



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
  
ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 351 317**

(51) Int. Cl.:  
**F03D 1/06** (2006.01)

(12)

### TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **03735483 .4**

(96) Fecha de presentación : **28.05.2003**

(97) Número de publicación de la solicitud: **1514023**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **16.03.2005**

(54) Título: **Instalación de energía eólica.**

(30) Prioridad: **05.06.2002 DE 102 25 136**  
**21.02.2003 DE 103 07 682**

(73) Titular/es: **Aloys Wobben**  
**Argestrasse 19**  
**26607 Aurich, DE**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**03.02.2011**

(72) Inventor/es: **Wobben, Aloys**

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**03.02.2011**

(74) Agente: **López Bravo, Joaquín Ramón**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**Descripción**

La invención se refiere a una pala de rotor de una instalación de energía eólica, así como a una instalación de energía eólica. Como estado de la técnica se remite aquí en general al libro "Windkraftanlagen", Erich Hau, 1996. Este libro contiene algunos ejemplos para instalaciones de energía eólica, palas de rotor de las instalaciones de energía eólica de este tipo, así como secciones transversales de las palas de rotor del estado de la técnica. En la página 102, imagen 5.34, están representados los parámetros geométricos de perfil de unos perfiles aerodinámicos según NACA. Puede verse que la pala de rotor se describe mediante una profundidad de perfil que corresponde a la longitud de la cuerda, una curvatura máxima (o relación de curvatura) como elevación máxima de una mediana sobre la cuerda, una posición de la curvatura máxima, es decir, del lugar respecto a la profundidad de perfil donde está realizada la curvatura máxima a lo largo de la sección transversal de la pala de rotor, un espesor máximo de perfil como diámetro máximo de un círculo inscrito con el centro en la mediana y la posición del espesor máximo, es decir, del lugar respecto a la profundidad de perfil donde la sección transversal de la pala de rotor 10 adopta su espesor máximo de perfil. Para la descripción de la sección transversal de la pala de rotor se usan, además, el radio de talón, así como las coordenadas de perfil de lado inferior y superior. La nomenclatura conocida por el libro de Erich Hau debe mantenerse, entre otras cosas, para la descripción expuesta a continuación de la sección transversal de una pala de rotor 15 para la presente solicitud.

Las palas de rotor deben optimizarse con ayuda de una multitud de aspectos. Por un lado, deben ser silenciosas, por otro lado deben proporcionar también una potencia dinámica máxima, para que la instalación de energía eólica empiece a funcionar ya cuando hay un viento relativamente suave, alcanzándose la velocidad nominal del viento, es decir, la velocidad a la que se alcanza también por primera vez la potencia nominal de la instalación de energía eólica 20 también con velocidades de viento lo más bajas posible. En caso de aumentar más la velocidad de viento, en las instalaciones de energía eólica con regulación por cambio del ángulo de paso (pitch controlled), la pala de rotor se coloca cada vez más de cara al viento de modo que se sigue manteniendo la potencia nominal, aunque se reduzca la superficie de ataque de la pala de rotor orientada hacia el viento para proteger de este modo toda la instalación de energía eólica o sus 25 partes de daños mecánicos. No obstante, es decisivo que las propiedades aerodinámicas de los perfiles de pala de rotor de la pala de rotor de una instalación de energía eólica tengan gran importancia.

En este contexto, se remite a los siguientes documentos como estado de la técnica pertinente en relación con la realización de palas de rotor: US 5,474,425, FR-A-908,631, US-A-35 2,465,007, US-A-4,773,824, EP-A-1184566, US-A-5,417,548, así como US-A-6,068,446. No

obstante, este estado de la técnica no va más allá de lo que ya se ha indicado en la introducción de la descripción como estado general de la técnica.

El objetivo de la presente invención es especificar una pala de rotor con un perfil de pala de rotor o una instalación de energía eólica que presente un mejor rendimiento que el que se ha conseguido hasta la fecha.

El objetivo se consigue según la invención con una instalación de energía eólica con una pala de rotor con las características según la reivindicación 1. En las reivindicaciones subordinadas están descritas variantes ventajosas.

Las coordenadas concretas de un perfil de pala de rotor según la invención se indican en una tabla 1.

A continuación, la invención se explicará con ayuda de varios dibujos. Aquí muestran:

La Figura 1 una vista de una instalación de energía eólica para la explicación de una característica según la invención en una perspectiva frontal;

la Figura 2 una vista de una instalación de energía eólica para la explicación de una característica según la invención en una perspectiva desde atrás y desde un lado;

la Figura 3 la vista lateral de una instalación de energía eólica para explicar una característica según la invención;

la Figura 4-8 vistas de una pala de rotor según la invención desde distintas direcciones;

la Figura 9 una vista a escala ampliada de una instalación de energía eólica según la invención;

la Figura 10 una vista de una pala de rotor según la invención;

las Figuras 11-17, 19 distintas vistas de una instalación de energía eólica según la invención;

la Figura 18 una sección transversal de una pala de rotor según la invención (en la zona cerca del cubo).

El perfil de pala de rotor descrito según la presente invención está realizado en particular en la zona de la pala de rotor dispuesta a continuación de la conexión de la pala de rotor (para la conexión con el cubo). El perfil descrito en la presente solicitud está realizado preferiblemente en el primer tercio de la pala de rotor respecto a la longitud total de la pala de rotor. La longitud total de una pala de rotor puede estar situada aquí perfectamente en el intervalo de 10 m a 70 m, según la potencia nominal que debe tener una instalación de energía eólica. Por ejemplo, la potencia nominal de una instalación de energía eólica de la empresa Enercon del tipo E-112 (diámetro de aprox. 112 m) es de 4,5 MW, la potencia nominal de una instalación de energía eólica de la empresa Enercon del tipo E-30 es, en cambio, de 300 KW.

Para el perfil de la pala de rotor según la invención es especialmente característico que el

espesor máximo del perfil asciende a aprox. el 25 % al 40 %, preferiblemente el 32 % al 36 % de la longitud de la cuerda de la pala de rotor. En la figura 18, el espesor máximo del perfil es de aprox. un 34,6 % de la longitud de la cuerda de la pala de rotor. En la figura 18 está representada una cuerda 1, que se extiende desde el centro 2 del canto posterior 3 de la pala de rotor hasta el punto dispuesto más adelante 4 del talón de la pala de rotor 5. La posición del espesor máximo, es decir, el lugar respecto a la longitud de la pala en el que está realizado el espesor máximo del perfil, asciende a aprox. entre el 20 % al 30 % de la longitud de la cuerda, preferiblemente el 23 % al 28 %, en el ejemplo representado a un 25,9 %. El espesor máximo se determinó perpendicularmente respecto a la cuerda y la posición se refiere al talón de la pala del rotor.

Además, está representada en la línea 18 una llamada mediana 7. Esta mediana resulta respectivamente de medio espesor de la pala de rotor 8 en un punto. Correspondientemente, esta mediana no se extiende en línea recta, sino siempre exactamente entre puntos opuestos en el lado de presión 9 de la pala de rotor 8 y el lado de aspiración 10 de la pala de rotor 8. La mediana corta la cuerda en el canto posterior de la pala de rotor y el talón de la pala de rotor.

La posición de la curvatura máxima en la sección transversal de una pala de rotor según la invención asciende a aproximadamente el 55 % al 70 % de la longitud de la cuerda, con preferencia aproximadamente a entre el 59 % y el 63 %. En el ejemplo representado, la posición de la curvatura máxima asciende a aproximadamente el 61,9 % de la longitud de la cuerda. La curvatura máxima asciende aquí a aproximadamente el 4 % al 8 % de la longitud de la cuerda, con preferencia a aproximadamente a entre el 5 % al 7 % de la longitud de la cuerda. En el ejemplo representado, la curvatura corresponde aproximadamente a un 5,87 % de la longitud de la cuerda.

En el perfil de la pala de rotor según la invención llama especialmente la atención, además, que el lado de presión de la pala de rotor "corta" la cuerda dos veces, por lo que el lado de presión del perfil está realizado de forma cóncava en esta zona, mientras que en la zona delantera del perfil, el lado de presión está realizado de forma convexa. En la zona en la que el lado de presión está realizado de forma cóncava, ésta está delimitada en la zona correspondiente opuesta del lado de aspiración casi en línea recta.

Puede haberse conocido perfectamente la posibilidad de realizar el lado de presión con una curvatura cóncava o proveer el lado de aspiración de una limitación en línea recta, pero es en particular la combinación de las dos medidas lo que tiene gran importancia para el perfil de una pala de rotor según la invención, siendo la misma característico para el perfil de la pala de rotor según la invención.

También el canto posterior de la pala de rotor del perfil representado presenta un espesor extremadamente grande. No obstante, esto no es problemático respecto a la generación de

sonido en el canto posterior de la pala de rotor, porque el perfil representado se encuentra en el tercio interior del círculo recorrido por el rotor no siendo muy elevada allí la velocidad en la trayectoria.

Las coordenadas x-y del perfil representado en la Figura 18 se indican en la tabla 1,  
5 describiéndose así exactamente el perfil de la pala de rotor según la invención.

Para mejorar la forma aerodinámica de la pala de rotor, la misma está realizada en la zona de la raíz de la pala de rotor de tal modo que presenta allí su anchura máxima, representando la pala de rotor, por lo tanto, una forma trapezoidal (en la vista en planta desde arriba) aproximada más o menos a la forma aerodinámica óptima. En la zona de la raíz de la pala  
10 de rotor, la pala de rotor está realizada preferiblemente de tal modo que el canto de la raíz de la pala de rotor orientado hacia la góndola de una instalación de energía eólica está adaptado al contorno exterior de la góndola en al menos una posición angular, estando adaptado p.ej. de tal modo que entre la góndola y el canto de la raíz de la pala de rotor orientado hacia la instalación  
15 de energía eólica y el contorno exterior de la góndola existe una distancia muy reducida, p.ej. una distancia entre aproximadamente 5 mm y 100 mm, cuando la pala de rotor está en la posición nominal respecto al viento.

En una pala de rotor con las propiedades anteriormente indicadas ha resultado un aumento de potencia significantemente más elevado, en parte de hasta un 10 %. Gracias a este aumento de la potencia no predecible, una instalación de energía eólica según la invención  
20 alcanza una potencia más elevada con una velocidad de viento dada por debajo de la velocidad nominal de viento. Además, alcanza su potencia nominal antes que hasta la fecha. De forma correspondiente, las palas de rotor también pueden girarse antes (cambio del ángulo de paso), por lo que, por un lado, baja la emisión de sonido y, por otro lado, la carga mecánica de la instalación.

