

(11) Número de Publicação: **PT 1514023 E**

(51) Classificação Internacional:  
**F03D 1/06** (2007.10)

**(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

(22) Data de pedido: <b>2003.05.28</b>	(73) Titular(es): <b>ALOYS WOBBEN</b> <b>ARGESTRASSE 19 26607 AURICH</b>	DE
(30) Prioridade(s): <b>2002.06.05 DE 10225136</b> <b>2003.02.21 DE 10307682</b>		
(43) Data de publicação do pedido: <b>2005.03.16</b>	(72) Inventor(es): <b>ALOYS WOBBEN</b>	DE
(45) Data e BPI da concessão: <b>2010.10.06</b> <b>231/2010</b>	(74) Mandatário: <b>MANUEL ANTÓNIO DURÃES DA CONCEIÇÃO ROCHA</b> <b>AV LIBERDADE, Nº. 69 1250-148 LISBOA</b>	PT

(54) Epígrafe: **CENTRAL DE ENERGIA EÓLICA**

(57) Resumo:

A INVENÇÃO REFERE-SE A UMA PÁ DE ROTOR DE UMA CENTRAL DE ENERGIA EÓLICA, BEM COMO, A UMA CENTRAL DE ENERGIA EÓLICA. O OBJECTIVO DA PRESENTE INVENÇÃO É APRESENTAR UMA PÁ DE ROTOR PERFILADA OU UMA CENTRAL DE ENERGIA EÓLICA QUE POSSUA UMA MELHOR CAPACIDADE DE DESEMPENHOS DO QUE ANTERIORMENTE. PÁ DE ROTOR DE UMA CENTRAL DE ENERGIA EÓLICA, EM QUE A DISTÂNCIA QUE VAI DO BORDO DE ATAQUE AO PONTO DE ESPESSURA MÁXIMA DA PÁ DE ROTOR É DE APROXIMADAMENTE ENTRE 15% E 40%, DE PREFERÊNCIA APROXIMADAMENTE ENTRE 23% E 28%, E EM QUE A MAIOR ESPESSURA DE PERFIL SE SITUA APROXIMADAMENTE ENTRE 20% E 45%, DE PREFERÊNCIA APROXIMADAMENTE ENTRE 32% E 36%.

**RESUMO****"CENTRAL DE ENERGIA EÓLICA"**

A invenção refere-se a uma pá de rotor de uma central de energia eólica, bem como, a uma central de energia eólica. O objectivo da presente invenção é apresentar uma pá de rotor perfilada ou uma central de energia eólica que possua uma melhor capacidade de desempenho do que anteriormente. Pá de rotor de uma central de energia eólica, em que a distância que vai do bordo de ataque ao ponto de espessura máxima da pá de rotor é de aproximadamente entre 15% e 40%, de preferência aproximadamente entre 23% e 28%, e em que a maior espessura de perfil se situa aproximadamente entre 20% e 45%, de preferência aproximadamente entre 32% e 36%.

## DESCRIÇÃO

### "CENTRAL DE ENERGIA EÓLICA"

A invenção refere-se a uma pá de rotor de uma central de energia eólica, bem como, a uma central de energia eólica. Remete-se aqui, como estado da técnica, de um modo geral para o livro "Windkraftanlagen", Erich Hau, 1996. Este livro contém alguns exemplos de centrais de energia eólica, pás de rotor destas centrais de energia eólica, bem como, cortes transversais destas pás de rotor do estado da técnica. A Figura 5.34. da página 102 apresenta os parâmetros de perfil geométricos de perfis aerodinâmicos conforme NACA. Note-se que a pá de rotor é descrita por uma profundidade de perfil que corresponde ao comprimento da corda, uma curvatura máxima (ou relação de curvatura) como elevação máxima de uma linha média acima da corda, uma reserva de curvatura, ou seja o local relativamente à profundidade de perfil onde a maior curvatura se situa dentro do corte transversal da pá de rotor, uma espessura de perfil máxima como o maior diâmetro de um círculo registado com o centro na linha média, e a distância que vai do bordo de ataque ao ponto de espessura máxima da pá, ou seja o local relativamente à profundidade de perfil onde o corte transversal da pá de rotor assume a sua maior espessura de perfil. Além disso, são ainda considerados o raio da extremidade e as coordenadas de perfil da parte inferior e superior relativamente à descrição do corte transversal da pá de rotor. Pretende-se manter a nomenclatura conhecida do livro Erich Hau para efeitos, entre outros, da descrição do corte transversal de uma pá de rotor para a presente inscrição.

As pás de rotor serão optimizadas através de uma série de aspectos. Por um lado, devem ser silenciosas e, por outro lado, devem também permitir uma máxima capacidade dinâmica para que, mesmo com pouco vento, a central de energia eólica comece a funcionar e consiga atingir a velocidade nominal do vento, mesmo quando a intensidade do vento é fraca, ou seja, a velocidade à qual se alcança também primeiro a potência nominal da central de energia eólica. Quando a velocidade do vento continua a aumentar, a pá do rotor é, hoje em dia - nas centrais de energia eólica com regulação de pitch - cada vez mais exposta ao vento, de modo a continuar a manter a potência nominal, reduzindo-se porém a superfície de ataque da pá de rotor em relação ao vento, para assim proteger toda a central de energia eólica ou os seus componentes contra danos mecânicos. É, porém, decisivo conferir uma grande importância às características aerodinâmicas dos perfis da pá de rotor de uma central de energia eólica.

Neste sentido, remete-se para os seguintes documentos como estado pertinente da técnica relativamente à constituição das pás de rotor: US 5.474.425, FR-A-908.631, US-A-2.465.007, US-A-4.773.824, EPA- 1184566, US-A-5.417.548, bem como, US-A-6.068.446. Este estado da técnica não ultrapassa, porém, o que já foi mencionado na introdução da descrição como estado geral da técnica.

O objectivo da presente invenção é apresentar uma pá de rotor perfilada ou uma central de energia eólica, que possua uma melhor desempenho do que anteriormente.

O objectivo é resolvido, em conformidade com a invenção, com uma central de energia eólica com uma pá de rotor com as características segundo a reivindicação 1. Encontramos outros desenvolvimentos privilegiados nas subreivindicações dependentes.

As coordenadas concretas de um perfil de pá de rotor em conformidade com a invenção segundo a invenção estão indicadas numa tabela 1.

A invenção é a seguir representada por vários desenhos. Aqui pode ver-se:

a Figura 1 é uma vista de uma central de energia eólica para esclarecer uma característica em conformidade com a invenção de uma perspectiva de frente,

a Figura 2 é uma vista de uma central de energia eólica para esclarecer uma característica em conformidade com a invenção de uma perspectiva lateral de trás,

a Figura 3 é uma vista de uma central de energia eólica para esclarecer uma característica em conformidade com a invenção de lado,

as Figuras 4-8 são vistas de uma pá de rotor em conformidade com a invenção de diferentes direcções,

a Figura 9 é uma vista ampliada de uma central de energia eólica em conformidade com a invenção

a Figura 10 é uma vista de uma pá de rotor em conformidade com a invenção,

as Figuras 11-17, 19 são diferentes vistas de uma central de energia eólica em conformidade com a invenção,

a Figura 18 é um corte transversal de uma pá de rotor em conformidade com a invenção (na área próxima do cubo)

O perfil de pá de rotor descrito de acordo com a presente inscrição é, em especial, constituído na área da pá de rotor, que estabelece a ligação da pá de rotor (para ligar ao cubo). O perfil descrito na presente inscrição é, preferencialmente, constituído na primeira terça parte da pá de rotor, relativamente ao comprimento total da pá de rotor. O comprimento total de uma pá de rotor pode situar-se perfeitamente entre 10m e 70m, dependendo da potência nominal que uma central de energia eólica deve ter. Deste modo, a potência nominal de uma central de energia eólica, por exemplo, da empresa Enercon do tipo E-112 (diâmetro aprox. 112m) é 4,5 MW, e a potência nominal de uma central de energia eólica da empresa Enercon do tipo E-30 é, em contrapartida, 300 KW.

