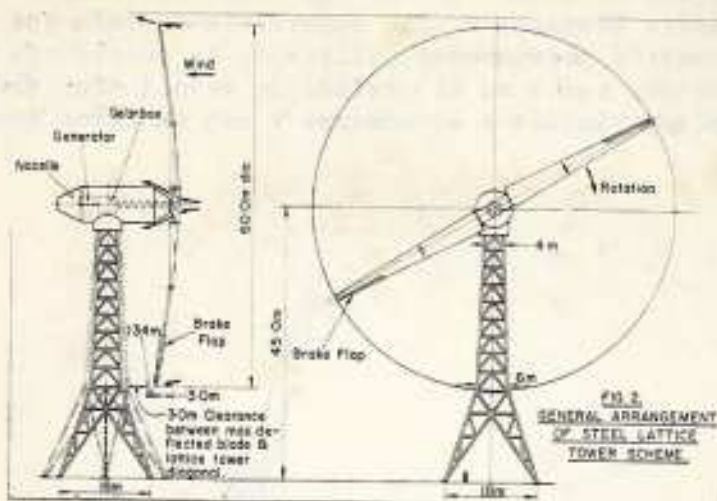


Figura 33

Algunos aspectos son destacables, como la construcción de la hélice en acero, que pesa 40ton, y su sistema de paso fijo, que requiere un análisis particular para evaluar sus performances.-

Principalmente se necesita un buen conocimiento del régimen de vientos de la zona donde será instalado el equipo, para poder determinar la velocidad del viento más frecuente y con esta información, poder definir el paso de la hélice capaz de extraer la mayor cantidad de energía posible.-

Como el paso es fijo, debe contar con frenos para evitar excesivas revoluciones que se originarían con vientos de alta velocidad. El sistema de freno principal actúa aerodinámicamente con alerones tipo flaps, sobre las palas y que actúan cuando el número de revoluciones excede cierto valor. Además, posee un sistema de frenado mecánico, el cual aún no está completamente definido.-

La hélice va colocada enfrentando al viento, evitando así la estela de la torre. Sin embargo, se considera que el pasaje de una pala en la posición vertical inferior, sufrirá un efecto aerodinámico de interacción por proximidad, aún cuando la hélice esté colocada delante de la torre. La orientación con respecto a la dirección del viento, se efectúa electrónicamente.-

La transmisión de la energía se efectúa por medio de un multiplicador de varias etapas en base a engranajes helicoidales, cuya relación de multiplicación es de 40 a 1.-

El generador es asincrónico, considerándolo a éste más simple y más económico.-

Dos tipos de torres son consideradas. Figura 34. Una de ellas es del tipo reticulado de acero y la otra de cemento premoldeado, que podría transportarse hasta el lugar de la instalación y sería armado en el sitio.-

En cuanto a la evaluación de regiones de viento, es interesante mencionar el trabajo que están realizando en las Islas Malvinas, habiendo registrado en Puerto Stanley una media anual de 8,2 m/s y próximamente piensan instalar grandes turbinas para proveer energía a la isla, operando esencialmente como un sistema para ahorrar combustible.-

En lugares apartados suelen usar un sistema elemental para medir velocidad-

des medias de vientos. El método consiste en la instalación en el lugar considerado, de una pequeña bandera de tela de algodón de 20 a 30cm. Esta banderita se deja colocada aproximadamente 1 mes, al cabo del cual es reemplazada por otra nueva. La vieja, se encuentra desgastada y la superficie de tela que queda es medida y comparada con un patrón previamente calibrado. La superficie desgastada es proporcional a la velocidad media en el período de exposición. Este método permite evaluaciones simples, rápidas y económicas y con un error aceptable, del orden del 5 al 10%.-