La invención se basa en el conocimiento de que, si bien la forma de pala de rotor actualmente habitual se analiza con distintas velocidades de viento, se analiza en cambio siempre con un flujo de aire uniforme. No obstante, puesto que el viento en la naturaleza sólo en muy pocos casos sopla de forma uniforme en la superficie estando sometido, por lo contrario, a una regularidad estocástica, en las palas de rotor conocidas, como consecuencia de las ráfagas,  
25 se produce una separación del flujo justamente en la zona interior de la pala cerca del cubo del rotor, donde la pala justamente ya no está realizada de forma aerodinámicamente limpia y óptima. Esta separación del flujo prosigue en dirección a la zona exterior de la pala de rotor (punta de la pala de rotor) un tramo a lo largo de la pala de rotor. De este modo puede separarse el flujo de la pala de rotor en una zona en forma de burbuja conduciendo así a pérdidas  
30 correspondientes de la potencia. En la invención y considerándose la situación de partida

anteriormente descrita puede conseguirse, por lo tanto, un aumento considerable de la potencia gracias a una pala de rotor realizada de forma limpia también en la zona interior de la pala de rotor.

Si se usara ahora un perfil estándar conocido en lugar del perfil propuesto en la presente solicitud, determinado de forma empírica, para una realización aerodinámicamente limpia de la pala de rotor se necesitaría aproximadamente dos veces la profundidad de perfil (esto corresponde a la longitud de la cuerda de la pala de rotor) en la zona inferior de la pala de rotor (zona cerca del cubo). No obstante, para una absorción de carga segura y para alcanzar un coeficiente de sustentación  $C_A$  superior a 2, se necesita el gran espesor del perfil en la zona delantera.

Como es conocido por el estado de la técnica, hoy día se construyen por lo general palas de rotor que presentan en la zona interior un máximo ahorro de material. Ejemplos típicos de ello se indican en el estado de la técnica ya anteriormente mencionado según "Windkraftanlagen", Erich Hau, 1996, en las páginas 114 y 115. Allí puede verse que la profundidad máxima del perfil se alcanza siempre a una distancia determinada de la conexión de pala de rotor, es decir, en la zona cerca de la conexión de pala de rotor, ahorrándose material en estas palas de rotor según el estado de la técnica. Si se usa, no obstante, una forma óptima aproximada a la forma trapecial en una vista en planta desde arriba, la anchura máxima de una pala de rotor no está realizada a una distancia de la conexión de la pala de rotor sino precisamente en la zona de la conexión de la pala de rotor propiamente dicha. Por lo tanto, en este caso no se ahorra el máximo de material posible en la zona interior de las palas de rotor.

El motivo del ahorro de material que se ha realizado hasta ahora está en la consideración estática de las condiciones del flujo (como anteriormente descrito) al calcular/desarrollar las palas de rotor. Además, los programas de cálculo habituales para palas de rotor dividen la pala de rotor en tramos individuales y calculan cada tramo de pala por separado, para derivar de ello la valoración para toda la pala de rotor.

No obstante, la realidad es diferente. Por un lado, el viento no sopla de forma uniforme y estática en una zona de superficie determinada sino que muestra claramente un comportamiento estocástico; por otro lado, la influencia de la velocidad de viento es considerable debido a la velocidad circunferencial baja de la pala de rotor en la zona interior (es decir, en la zona cerca del cubo del rotor), por lo que el ángulo de ataque cambia en esta zona dependiendo en gran medida de la velocidad momentánea del viento. A consecuencia de ello se produce en un número de casos correspondientemente elevado una separación del flujo de la pala de rotor, también en la zona interior de la pala de rotor.

En un caso de este tipo actúa una histéresis. Al volver a producirse la velocidad de viento

anterior, p.ej. cuando ha terminado una ráfaga, el flujo no vuelve a adherirse inmediatamente de nuevo a la pala de rotor. Por lo contrario, la velocidad de viento debe seguir bajando en primer lugar (es decir, debe seguir cambiando el ángulo de ataque), hasta que el flujo vuelva a adherirse a la superficie de la pala de rotor. No obstante, si la velocidad de viento no sigue bajando, puede 5 ocurrir perfectamente que a pesar de haber viento, se ejerza durante un período de tiempo relativamente largo una fuerza relevante sobre la pala de rotor, porque el flujo aún no ha vuelto a adherirse a la superficie de la pala de rotor.

Gracias a la realización según la invención de la pala de rotor, se reduce claramente el peligro de una separación del flujo. Este peligro de separación se reduce también gracias al perfil 10 de un espesor relativamente grande. El aumento de potencia considerable también puede explicarse bien porque, gracias a la acción de la histéresis, cuando el flujo ha llegado a separarse, las pérdidas de potencia se mantienen durante un período de tiempo considerable (en el caso de palas de rotor según el estado de la técnica).

Otra parte del aumento de potencia puede explicarse porque también el viento aprovecha 15 el camino de la resistencia mínima. Es decir, si la pala de rotor tiene un espesor muy reducido en la zona interior cerca del cubo (gran ahorro de material), esto equivale a un “refugio” en la superficie de recepción del círculo recorrido por el rotor, por el que el aire fluye con preferencia. También aquí puede detectarse perfectamente un punto débil de los programas habituales de cálculo, que parten siempre de una distribución uniforme a lo largo de la superficie circular 20 recorrida por el rotor.

Si ahora se “cierra” este “refugio” mediante la realización trapecial de la pala de rotor en la zona cerca del cubo, se ajustará una mejor distribución del flujo de aire a lo largo de toda la superficie circular aumentándose con ello también la acción sobre la zona exterior de la pala de rotor. Por lo tanto, el “cierre” de este “refugio” contribuye a un mayor rendimiento de la pala de 25 rotor según la invención.

Aquí está otro punto débil de los programas habituales de cálculo, puesto que éstos consideran también el tramo de la pala de rotor directamente adyacente al “refugio” como tramo de pleno valor de la pala de rotor, aunque no puede funcionar como tal por las condiciones especiales de flujo (frecuentes separaciones del flujo y recuperación posterior de las condiciones 30 de flujo previstas).

Las Figuras 11 a 17 muestran una vista frontal o lateral de una instalación de energía eólica según la invención. Aquí puede verse como las tres palas de rotor se convierten en la zona cerca del cubo casi sin ruptura en la configuración exterior de la góndola. No obstante, esto sólo es válido para la posición de las palas de rotor cuando éstas se encuentran en la posición 35 nominal respecto al viento.

Cuando el viento aumenta posteriormente sobre pasando el viento nominal, las palas de rotor se retiran lentamente del viento mediante cambio del ángulo de paso (regulación pitch) y la Figura 15 muestra que en este caso puede existir perfectamente una distancia más grande entre el canto inferior de la pala de rotor en la zona interior y la góndola. No obstante, la Figura 15  
5 muestra también que en el lado exterior de la góndola está realizada una estructura, cuya sección transversal corresponde en gran medida al perfil de la pala de rotor en la zona cerca del cubo, y que cuando la pala de rotor presenta un ángulo de ataque que corresponde a la velocidad nominal está dispuesta directamente por debajo de la pala de rotor, de modo que en la zona cerca del cubo sólo está realizada una pequeña rendija entre la estructura y la pala de rotor.

10 Por lo tanto, también el contorno exterior de la góndola contiene una parte de la pala de rotor que no forma parte integrante de la pala de rotor.

En el perfil de pala de rotor representado en la Figura 18, el radio de talón corresponde aproximadamente a 0,146 de la profundidad de perfil.

Como puede verse en la Figura 18, en el lado de aspiración está realizada una zona  
15 relativamente larga que se extiende casi en línea recta. Ésta puede describirse, por ejemplo, de la siguiente manera: En el intervalo del 38 % al 100 % de la profundidad de perfil, el radio asciende a 1,19 veces la longitud de la profundidad de perfil. En el intervalo del 40 % al 85 % de la profundidad de perfil (véase la Figura 18), el radio es aproximadamente 2,44 multiplicado por la profundidad de perfil. En el intervalo del 42 % al 45 % de la profundidad de perfil, el radio asciende a aproximadamente 5,56 de la profundidad de perfil.  
20

En el intervalo del 36 % al 100 % de la profundidad de perfil, la desviación máxima de la recta ideal es aproximadamente 0,012 de la longitud del perfil. Este valor es el valor determinante, puesto que el radio de la curvatura varía indicándose el radio máximo de curvatura ya en los intervalos correspondientes.

25 En el ejemplo representado, la longitud del lado de aspiración asciende aproximadamente a 1,124 la longitud de la profundidad de perfil; la longitud del lado de presión asciende a 1,112 la longitud de la profundidad de perfil. Esto significa que el lado de aspiración sólo tiene una longitud insignificantemente superior al lado de presión. Por lo tanto, es muy ventajoso que la relación entre la longitud del lado de aspiración y la longitud del lado de presión sea inferior a 1,2, preferiblemente inferior a 1,1 o que esté situada en un intervalo de valores entre 1 y 1,03.

30 En las Figuras representadas puede verse que la pala de rotor presenta su profundidad máxima de perfil directamente en el casquete (spinner), es decir, en el lado exterior de la góndola de la instalación de energía eólica. En una instalación de energía eólica con un diámetro de rotor de 30 m, la profundidad de perfil en el casquete puede ser, por ejemplo, de aproximadamente 1,8 a 1,9, preferiblemente de 1,84 m. Si el casquete presenta por ejemplo un diámetro de 3,2 m, la

relación entre la profundidad de perfil de la pala de rotor en el casquete y el diámetro del casquete es de aproximadamente 0,575. Por lo tanto, es muy ventajoso que la relación entre la profundidad de perfil y el diámetro del casquete sea superior a un valor de 0,4 o esté situada en un intervalo de valores entre 0,5 y 1. Puede adoptarse cualquier valor del intervalo de valores 5 anteriormente indicado. En el ejemplo anteriormente indicado, la relación entre la profundidad de perfil y el diámetro del otro es de aproximadamente 0,061. Es evidente que, por lo tanto, el “refugio” resulta lo más pequeño posible cuando la relación entre la profundidad de perfil y el diámetro del rotor es superior a un valor entre 0,05 y 0,01, habiendo resultado ser sumamente favorable el valor indicado a título de ejemplo en cuanto al rendimiento de la pala de rotor.