É particularmente característico para o perfil da pá de rotor em conformidade com a pá de rotor que a espessura máxima do perfil perfaça aproximadamente 25% a 40%, de preferência entre 32% e 36%, do comprimento da corda da pá de rotor. Na Figura 18, a espessura máxima do perfil é aproximadamente 34,6% do comprimento da corda da pá de rotor. Na Figura 18 está inserida uma corda 1, que vai desde o centro 2 do bordo de fuga da pá de rotor 3 até ao ponto dianteiro 4 da extremidade da pá de rotor 5. A distância que vai do bordo de ataque ao ponto de espessura máxima da pá, ou seja o local relativamente ao comprimento da pá onde a espessura de perfil é maior, é aproximadamente 20% a 30% do comprimento da corda, de preferência entre 23% e 28%, no exemplo apresentado é 25,9%. A espessura máxima foi calculada perpendicularmente à corda e a reserva refere-se ao cubo da pá de rotor.

Além disso, a Figura 18 tem uma chamada linha média 7. Esta linha média resulta da respectiva meia espessura da pá de rotor 8 num ponto. Convenientemente, esta linha média não é rectilínea, mas sempre exacta entre pontos opostos no lado de pressão 9 da pá de rotor 8 e no lado de succção 10 da pá de rotor 8. A linha média corta a corda no bordo de fuga da pá de rotor e do cubo da pá de rotor.

A reserva de curvatura no corte transversal de uma pá de rotor em conformidade com a invenção é aproximadamente de 55% a 70% do comprimento da corda, de preferência aproximadamente de 59% a 63%. No exemplo apresentado, a reserva de curvatura tem aproximadamente 61,9% do comprimento da corda. A curvatura maior é aqui de 4% a 8% do comprimento da corda, de preferência, tem 5% a 7% do comprimento da corda. No exemplo apresentado, a curvatura tem aproximadamente 5,87% do comprimento da corda.

É também particularmente impressionante para o perfil da pá de rotor em conformidade com a invenção, o facto do lado de pressão da pá de rotor "cortar" duas vezes a corda, sendo pois nesta área o lado de pressão do perfil constituído de modo côncavo, enquanto na área de perfil dianteira, o lado de pressão tem uma constituição convexa. Na área, onde o lado de pressão é côncavo, ele é quase rectilíneo no correspondente lado oposto da succção.

Pode ter sido do conhecimento, constituir o lado de pressão com uma curvatura côncava ou prover o lado de pressão com uma delimitação rectilínea. Sobretudo a combinação de ambas as medidas é particularmente importante para o perfil de uma pá de rotor em conformidade com a invenção e é característica para o perfil em conformidade com a invenção.

O bordo de fuga da pá de rotor do perfil apresentado é também impressionantemente espesso. Porém, isto não é

problemático no que diz respeito à formação de ruído no bordo de fuga da pá de rotor, porque o perfil apresentado se encontra na terça parte interna do círculo de rotor e aí a velocidade tangencial não é muito elevada.

As coordenadas X-y do perfil apresentado na Figura 18 são expostas na tabela 1, podendo-se assim descrever com exactidão o perfil da pá de rotor em conformidade com a invenção.

Para melhorar a forma aerodinâmica da pá de rotor, esta é constituída, na área da raiz da pá de rotor, de modo a apresentar aí a sua maior largura e, assim, a pá de rotor apresentar uma forma trapezoidal (na vista) mais ou menos idêntica à aerodinâmica optimizada. Preferencialmente, a pá de rotor é constituída na área da raiz da pá de rotor, de modo que o bordo da raiz da pá de rotor - virado para a gôndola de uma central de energia eólica - do contorno exterior da gôndola esteja adaptado em pelo menos uma posição angular, por ex. adaptado de modo que entre a gôndola e o bordo virado para a central de energia eólica da raiz da pá de rotor e do contorno exterior da gôndola, com a colocação da pá de rotor na posição nominal do vento, exista uma distância muito pequena, por ex. uma distância de aproximadamente 5mm a 100mm.

Numa pá de rotor com as características mencionadas, verificou-se um maior aumento significativo da capacidade, em parte até 10%. Através deste aumento de capacidade não previsível, uma central de energia eólica em conformidade com a invenção consegue obter - sendo indicada uma velocidade do vento - uma maior capacidade abaixo da velocidade nominal do vento. Além disso, consegue obter a sua capacidade nominal mais cedo do que acontecia anteriormente. Convenientemente, as pás de rotor podem ser rodadas (pitch) mais cedo, fazendo

descer a emissão sonora, por um lado, e a carga mecânica da instalação, por outro.

Neste caso, a invenção tem por base o conhecimento de que a forma da pá de rotor actualmente habitual no canal do vento é analisada a diferentes velocidades do vento, mas sempre à mesma corrente de ar uniforme. Mas como o vento na natureza sopra muito raramente com a mesma uniformidade à superfície, estando antes exposto a uma legalidade estocástica, acontece que nas conhecidas pás de rotor ocorre, na sequência de rajadas de vento, uma libertação da corrente precisamente na área interna da pá perto do cubo da rotor, onde a pá já não é tão aerodinâmica nem está tão optimizada. Esta libertação da corrente continua, no sentido da área exterior da pá de rotor (extremidade da pá de rotor), um pouco ao longo da pá de rotor. Deste modo, a corrente da pá de rotor pode soltar-se, numa área em forma de bolhas, da pá de rotor e causar, assim, respectivas perdas de potência. Na invenção, e considerando a situação inicial previamente descrita, pode também obter-se um significativo aumento da capacidade através de uma pá de rotor bem constituída mesmo na área interna da pá de rotor.

Se, em vez do perfil empiricamente apurado e proposto na presente inscrição, se utilizasse um conhecido perfil padrão, seria necessária, aproximadamente, uma profundidade dupla (isto corresponde ao comprimento da corda da pá de rotor) na área da pá de rotor inferior, para permitir uma constituição aerodinâmica e correcta. Porém, é necessária uma elevada espessura do perfil na área dianteira para uma remoção segura da carga e para obter um valor de impulso ascendente  $C_A$  superior a 2.