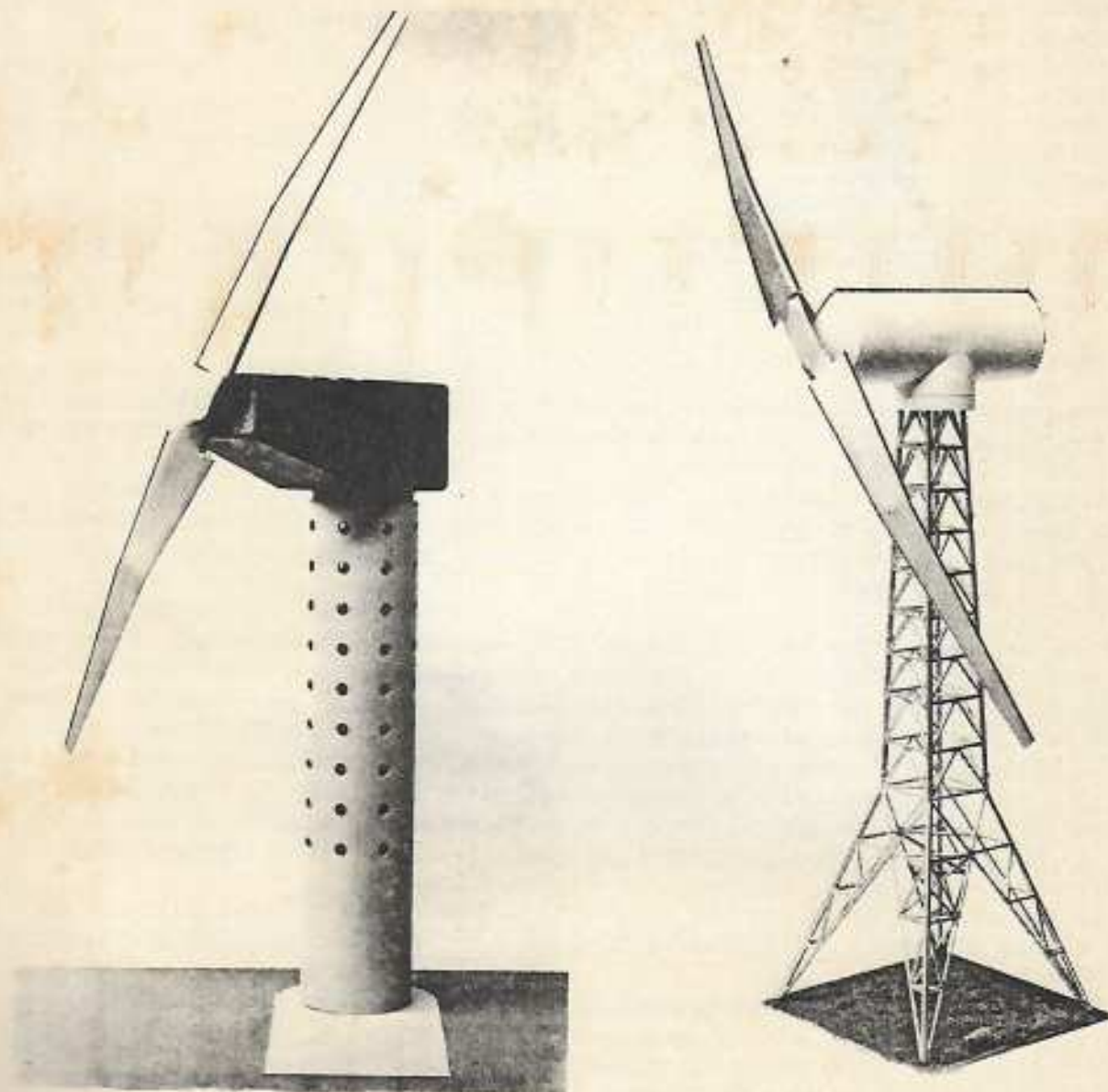


Figura 34

ERA está actualmente organizando un seminario de 4 días en energía eólica, el cual se llevará a cabo en Febrero de 1980, contando con invitar, para conducir el seminario, a especialistas internacionales.-