10 Otro ejemplo puede ser una pala de rotor con la sección transversal de perfil representada en la Figura 18 en el primer tercio, siendo la profundidad de perfil en el casquete aproximadamente de 4,35 m, el diámetro del casquete de 5,4 m y el diámetro total del rotor de 71 m. En este caso, la relación entre la profundidad de perfil y el diámetro del casquete es de 0,806 y la relación entre la profundidad de perfil y el diámetro del rotor es nuevamente 0,061. Los 15 valores anteriormente indicados se refieren a un rotor de tres palas con cambio de ángulo de paso

Como se ha descrito anteriormente, en la pala de rotor según la invención, el punto más ancho (el punto con la profundidad de perfil máxima) de la pala de rotor puede estar realizado directamente en la zona de la conexión de la pala. La conexión de la pala es la zona en la que la 20 pala de rotor se conecta (se une, atornilla, etc.) con el cubo de la instalación de energía eólica. Además, el canto inferior de la pala de rotor, es decir, el canto orientado hacia la góndola de la instalación de energía eólica, sigue o se adapta en la mayor medida posible al contorno exterior de la góndola visto en la dirección longitudinal. Por lo tanto, aquí una pala de rotor, cuando se encuentra en la posición en bandera (prácticamente no queda superficie orientada cara al viento), 25 está situada paralelamente al canto inferior orientado hacia la góndola y la distancia entre el canto inferior y el contorno exterior de la góndola es mínima, preferiblemente inferior a 50 cm o, aún mejor, inferior a 20 cm.

Si ahora esta pala de rotor se orienta al viento, tiene una superficie máxima, también en la zona muy cerca de la pala de rotor (el refugio es muy reducido). El estado de técnica citado de 30 Erich Hau muestra que la pala de rotor se reduce en el estado de la técnica por lo general en la zona cerca del cubo (allí, las palas de rotor son menos anchas que en su punto más ancho), encontrándose, por lo contrario, en la pala de rotor según la invención el punto más ancho precisamente en la zona cerca del cubo, de modo que también allí puede aprovecharse el potencial de viento en la mayor medida posible.

35 Es conocido que precisamente en el caso de palas de rotor muy grandes hay una anchura

de pala de rotor muy grande en la zona cerca del cubo. Para que también sea posible un transporte de las palas de rotor de este tipo (en la zona cerca del cubo, la anchura de la pala de rotor puede medir en el caso de palas de rotor grandes, es decir, palas de rotor con una longitud superior a 30 m, perfectamente 5 m a 8 m), la pala de rotor está realizada en dos partes, estando separadas las dos partes durante el transporte y pudiendo ensamblarse las mismas después del transporte. Para ello, las dos partes se unen entre sí en el momento de la instalación en la instalación de energía eólica, por ejemplo mediante uniones atornilladas y uniones no separables (pegado). En particular cuando se trata de palas de rotor grandes, esto no constituye ningún problema, puesto que, gracias a su tamaño, las palas de rotor también son accesibles desde el interior para el ensamblaje, de modo que hacia fuera aparece una pala de rotor uniforme no pudiendo verse apenas o de ninguna manera líneas de separación en las partes ensambladas.

Como muestran primeras mediciones, con el diseño de la pala de rotor según la invención puede aumentarse claramente el rendimiento en comparación con las palas de rotor realizadas hasta la fecha.

Como puede verse en las Figuras 1 a 17, en una instalación de energía eólica 1 según la invención, las palas de rotor están realizadas de tal modo que presentan su espesor máximo de perfil en la zona cerca del cubo, además de haberse acercado las palas de rotor a lo largo de todo su perfil en la zona cerca del cubo mucho al revestimiento de la góndola (spinner) de la sala de máquinas de la instalación de energía eólica. Por lo tanto, al menos para la posición en la que la pala de rotor adopta un ángulo que se adopta para velocidades de viento hasta la velocidad nominal de viento, resulta una distancia muy reducida al revestimiento de góndola. Mientras que en la representación de, por ejemplo, las Figuras 1, 2 y 3, que sirven para ilustrar la profundidad de perfil, las palas de rotor se han acercado mucho al revestimiento exterior de la góndola, también con su parte de perfil posterior, en una realización como está representada, por ejemplo, en las Figuras 11 a 17, el propio revestimiento exterior de la góndola está provisto de una parte de la pala de rotor 30, aunque ésta no forma parte integrante de la pala de rotor en su conjunto. En particular, en las Figuras 15 y 17 puede verse bien que la parte de pala de rotor realizada en el lado exterior de la góndola es fija y está dispuesta en un ángulo que corresponde a la posición angular de una pala de rotor hasta la velocidad nominal del viento, de modo que al menos cuando hay velocidades de viento hasta el viento nominal existe una rendija mínima entre el canto inferior de la pala de rotor, también en la zona posterior de la profundidad de perfil, y la góndola.

También en la Figura 19 puede verse bien que gracias a la realización según la invención de las palas de rotor en el centro del rotor sólo existe un "refugio" muy pequeño para el viento.

La Figura 18 muestra la sección transversal de una pala de rotor según la invención

según la línea A-A en la Figura 17, es decir, el perfil de la pala de rotor en la zona cerca del cubo.

La Figura 17 indica también lo que ha de entenderse por el diámetro D del casquete.

El diámetro del rotor queda determinado por el diámetro de la superficie circular recorrida por el rotor al girar.

Como puede verse en la Figura 15 y en otras Figuras, la parte 30 de la pala de rotor que no forma parte integrante de la pala de rotor giratoria, forma parte integrante del revestimiento exterior de la góndola. La parte correspondiente puede estar fijada en la góndola mediante tornillos o también puede estar unida a la góndola en una pieza o puede estar pegada en la misma.

10

Tabla 1

x	y	x	Y
1,000000	0,031442	0,000197	-0,007376
0,983794	0,020294	0,000703	-0,013612
0,958357	0,030412	0,001550	-0,019816
0,930883	0,040357	0,002704	-0,025999
0,899462	0,050865	0,004080	-0,032162
0,883452	0,062358	0,005649	-0,038281
0,823890	0,074531	0,007477	-0,044316
0,731816	0,086987	0,009639	-0,050245
0,737837	0,099513	0,012124	-0,056078
0,692331	0,111993	0,014883	-0,061829
0,645363	0,124434	0,017905	-0,067491
0,597614	0,136709	0,021204	-0,073045
0,549483	0,148731	0,024179	-0,078485
0,503007	0,160228	0,028618	-0,083809
0,461036	0,170758	0,032721	-0,089004
0,425769	0,179639	0,037087	-0,094082
0,397598	0,186588	0,041711	-0,098973
0,374996	0,191889	0,046594	-0,103723
0,356186	0,195840	0,051740	-0,108301
0,339750	0,198668	0,057150	-0,112695
0,324740	0,200524	0,062824	-0,116697
0,310542	0,201512	0,068769	-0,120893
0,296731	0,201704	0,074991	-0,124669
0,282999	0,201174	0,081500	-0,128219

0,269154	0,200007	0,088310	-0,131521
0,255115	0,198267	0,095450	-0,134551
0,240876	0,195985	0,102955	-0,137294
0,226479	0,193185	0,110872	-0,139735
0,212006	0,189892	0,119262	-0,141872
0,197571	0,186146	0,128192	-0,143724
9,183315	0,181995	0,137734	-0,145316
0,169384	0,177505	0,147962	-0,146867
0,155924	0,172745	0,158934	-0,147800
0,143051	0,167780	0,170663	-0,148727
0,130850	0,162675	0,183108	-0,149431
0,119369	0,157478	0,196155	-0,149877
0,108625	0,152229	0,209657	-0,150001
0,098610	0,146953	0,223475	-0,149715
0,089297	0,141664	0,237539	-0,148932
0,080853	0,136362	0,251855	-0,147579
0,072636	0,131036	0,266497	-0,145597
0,065201	0,126579	0,251578	-0,142949
0,058312	0,120269	0,297206	-0,139628
0,051931	0,114786	0,313400	-0,135651
0,046015	0,109229	0,330068	-0,131016
0,040531	0,103598	0,347173	-0,125692
0,035457	0,097893	0,364627	-0,119588
0,030772	0,092113	0,392602	-0,112537
0,026461	0,086262	0,401480	-0,104293
0,022520	0,080332	0,421912	-0,094548
0,018937	0,074321	0,444568	-0,083182
0,015688	0,068240	0,468376	-0,071217
0,012771	0,062095	0,491608	-0,060017
0,010196	0,055878	0,514034	-0,049898
0,007926	0,049601	0,535806	-0,040854
0,005911	0,043296	0,557225	-0,032760
0,004184	0,036989	0,578580	-0,025495
0,002755	9,030661	0,600131	-0,018956
0,001709	0,024300	0,622095	-0,013059

12

0,000953	0,017915	0,644620	-0,001755
0,000415	0,011534	0,667811	-0,003015
0,000088	0,005186	0,691690	0,001179
0,000000	0,000000	0,716104	0,004827
		0,740707	0,007908
		0,764985	0,010392
		0,788448	0,012236
		0,810817	0,013425
		0,832004	0,013957
		0,852100	0,013834
		0,871284	0,013058
		0,889797	0,011606
		0,907926	0,009441
		0,925997	0,006502
		0,944381	0,002701
		0,963552	-0,002134
		0,984409	-0,008335
		1,000000	-0,013442

## **REIVINDICACIONES**

- 1.- Instalación de energía eólica con al menos una pala de rotor que está montada en un cubo de rotor, así como un revestimiento de cubo, caracterizada porque en el lado exterior del revestimiento del cubo está realizada una parte de la al menos una pala de rotor que está fijamente unida al revestimiento del cubo, pero que no es una parte integrante de la pala de rotor de la instalación de energía eólica.
- 5 2.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 1, caracterizada porque la pala de rotor tiene una posición de espesor máximo aproximadamente en el intervalo entre el 15 % y el 10 40 %, con preferencia en el intervalo de aproximadamente el 23 % al 28 %, ascendiendo el espesor máximo del perfil a aproximadamente el 20 % al 45 %, con preferencia aproximadamente el 32 % al 36 %.
- 15 3.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 1 ó 2, caracterizada porque la sección transversal de la pala de rotor está descrita por una mediana, cuya curvatura máxima está situada en un intervalo de 50º a 70º, con preferencia aproximadamente en el intervalo de 60º a 65º.
- 20 4.- Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la curvatura máxima de la pala de rotor mide aproximadamente del 3 % al 10 %, con preferencia aproximadamente del 4 % al 7 %.
- 5.- Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque esta sección transversal está realizada preferiblemente en el tercio inferior de la pala de rotor, que está dispuesto a continuación de la conexión de la pala de rotor.
- 25 6.- Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la pala de rotor presenta un lado de presión y un lado de aspiración, presentando el lado de presión una parte con una curvatura cóncava y porque en el lado de aspiración está realizado un tramo que se extiende casi en línea recta.
- 7.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 6, caracterizada porque el perfil de la parte de la pala de rotor que está realizado en el revestimiento del cubo corresponde sustancialmente al perfil de la pala de rotor en la zona cerca del cubo.
- 30 8.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 7, caracterizada porque la parte de la pala de rotor que está realizada en el revestimiento del cubo es fija y está orientada sustancialmente de modo que, cuando la pala de rotor está en una posición que corresponde a la velocidad nominal del viento, por debajo de la velocidad nominal del viento se sitúa directamente por debajo de la zona de la pala de rotor cerca del cubo de la instalación de energía eólica.
- 35 9.- Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones anteriores,

caracterizada porque la instalación de energía eólica presenta un rotor que aloja al menos una pala de rotor, que en la zona del cubo de la pala de rotor presenta su profundidad máxima de perfil, adoptando la relación entre la profundidad de perfil y el diámetro del rotor un valor que está situado en el intervalo de aproximadamente 0,04 a 0,1, con preferencia aproximadamente un 5 valor de 0,055 a 0,07, p.ej. 0,061.