Como já se conhece do estado da técnica, hoje em dia são regularmente construídas pás de rotor, que apresentam no

interior, se possível, uma grande poupança de material. Podemos ver exemplos típicos disto no estado da técnica já mencionado segundo "Windkraftanlagen", Erich Hau, 1996, nas páginas 114 e 115. Aí observa-se que a maior profundidade de perfil é sempre alcançada a uma certa distância da ligação da pá de rotor, ou seja, na área próxima da ligação da pá de rotor, sendo que nestas pás de rotor conforme o estado da técnica se poupa material. Mas se na vista se utilizar uma forma optimizada idêntica à forma trapezoidal, isto significa que a maior largura de uma pá de rotor não se forma a uma distância da ligação da pá de rotor, mas antes exactamente na área da ligação da pá de rotor. Na área interior das pás de rotor não se poupa, assim, muito material.

A causa para a poupança de material até agora realizada está no modo de observação estático das condições da corrente (como previamente descrito) no cálculo/desenvolvimento das pás de rotor. Acrescenta-se a isto o facto dos programas de cálculo habituais para pás de rotor, dividirem a pá de rotor em distâncias individuais e calcularem cada secção de pá isoladamente, para daí derivarem a avaliação para toda a pá de rotor.

A realidade é, no entanto, outra. Por um lado, o vento não sopra de modo uniforme e estático dentro de uma determinada área de superfície, mostrando em vez disso visivelmente um comportamento estocástico, e por outro lado a influência da velocidade do vento é elevada, devido à reduzida velocidade periférica da pá de rotor na área interior (ou seja na área próxima do cubo do rotor), e assim altera-se o ângulo de inclinação nesta área, dependendo fortemente da velocidade momentânea do vento. Na sequência disso, acontece frequentemente a corrente da pá de rotor soltar-se mesmo na área interior da pá de rotor.

Num caso destes, uma histerese é eficaz. A corrente não é imediatamente implementada de novo na pá de rotor, quando se observa novamente a anterior velocidade do vento, por exemplo depois de passar a rajada de vento. Em vez disso, a velocidade do vento tem de continuar a baixar (o ângulo de inclinação tem de continuar a alterar-se) até a corrente se voltar a implementar à superfície da pá de rotor. Porém, se a velocidade do vento não continuar a baixar, pode ser que seja exercida, por um período mais prolongado, uma força relevante sobre a pá de rotor, apesar do vento que chega, porque a corrente ainda não se implementou de novo à superfície da pá de rotor.

A versão da pá de rotor em conformidade com a invenção reduz substancialmente o perigo de libertação de corrente. Este perigo de libertação é igualmente reduzida pelo perfil relativamente espesso. O aumento considerável de capacidade pode também ser facilmente explicado pelo facto do efeito de histerese manter as perdas de potência, por um período mais prolongado, (para pás de rotor conforme o estado da técnica), quando ocorre uma vez uma libertação de corrente.

Outra parte do aumento de capacidade pode ser explicada pelo facto de também o vento aproveitar o caminho da menor resistência. Portanto, quando a pá de rotor na área interior próxima do cubo for muito fina (grande poupança de material), isto assemelha-se a um "orifício de escape" na superfície de colheita do círculo de rotor, por onde o ar passa preferencialmente. Também aqui se pode detectar claramente um ponto fraco dos programas de cálculo habituais, que partem sempre a partir de uma distribuição uniforme sobre a superfície circular do rotor.

Se "fecharmos" este "orifício de escape" pela constituição trapezoidal da pá de rotor na área próxima do

cubo, consegue-se ajustar uma melhor distribuição da corrente de ar sobre toda a área circular e, consequentemente, aumenta-se ainda mais um pouco também o efeito sobre a área exterior da pá de rotor. Correspondentemente, este acto de "fechar" este "orifício de escape" contribui para aumentar o rendimento da capacidade da pá de rotor em conformidade com a invenção.

Observa-se aqui outro ponto fraco dos programas de cálculo habituais, pois estes consideram também a secção da pá de rotor directamente adjacente ao "orifício de escape" como uma secção da pá de rotor completa, o que não pode ser devido às condições especiais da corrente (rupturas frequentes da corrente e um reajuste posterior das condições previstas da corrente).

As Figuras 11 a 17 mostram a vista de uma central de energia eólica em conformidade com a invenção de frente ou de lado. Pode ver-se aqui, como as três pás de rotor na área próxima do cubo passam, quase sem costuras, para a constituição exterior da gôndola. Isto aplica-se, porém, apenas à posição das pás de rotor, desde que estas se encontrem na posição nominal do vento.

Se o vento continuar a exceder o valor nominal, as pás de rotor são, como habitualmente, lentamente retiradas do vento por meio de pitch (regulação pitch) e a Figura 15 mostra que assim se proporciona uma maior distância entre o bordo inferior da pá de rotor na área interior e a gôndola. A Figura 15 mostra ainda que no lado exterior da gôndola existe uma estrutura, que, no seu corte transversal, corresponde amplamente ao perfil da pá de rotor na área próxima do cubo e, quando se coloca a pá de rotor num ângulo de inclinação à velocidade nominal, ela se situa directamente abaixo da pá de

rotor, de modo a formar apenas uma pequena fenda entre a estrutura e a pá de rotor na área próxima do cubo.

O contorno exterior da gôndola contém também uma parte da pá de rotor, que não é parte integrante da pá de rotor.

No perfil da pá de rotor apresentado na Figura 18, o raio da extremidade é aproximadamente 0,146 da profundidade do perfil.

Como se pode ver na Figura 18, existe no lado de sucção uma área mais comprida e quase rectilínea. Este pode ser, por exemplo, descrito do seguinte modo: Na área de 38% a 100% da profundidade do perfil, o raio tem 1,19 vezes o comprimento da profundidade do perfil. Na área de 40% a 85% da profundidade do perfil (ver a Figura 18), o raio é aproximadamente 2,44 multiplicado pela profundidade do perfil. Na área de 42% a 45% da profundidade do perfil, o raio é aproximadamente 5,56 da profundidade do perfil.

Na área de 36% a 100% da profundidade do perfil, o desvio máximo das linhas rectas ideais é aproximadamente 0,012 do comprimento do perfil. Este valor é determinante, pois o raio de curvatura varia e o maior raio de curvatura já é indicado nas respectivas áreas.

No exemplo apresentado, o comprimento do lado de sucção tem aproximadamente 1,124 do comprimento da profundidade do perfil, o comprimento do lado de pressão tem 1,112 do comprimento da profundidade do perfil. Isto significa que o lado de sucção é apenas insignificantemente mais comprido do que o lado de pressão. É, por isso, muito vantajoso quando a proporção do comprimento do lado de sucção em relação ao comprimento do lado de pressão for inferior a 1,2, de preferência inferior a 1,1 ou se encontre numa faixa de valores entre 1 e 1,03.

A partir das figuras apresentadas pode ver-se que a pá de rotor apresenta a sua maior profundidade de perfil directamente na cúpula, ou seja, no lado exterior da gôndola da central de energia eólica. Deste modo, por exemplo numa central de energia eólica com um diâmetro de rotor de 30 m, a profundidade de perfil na cúpula deve ser aproximadamente 1,8 a 1,9, de preferência 1,84 m. Se a cúpula apresentar, pois, um diâmetro aproximado de 3,2m, a proporção da profundidade de perfil da pá de rotor na cúpula em relação ao diâmetro da cúpula é aproximadamente de 0,575. É, por isso, muito vantajoso quando a proporção da profundidade de perfil em relação ao diâmetro da cúpula for superior a 0,4 ou se encontre numa faixa de valores entre 0,5 e 1. Cada valor pode ser assumido da faixa de valores previamente mencionada. No exemplo anteriormente referido, a proporção da profundidade de perfil em relação ao diâmetro do rotor é aproximadamente 0,061. Pretende-se, pois, que o "orifício de escape" seja o mais pequeno possível, quando a proporção da profundidade de perfil em relação ao diâmetro de perfil for superior a um valor de 0,05 a 0,01, verificando-se que o valor exemplificativo é muito favorável, no que diz respeito à capacidade da pá de rotor.