10.- Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la instalación de energía eólica presenta una sala de máquinas que aloja un generador y un rotor conectado con el generador, conteniendo el rotor al menos dos palas de rotor, presentando el rotor un cubo que está provisto de un revestimiento, casquete, presentando 10 la relación entre la profundidad de perfil de una pala de rotor y el diámetro del casquete un valor que es superior a 0,4, estando situado preferiblemente en un intervalo de 0,5 a 1.

15.- Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la instalación de energía eólica presenta un rotor, que presenta preferiblemente más de una pala de rotor, presentando la pala de rotor una forma trapezial aproximada más o menos a la forma aerodinámica óptima y presentando la pala de rotor su anchura máxima en la zona de la raíz de la pala de rotor y estando realizado el canto de la raíz de la pala de rotor orientado hacia la góndola de la instalación de energía eólica de tal modo que la extensión del canto está adaptada sustancialmente al contorno exterior de la góndola visto en la dirección longitudinal.

20 12.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 11, caracterizada porque el canto inferior orientado hacia la góndola de la pala de rotor es casi paralelo al contorno exterior de la góndola en la zona de raíz al girar la pala de rotor a la posición en bandera.

25 13.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 12, caracterizada porque la distancia entre el canto orientado hacia la góndola inferior de la pala de rotor y el contorno exterior de la góndola en la posición en bandera es inferior a 50 cm, preferiblemente inferior a 20 cm.

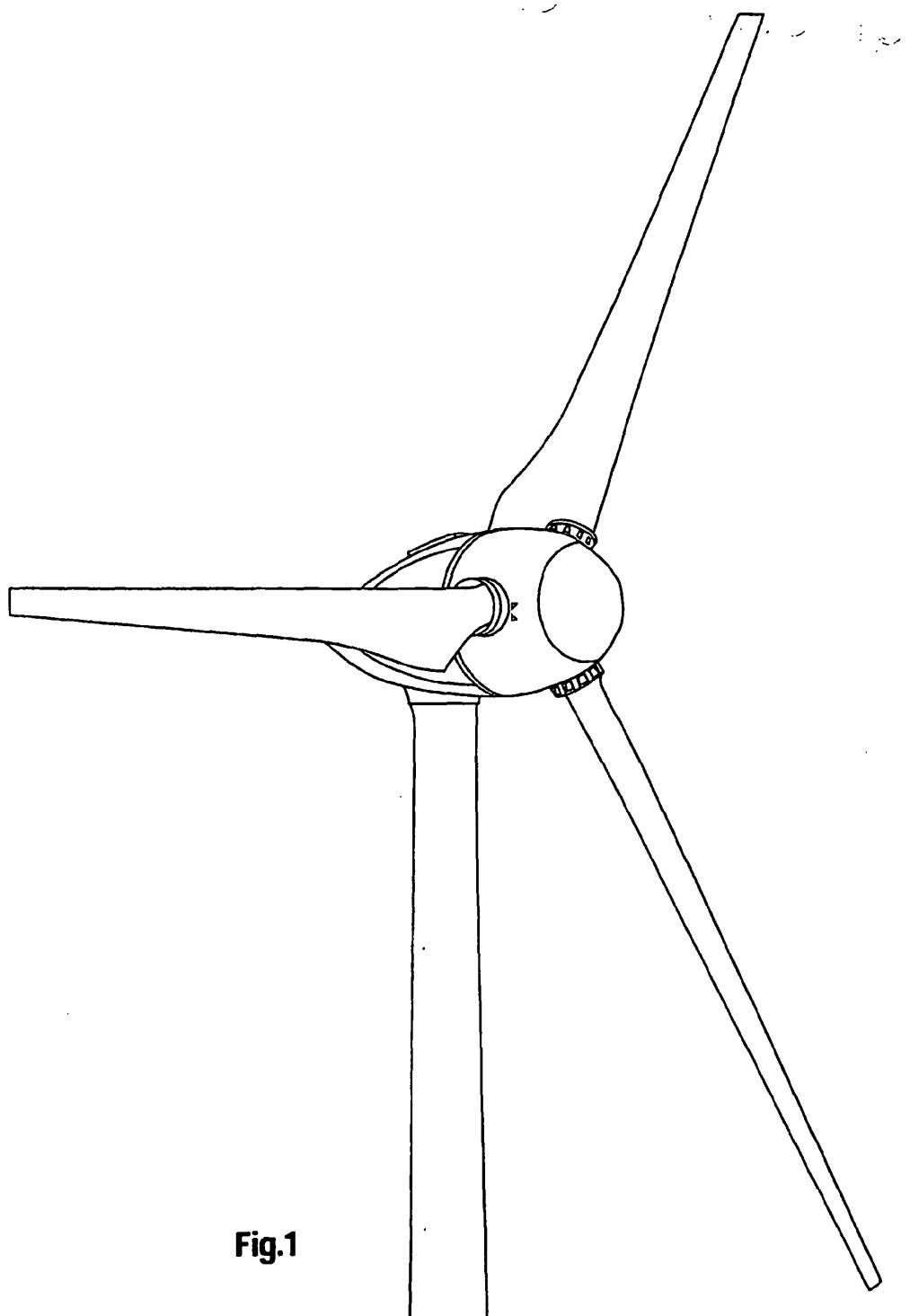
14.- Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque en la zona de la raíz, la pala de rotor está inclinada saliendo del plano principal de la pala.

30 15.- Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la pala de rotor está realizada en dos partes en la zona de la raíz, estando realizada una línea de separación orientada en la dirección longitudinal de la pala de rotor.

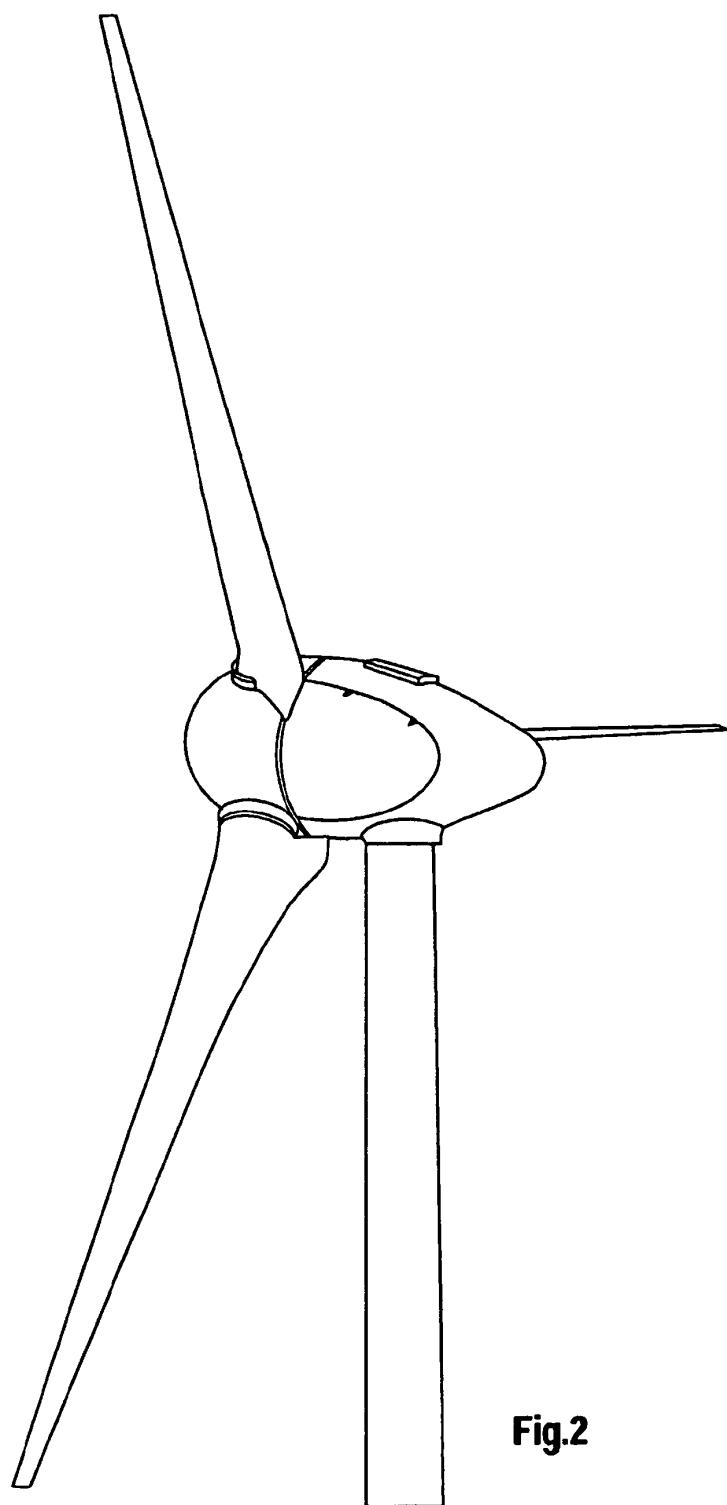
35 16.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 15, caracterizada porque las dos partes de la pala de rotor no se ensamblan hasta poco antes de la instalación de la pala de rotor en la instalación de energía eólica.

17.- Instalación de energía eólica según las reivindicaciones 15 y 16, caracterizada porque las partes de la pala de rotor están separadas durante el transporte de la pala de rotor.

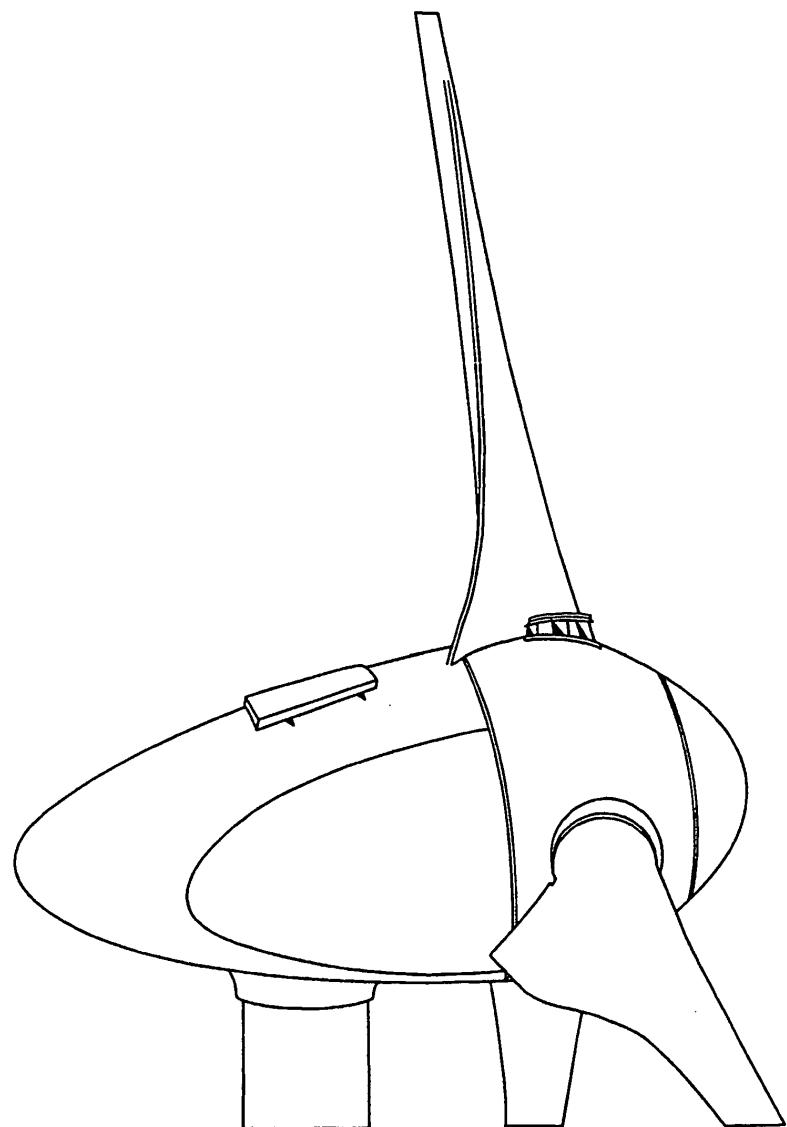
18.- Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la instalación de energía eólica presenta al menos una pala de rotor que 5 está caracterizada por un lado de aspiración y un lado de presión, siendo la relación entre la longitud del lado de aspiración y la longitud del lado de presión inferior a un valor de 1,2, preferiblemente inferior a 1,1 y, en particular, estando situada la misma en un intervalo de valores entre 1 y 1,03.