Outro exemplo seria uma pá de rotor com o corte transversal de perfil na primeira terça parte apresentado na Figura 18, sendo a profundidade de perfil na cúpula aproximadamente 4,35 m, o diâmetro da cúpula é de 5,4m e o diâmetro do rotor tem no total 71 m. De seguida, o valor da profundidade de perfil em relação ao diâmetro da cúpula é de 0,806 e a proporção da profundidade de perfil em relação ao diâmetro do rotor é, por sua vez, 0,061. Os valores previamente mencionados referem-se a um rotor de três pás com regulação pitch (inclinação).

Tal como foi descrito, na pá de rotor em conformidade com a invenção, o ponto mais largo (o ponto com a maior profundidade de perfil) da pá de rotor pode ser directamente constituído na área da ligação da pá. A ligação da pá é a área, onde a pá de rotor é ligada (unida, aparafusada, etc.) ao cubo da central de energia eólica. Para além disso, o bordo inferior da pá de rotor, ou seja, o bordo virado para a gôndola da central de energia eólica, acompanha amplamente ou está adaptado ao contorno exterior da gôndola no sentido longitudinal. Deste modo, existe aqui uma pá de rotor, quando se encontra na posição de bandeira (praticamente sem mais nenhuma superfície orientada para o vento), paralelamente ao bordo inferior virado para a gôndola e a distância entre o bordo inferior e o contorno exterior da gôndola é mínima, preferencialmente inferior a 50cm ou, de preferência ainda, inferior a 20cm.

Se esta pá de rotor for agora colocada ao vento, possui uma grande superfície máxima também na área muito próxima da pá de rotor (o orifício de escape é muito pequeno). A contraposição previamente mencionada de Erich Hau mostra que a pá de rotor no estado da técnica reduz regularmente na área próxima do cubo (as pás de rotor são aí menos largas do que no seu ponto mais largo) e, em contrapartida, na pá de rotor em conformidade com a invenção o ponto mais largo fica precisamente na área mais próxima do cubo, de modo que também o potencial do vento pode ser aí explorado ao máximo.

Precisamente nas pás de rotor muito grandes na área próxima do cubo resulta, como se sabe, uma largura muito grande da pá de rotor. De modo a possibilitar também o transporte deste tipo de pás de rotor (a largura da pá de rotor na área próxima do cubo pode situar-se perfeitamente entre 5m e 8m no caso de pás de rotor grandes, ou seja, pás

de rotor mais compridas do que 30m), a pá de rotor pode ser constituída por duas partes, em que durante o transporte, as duas partes estão separadas e podem ser reunidas após o transporte. Para este efeito, as duas partes são unidas uma à outra antes da instalação na central de energia eólica, por exemplo através de uniões roscadas e uniões fixas (colagem). Sobretudo em pás de rotor grandes isto não constitui nenhum problema, uma vez que as pás de rotor também podem ser acedidas por dentro para serem reunidas, devido ao seu tamanho, de modo a aparecer por fora uma pá de rotor uniforme e mal se reconheçam ou nem se reconheçam linhas de separação nas partes unidas.

Com o design da pá de rotor em conformidade com a invenção - como as primeiras medições mostram - o grau de eficácia pode ser visivelmente aumentado relativamente a pás de rotor anteriores.

Como se pode ver nas Figuras 1 a 17, as pás de rotor numa central de energia eólica 1 em conformidade com a invenção são constituídas de modo a apresentarem a sua maior profundidade de perfil na área próxima do cubo e, além disso, as pás de rotor aproximam-se, ao longo de todo o seu perfil na área próxima do cubo, muito do revestimento da gôndola (cúpula) da casa das máquinas da central de energia eólica. Daqui resulta, pelo menos para a posição, na qual a pá de rotor assume um ângulo, que é aceite em velocidades de vento até à faixa da velocidade nominal, uma distância muito baixa em relação ao revestimento da gôndola. Enquanto na representação segundo, por exemplo, as Figuras 1, 2 e 3, que servem para visualização das profundidades de perfil, as pás de rotor se aproximaram muito do revestimento exterior da gôndola mesmo com a sua parte de trás do perfil, numa versão, como é por ex. apresentada nas Figuras 11 a 17, o próprio

revestimento exterior da gôndola é dotado de uma parte da pá de rotor 30, mas que não é parte integrante da totalidade da pá de rotor. Pode, assim, ver-se bem, sobretudo nas Figuras 15 e 17, que a parte da pá de rotor constituída no lado exterior da gôndola está aí fixa e se encontra num ângulo que corresponde à posição angular de uma pá de rotor até à velocidade nominal do vento, de modo que pelo menos às velocidades do vento até ao vento nominal exista uma fenda mínima entre o bordo inferior da pá de rotor também na área traseira da profundidade de perfil e da gôndola.

Pode também ver-se bem na Figura 19 que, através da versão em conformidade com a invenção das pás de rotor, existe no centro do rotor apenas um pequeno "orifício de escape" para o vento.

A Figura 18 mostra o corte transversal de uma pá de rotor em conformidade com a invenção de acordo com a linha A-A da Figura 17, ou seja, o perfil da pá de rotor na área próxima do cubo.

A Figura 17 contém também uma indicação sobre o significado do diâmetro D da cúpula.

O diâmetro do rotor é descrito pelo diâmetro da superfície circular, que é revestida pelo rotor ao rodar.

Como se pode ver na Figura 15 e em outras figuras, a parte 30 da pá de rotor, que não é parte integrante da pá de rotor rotativa, integra o revestimento exterior da gôndola. A respectiva parte pode estar aparafusada à gôndola ou também pode estar unida ou colada à gôndola como uma peça inteira.

Tabela 1

x	y	x	y
1.000000	0.013442	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
0.183315	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	0.125679	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
0.018837	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	0.030661	0.600131	-0.018956
0.001709	0.024300	0.622095	-0.013059
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

x	y	x	y
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		

### **DOCUMENTOS APRESENTADOS NA DESCRIÇÃO**

Esta lista dos documentos apresentados pelo requerente foi exclusivamente recolhida para informação do leitor e não faz parte do documento europeu da patente. Foi elaborada com o máximo cuidado; o IEP não assume, porém, qualquer responsabilidade por eventuais erros ou omissões.

#### **Documentos de patente apresentados na descrição**

US 5474425 A	EP 1184566 A
FR 908631 A	US 5417548 A
US 2465007 A	US 6068446 A
US 4773824 A	

#### **Literatura não de patente exposta na descrição**

**Erich Hau.** Windkraftanlagen, 1996 [0001]

Lisboa, 23/11/2010

## REIVINDICAÇÕES

1. Central de energia eólica com, pelo menos, uma pá de rotor que está montada num cubo do rotor, bem como, num revestimento de cubo,

**caracterizada pelo facto** de no lado exterior do revestimento de cubo ser constituída uma parte de, pelo menos, uma pá de rotor, que está fixamente unida ao revestimento de cubo, mas não é parte integrante da pá de rotor da central de energia eólica.