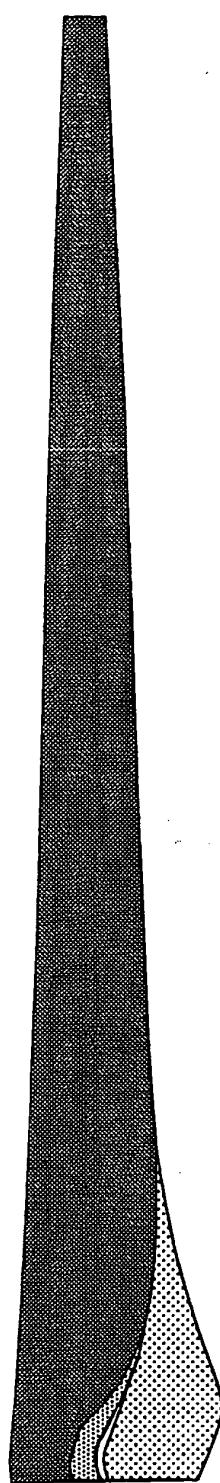
**Fig.1**



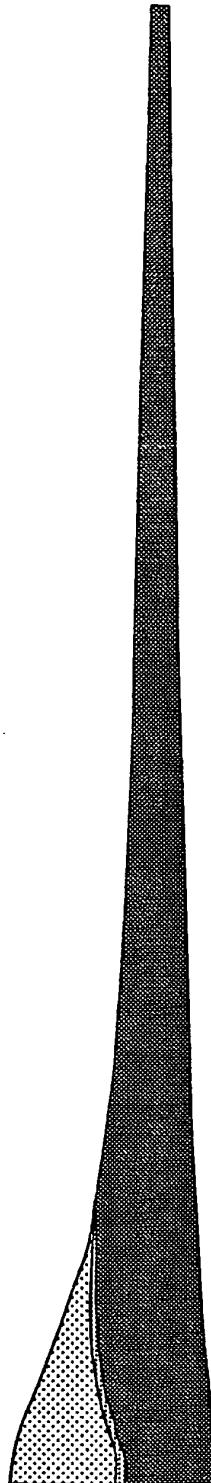
**Fig.2**



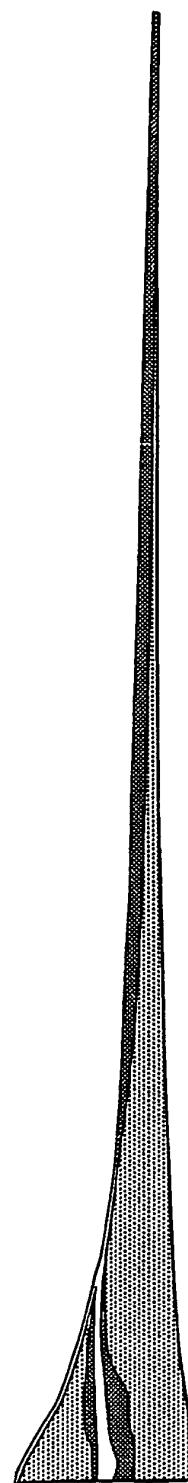
**Fig.3**



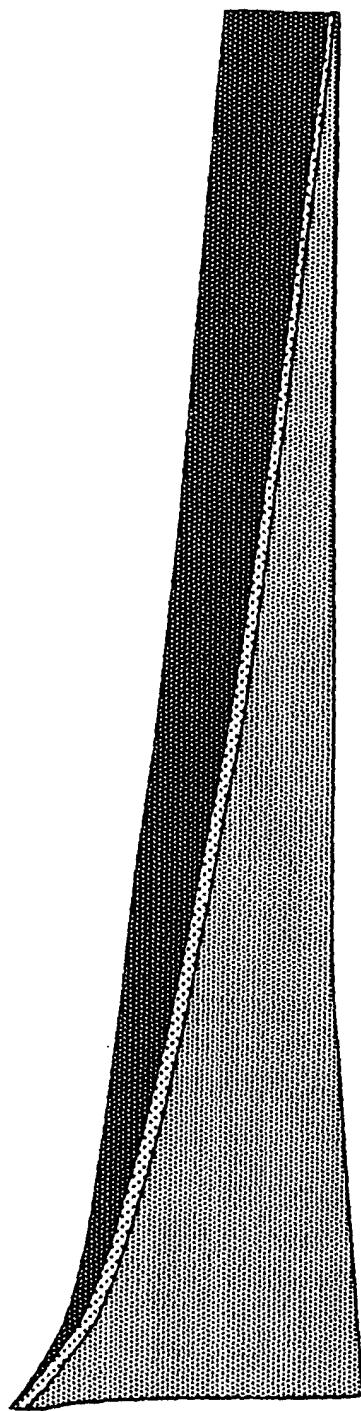
**Fig.4**



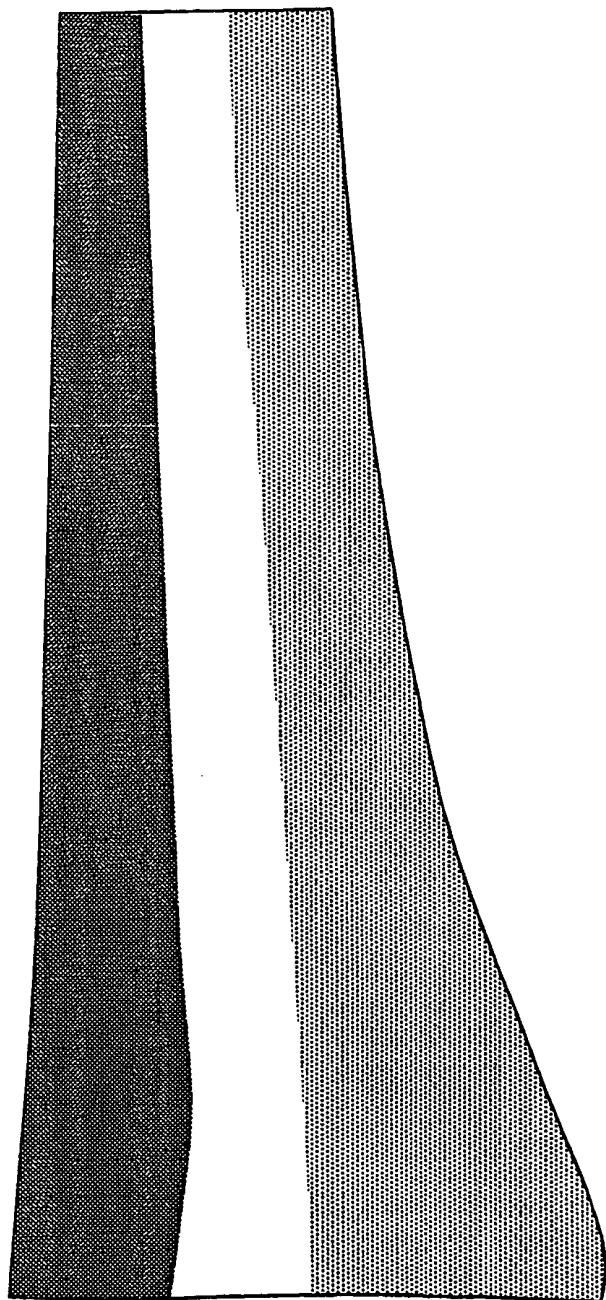
**Fig.5**



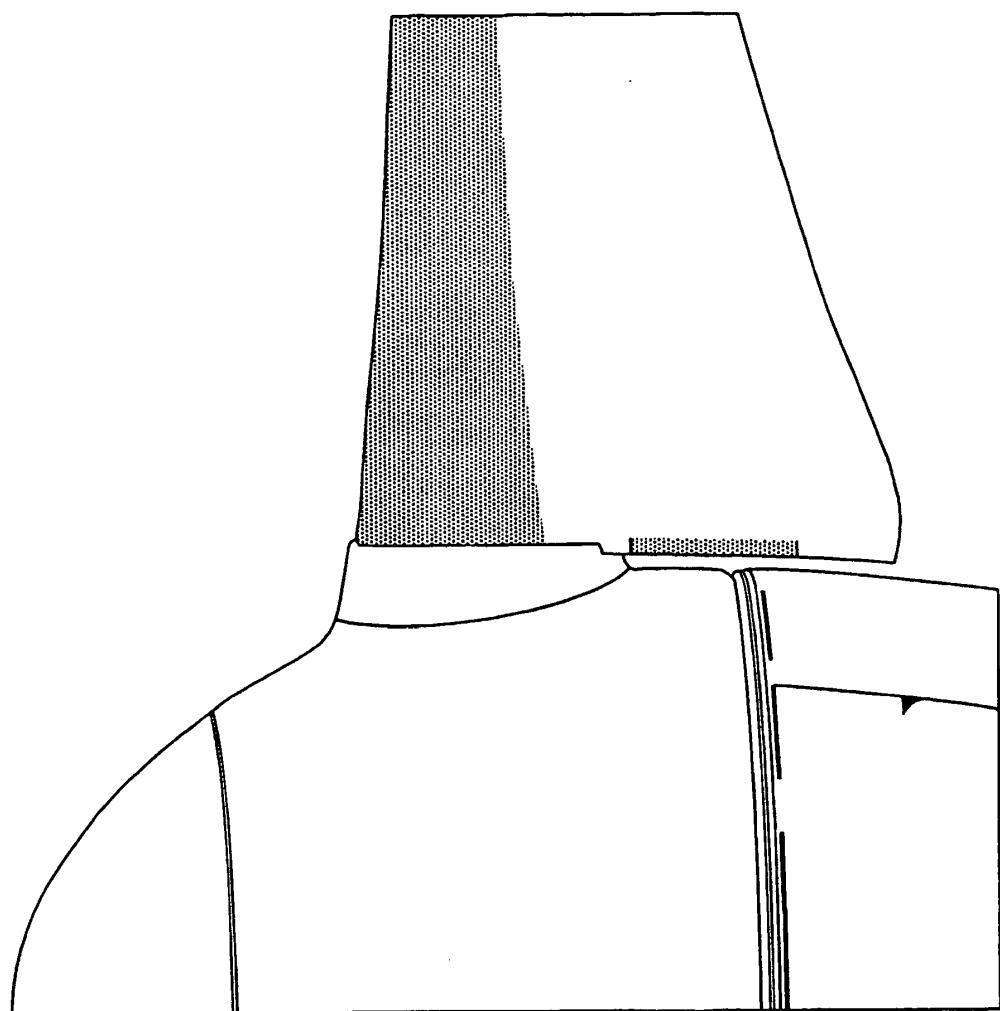
**Fig.6**



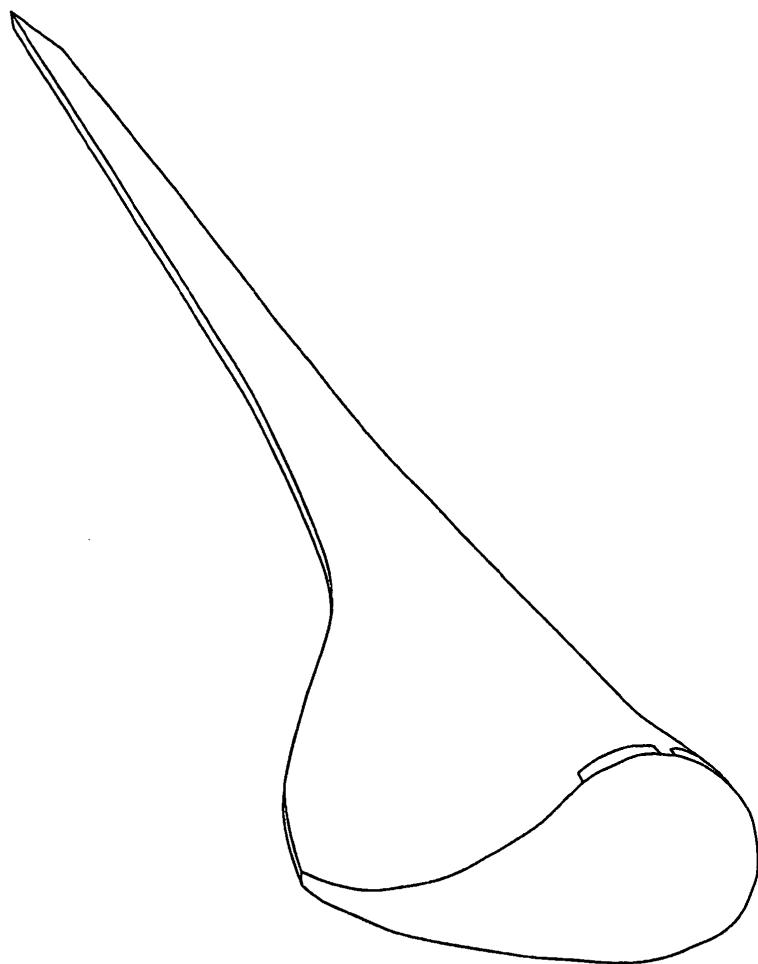
**Fig.7**



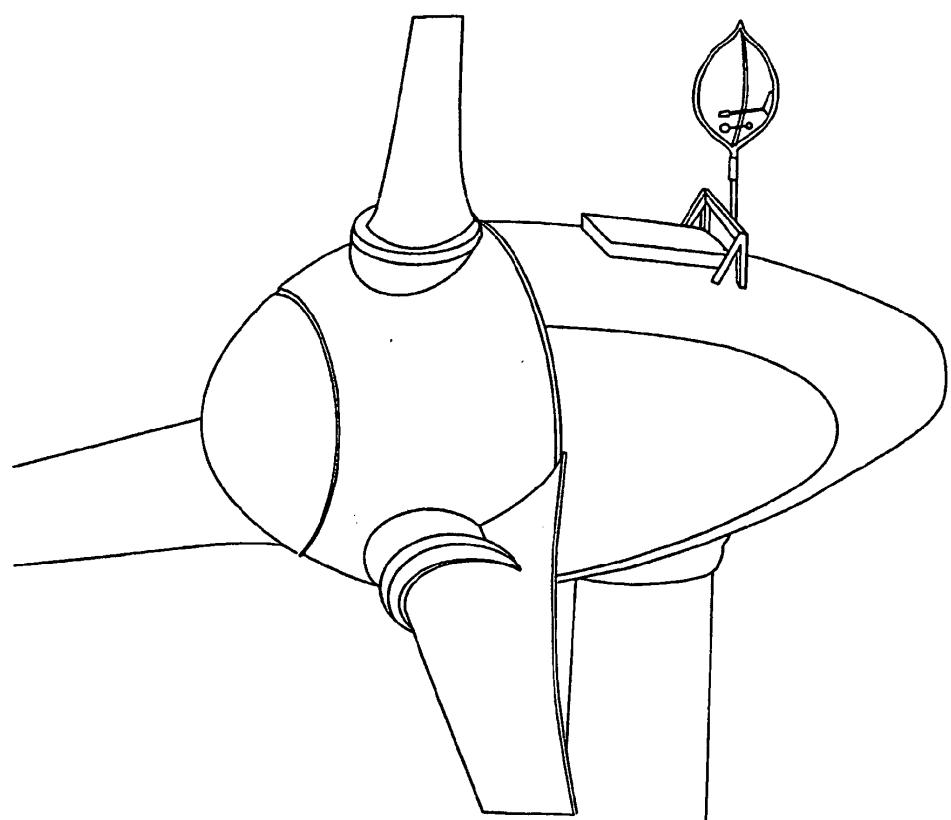
**Fig.8**



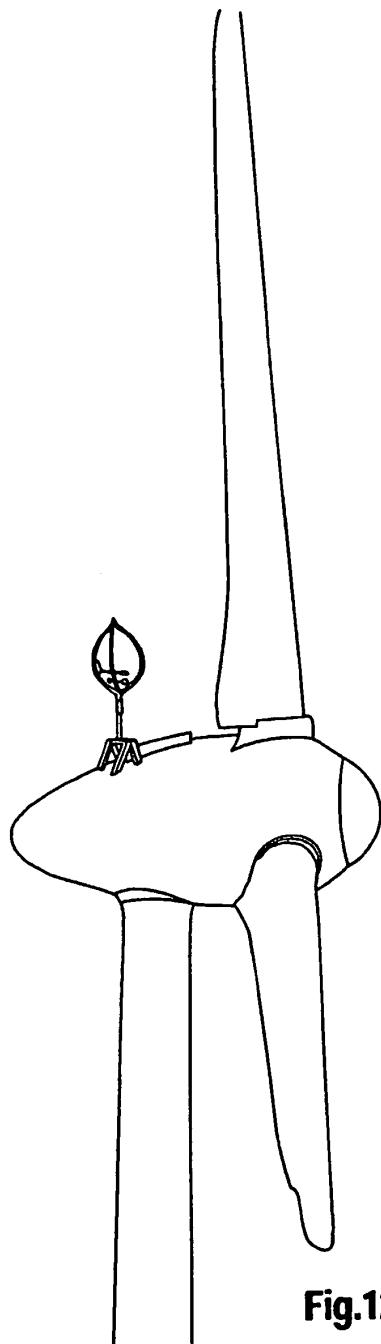
**Fig.9**



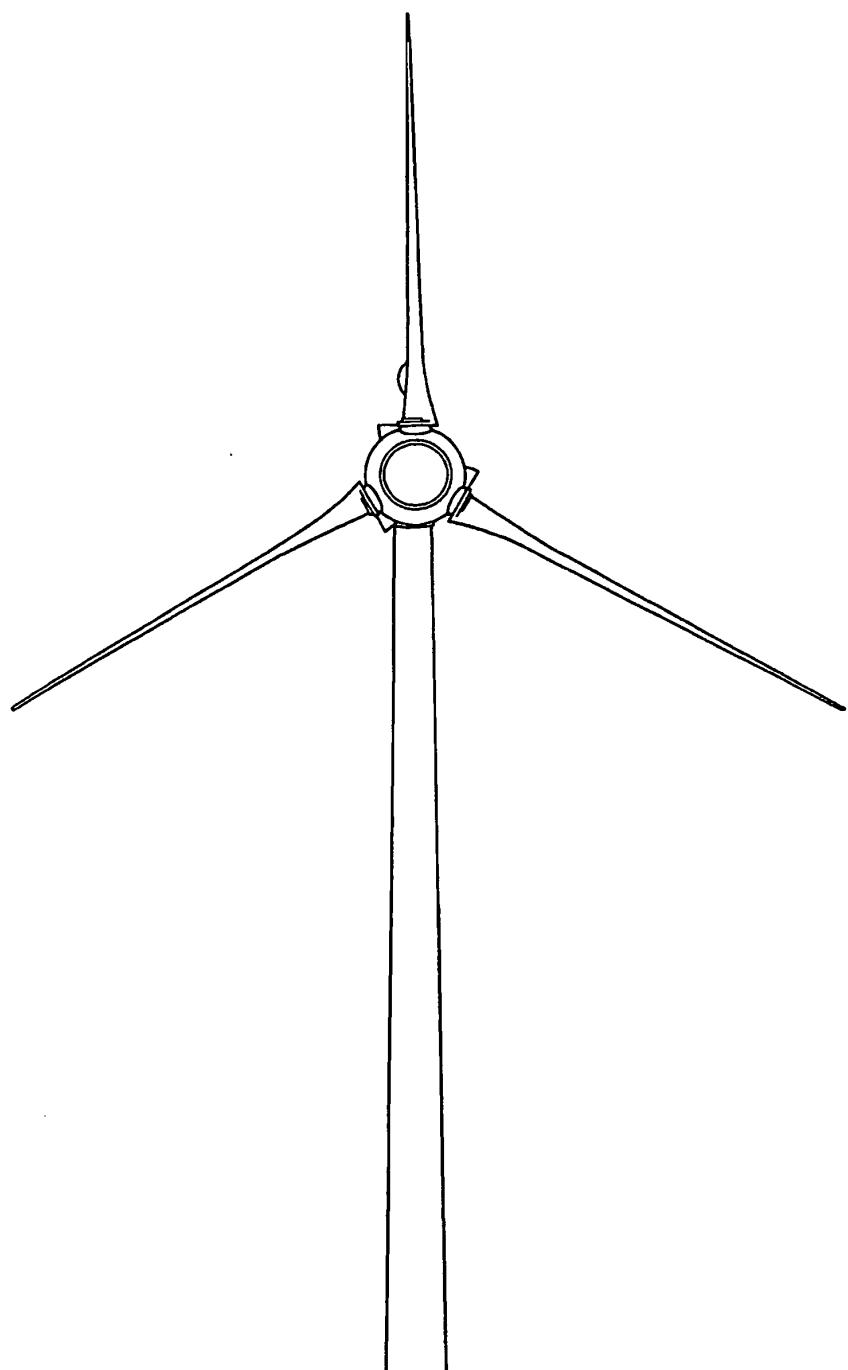
**Fig.10**



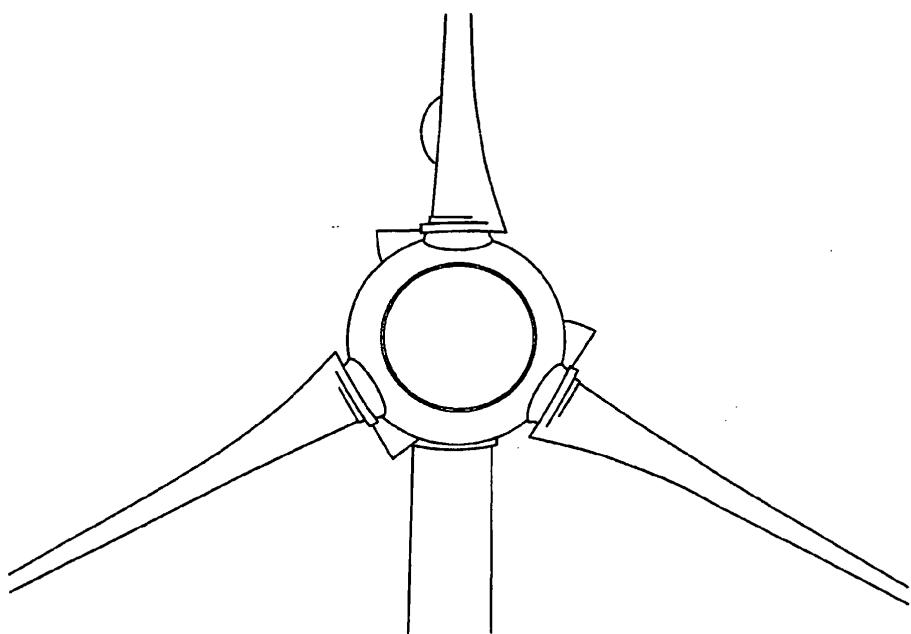