2. **Central de energia eólica** segundo a reivindicação 1, **caracterizada pelo facto** da pá de rotor possuir uma distância que vai do bordo de ataque ao ponto de espessura máxima da pá aproximadamente entre **15%** e **40%**, de preferência aproximadamente entre **23%** e **28%**, e em que a maior espessura de perfil se situa aproximadamente entre **20%** e **45%**, de preferência aproximadamente entre **32%** e **36%**.

3. **Central de energia eólica** segundo a reivindicação 1 ou 2,

**caracterizada pelo facto** do corte transversal da pá de rotor ser descrito por uma linha média, cuja maior curvatura se situa entre **50º** e **70º**, de preferência aproximadamente entre **60º** e **65º**.

4. **Central de energia eólica** segundo uma das reivindicações anteriores,

**caracterizada pelo facto** da maior curvatura **da pá de rotor** medir aproximadamente **3%** a **10%**, de preferência aproximadamente **4%** a **7%**.

5. Central de energia eólica segundo uma das reivindicações anteriores,

**caracterizada pelo facto** deste corte transversal ser preferencialmente constituído na terça parte inferior da pá de rotor, que faz a ligação à pá de rotor.

6. Central de energia eólica segundo uma das reivindicações anteriores,

**caracterizada pelo facto** da pá de rotor apresentar um lado de pressão (intradorso) e um lado de succção (extradorso), em que o lado de pressão possui uma parte com uma curvatura côncava, e no lado de succção existe uma secção quase rectilínea.

7. Central de energia eólica segundo a reivindicação 6,

**caracterizada pelo facto** do perfil da parte da pá de rotor, que se encontra no revestimento de cubo, corresponder essencialmente ao perfil da pá de rotor na área próxima do cubo.

8. Central de energia eólica segundo a reivindicação 7,

**caracterizada pelo facto** da parte da pá de rotor, que se encontra no revestimento do cubo, estar fixa e essencialmente alinhada de modo a situar-se, quando a pá de rotor está na velocidade nominal do vento, abaixo da velocidade nominal do vento directamente por baixo da área próxima do cubo da pá de rotor da central de energia eólica.

9. Central de energia eólica **segundo uma das reivindicações anteriores**,

**caracterizada pelo facto** da central de energia eólica apresentar um rotor, que recebe pelo menos uma pá de rotor,

que possui a sua maior profundidade de perfil na área do cubo da pá de rotor, em que a proporção da profundidade de perfil em relação ao diâmetro do rotor assume um valor, que se situa entre **0,04** e **0,1**, de preferência aproximadamente entre **0,055** e **0,7**, como por ex. **0,061**.

**10.** Central de energia eólica segundo uma das reivindicações anteriores, **caracterizada pelo facto** da central de energia eólica possuir uma casa das máquinas, que recebe um gerador e um rotor associado ao gerador, em que o rotor contém pelo menos duas pás de rotor, sendo que o rotor possui um cubo dotado de um revestimento e cúpula, em que a proporção da profundidade de perfil de uma pá de rotor em relação ao diâmetro da cúpula apresenta um valor superior a **0,4**, de preferência numa faixa de valores entre **0,5** e **1**.

**11.** Central de energia eólica segundo uma das reivindicações anteriores,

**caracterizada pelo facto** da central de energia eólica possuir um rotor, que apresenta preferencialmente mais do que uma pá de rotor, possuindo a pá de rotor uma forma trapezoidal mais ou menos próxima da forma aerodinâmica optimizada, e apresentando a pá de rotor na área da raiz da pá de rotor a sua maior largura, sendo o bordo da raiz da pá de rotor, que está virado para a gôndola da central de energia eólica, constituído de modo que o percurso do bordo está essencialmente adaptado ao contorno exterior da gôndola, no sentido longitudinal.

**12.** Central de energia eólica segundo a reivindicação **11**,

**caracterizada pelo facto** do bordo inferior da pá de rotor virado para a gôndola na área da raiz, se situar, durante a rotação da pá de rotor para a posição de bandeira, quase paralelo ao contorno exterior da gôndola.

**13.** Central de energia eólica segundo a reivindicação **12,**

**caracterizada pelo facto** da distância do bordo da pá de rotor virado para a gôndola inferior e do contorno exterior da gôndola na posição de bandeira ser inferior a 50 cm, preferencialmente inferior a 20 cm.

**14.** Central de energia eólica segundo uma das reivindicações anteriores,

**caracterizada pelo facto** da pá de rotor na área da raiz ter saído do plano da pá principal.

**15.** Central de energia eólica segundo uma das reivindicações anteriores,

**caracterizada pelo facto** da pá de rotor na área da raiz ser constituída por duas partes, em que uma delas se forma numa linha de separação orientada para o sentido longitudinal da pá de rotor.

**16.** Central de energia eólica segundo a reivindicação **15,**

**caracterizada pelo facto** de ambas as partes da pá de rotor serem reunidas na central de energia eólica apenas pouco antes da instalação da pá de rotor.

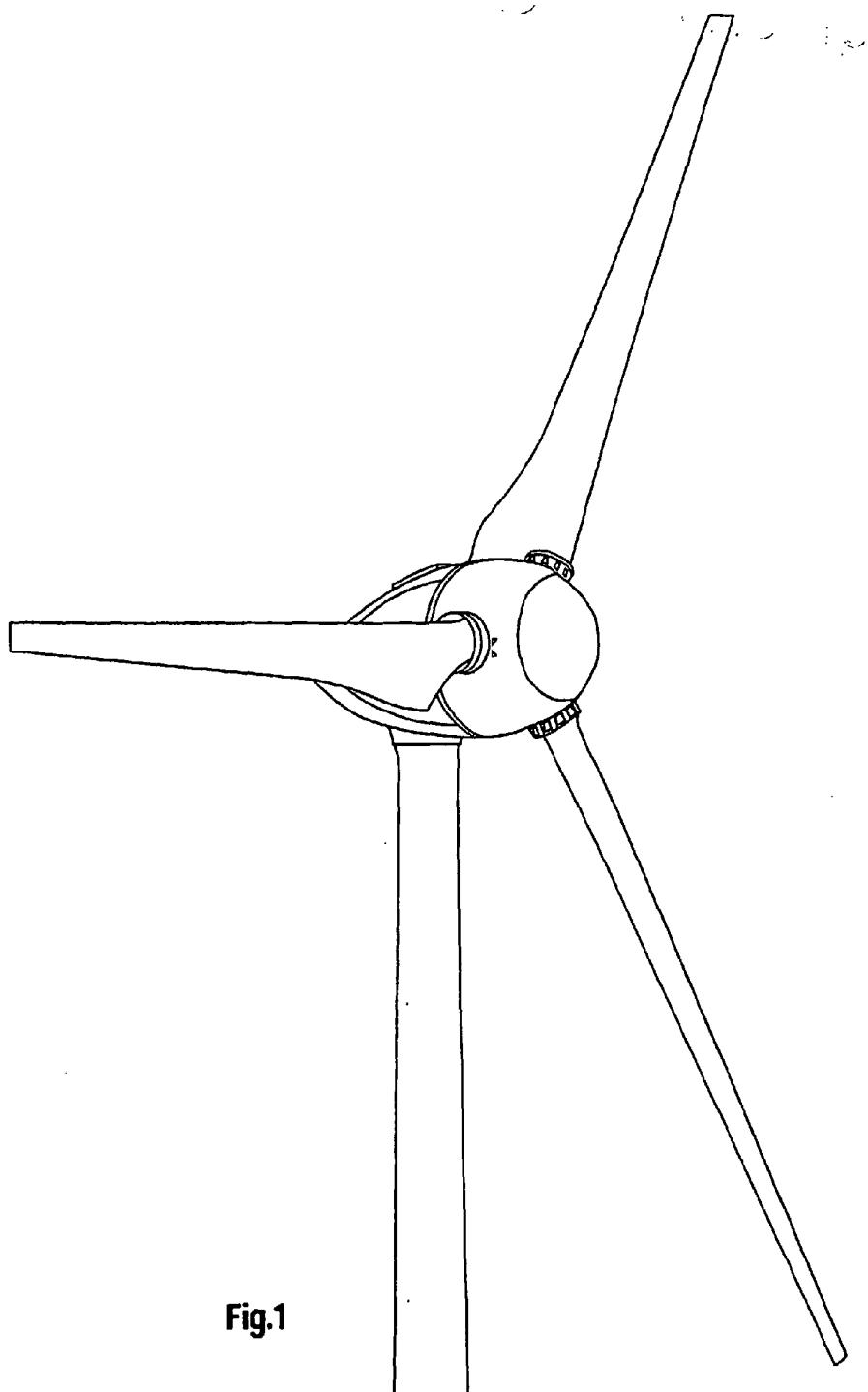
**17.** Central de energia eólica segundo as reivindicações **15 e 16,**

**caracterizada pelo facto** das partes da pá de rotor estarem separadas durante o transporte da pá de rotor.

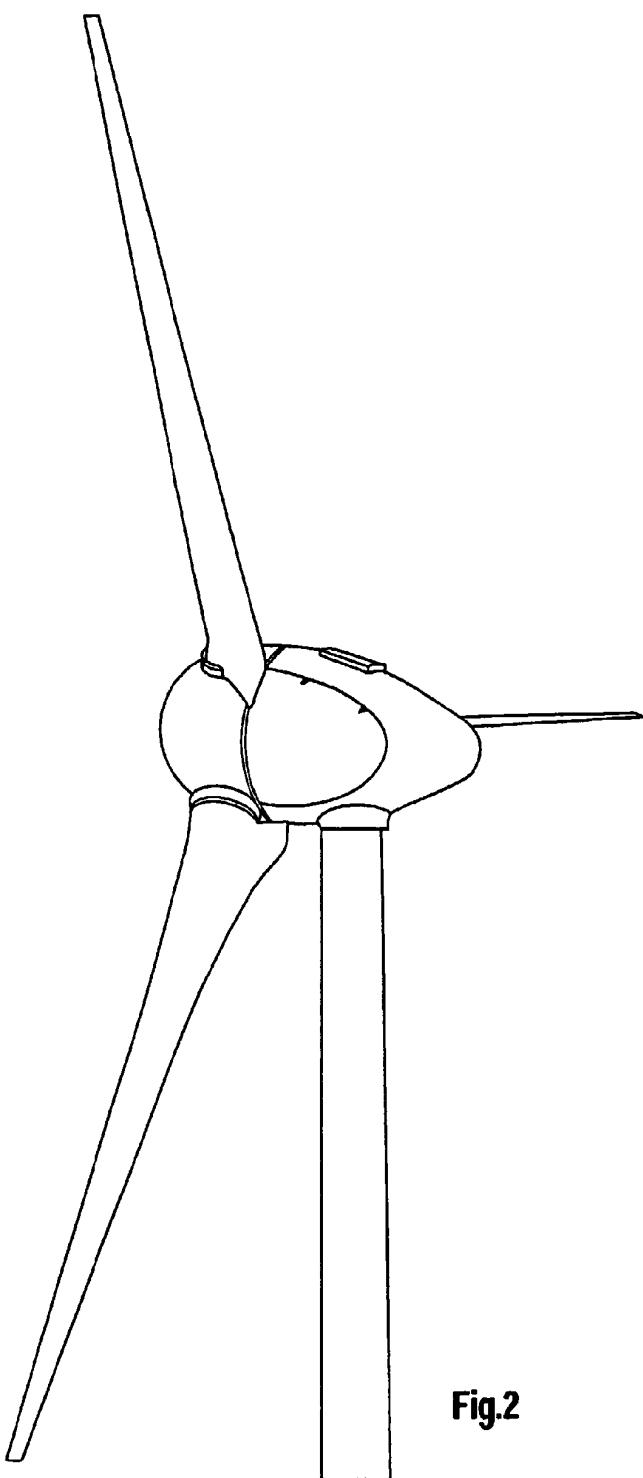
**18.** Central de energia eólica segundo uma das reivindicações anteriores,

**caracterizada pelo facto** da central de energia eólica possuir pelo menos uma pá de rotor, que é **caracterizada** por um lado de pressão e um lado de sucção, em que o comprimento do lado de sucção em relação ao comprimento do lado de pressão é inferior a um valor de 1,2, de preferência inferior a 1,1, e se encontra sobretudo numa faixa de valores entre 1 e 1,03.