**Fig.11**



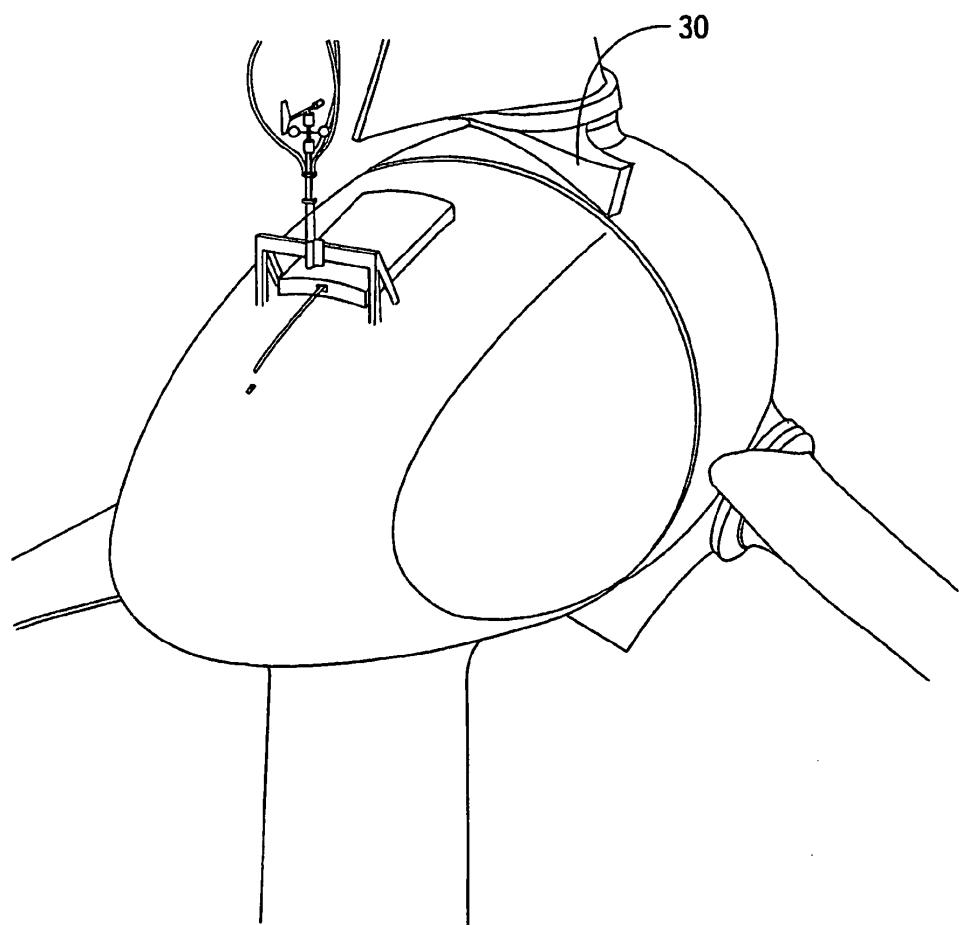
**Fig.12**



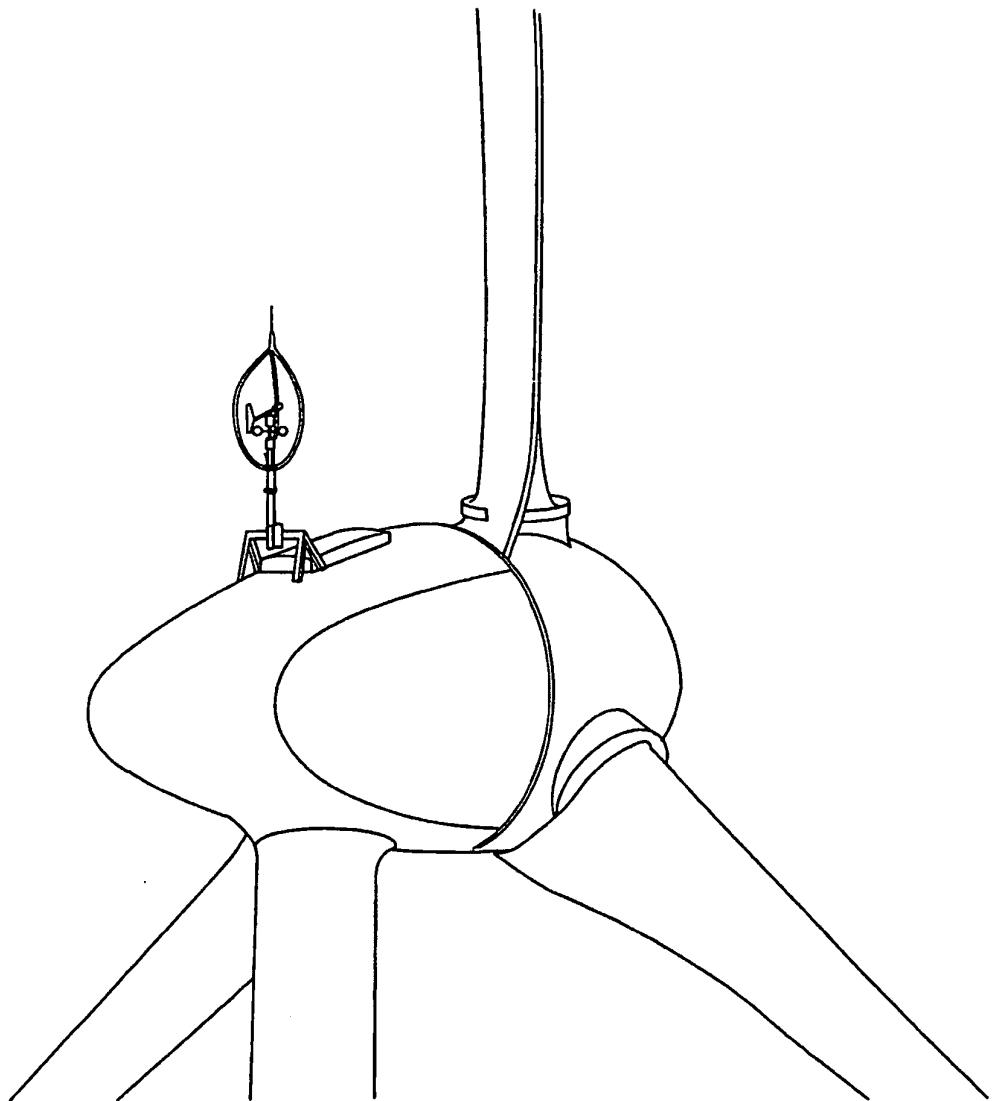
**Fig.13**



**Fig.14**



**Fig.15**



**Fig.16**

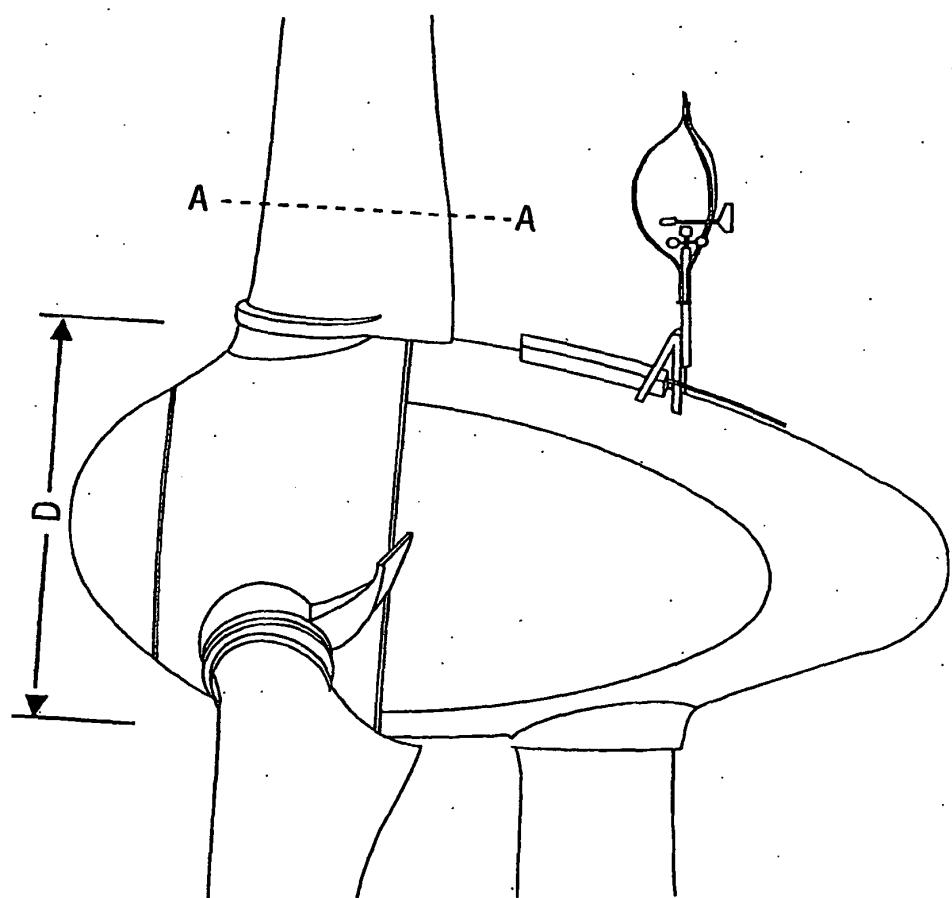


Fig.17

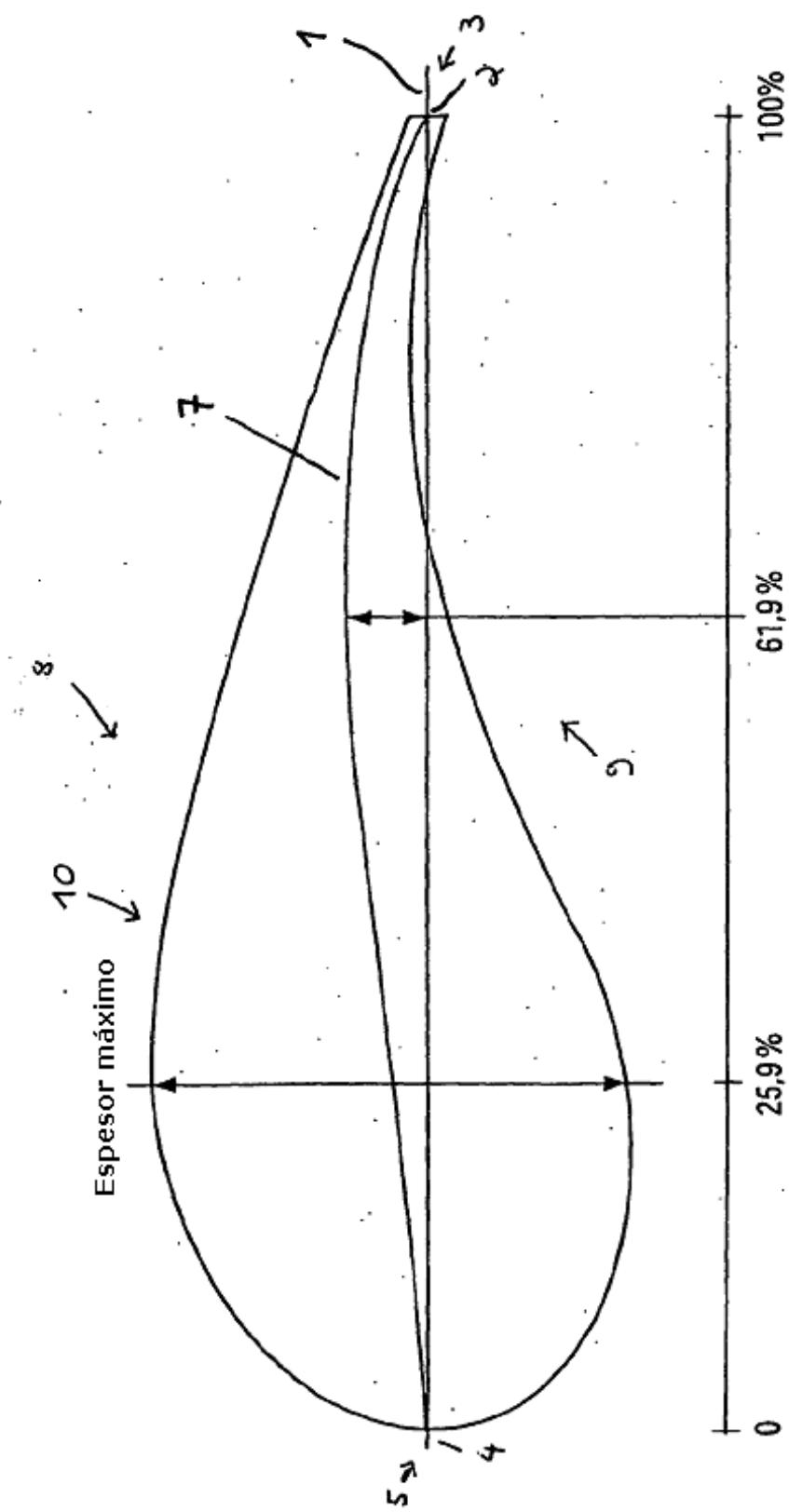
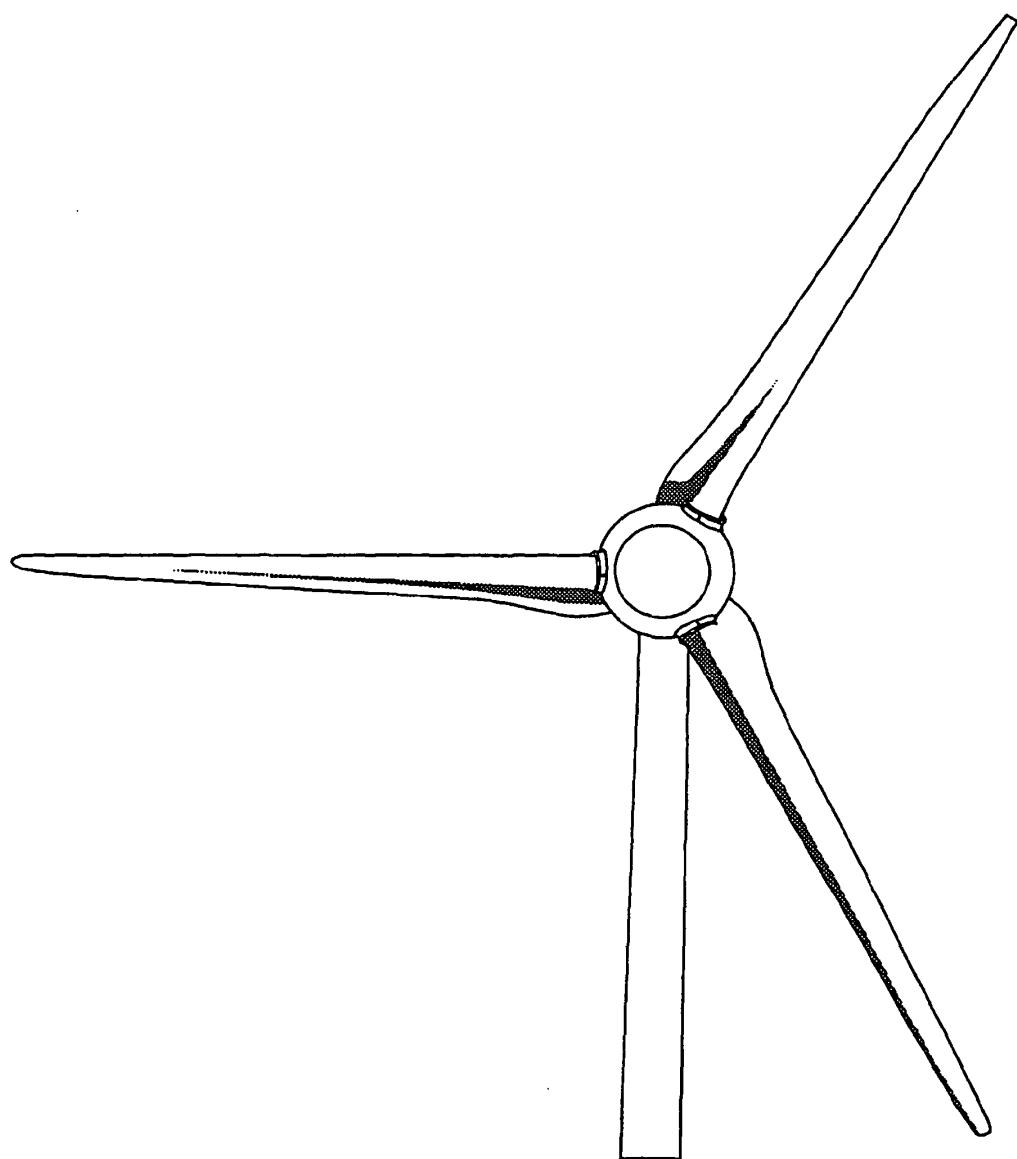


Fig. 18



**Fig.19**