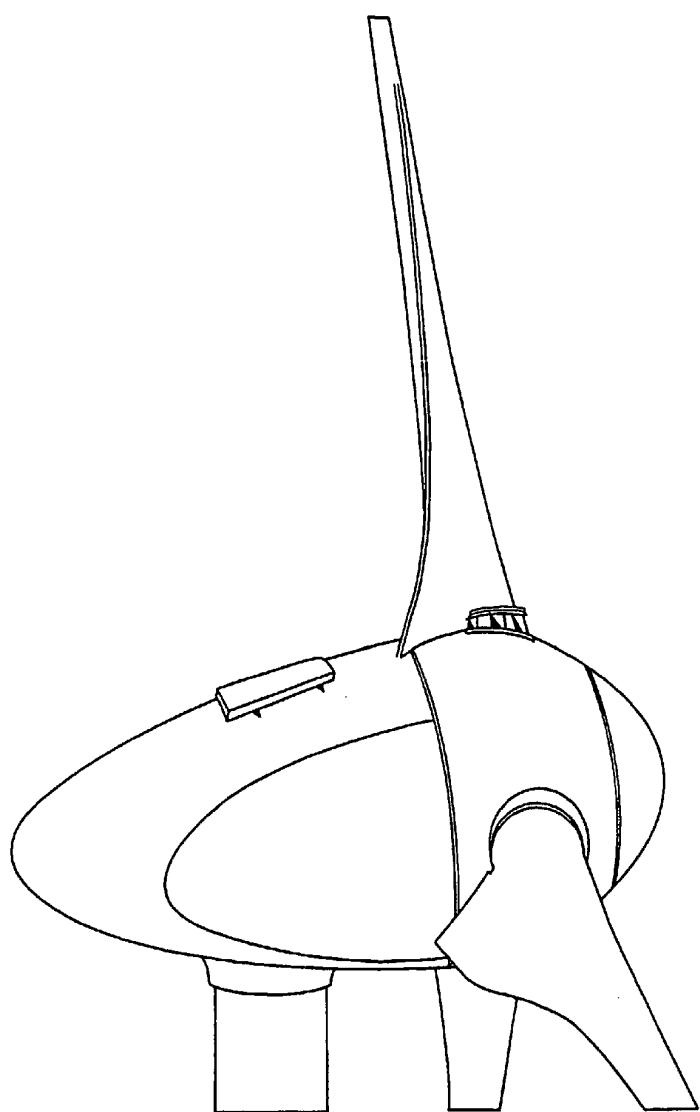
Lisboa, 23/11/2010



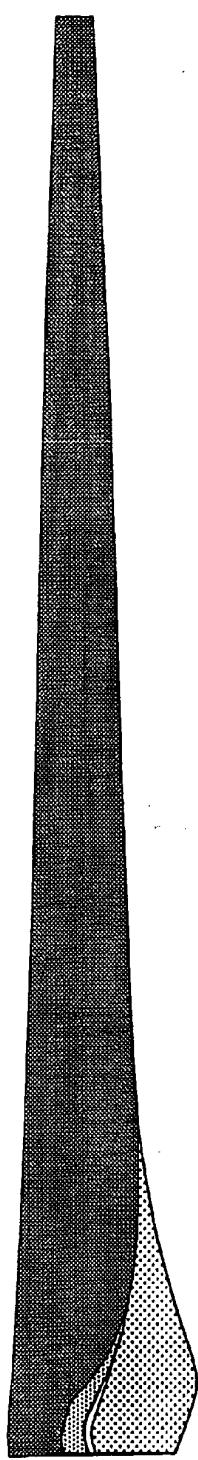
**Fig.1**



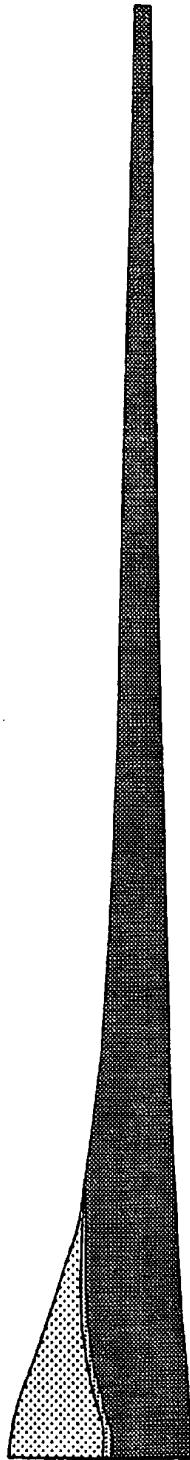
**Fig.2**



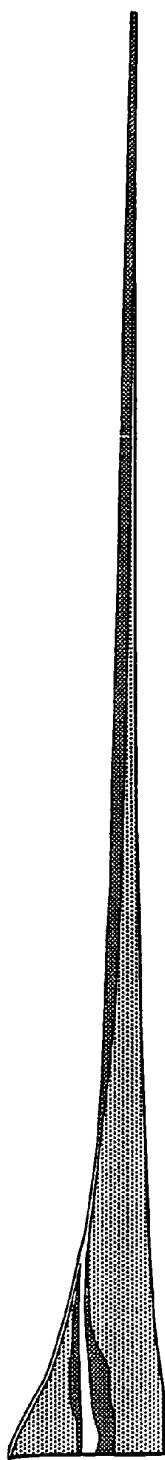
**Fig.3**



**Fig.4**



**Fig.5**



**Fig.6**

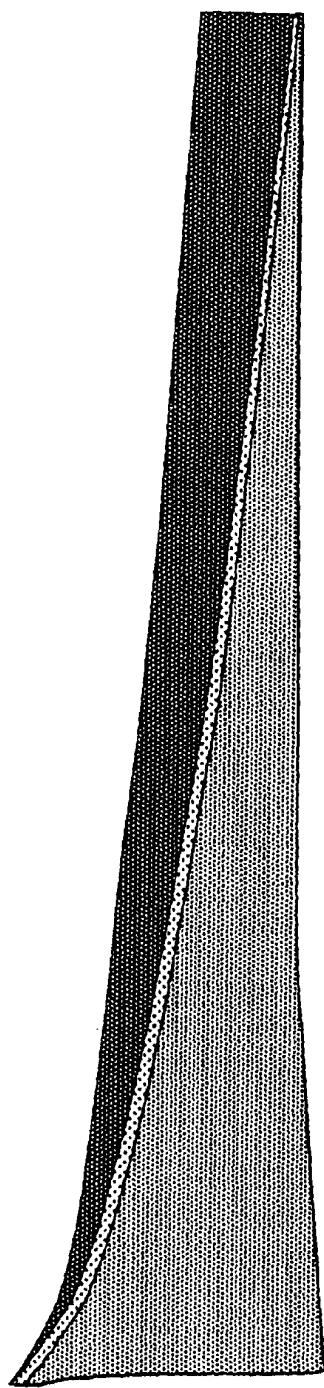
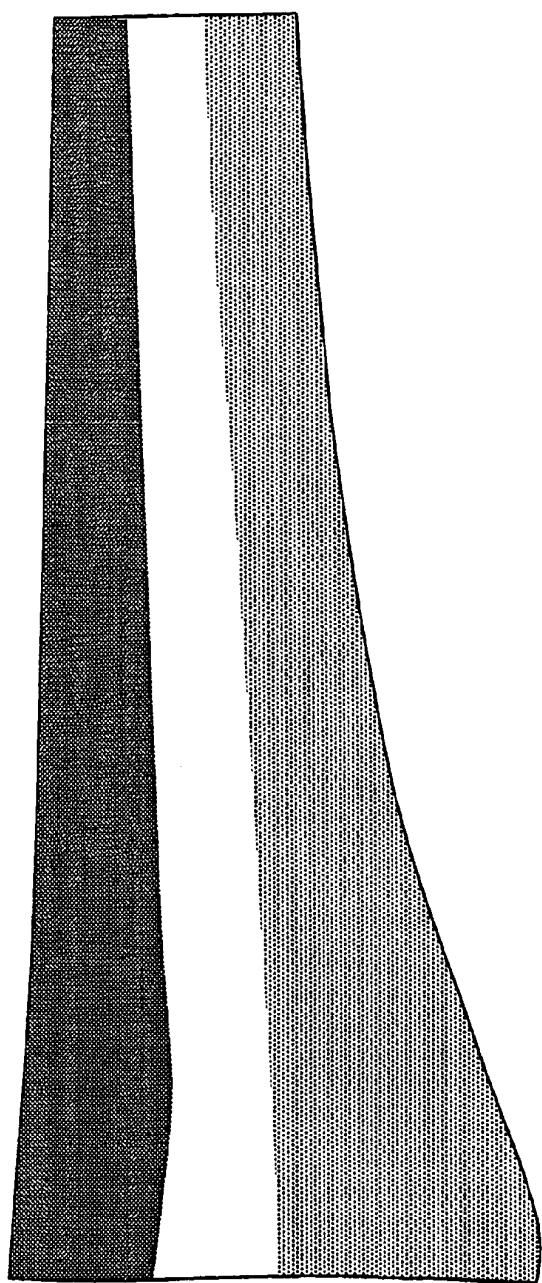
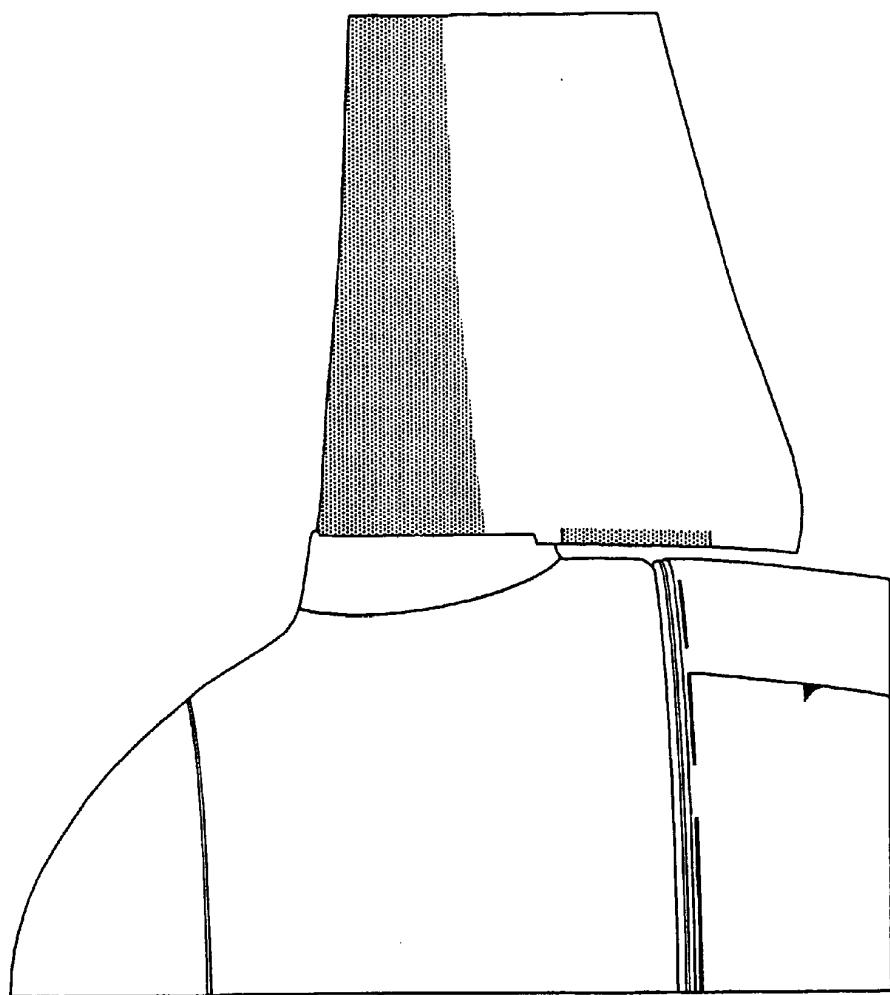


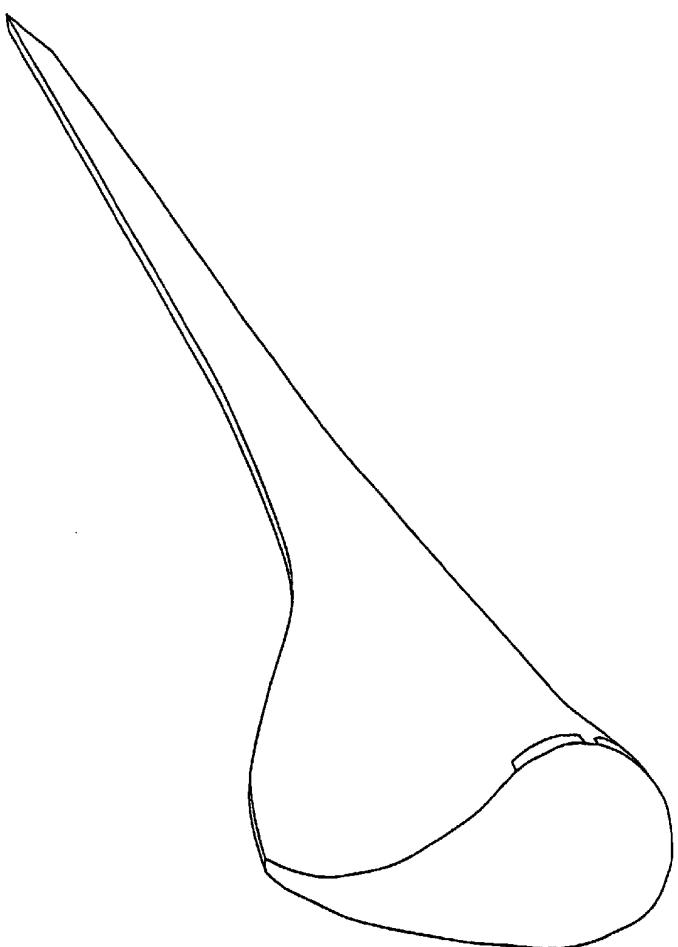
Fig.7



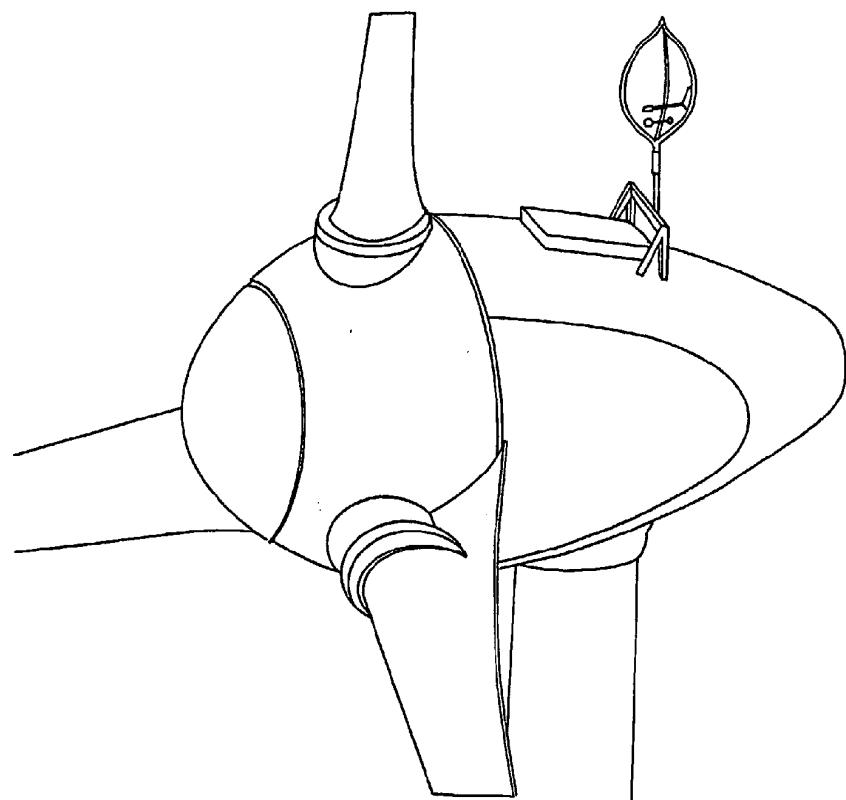
**Fig.8**



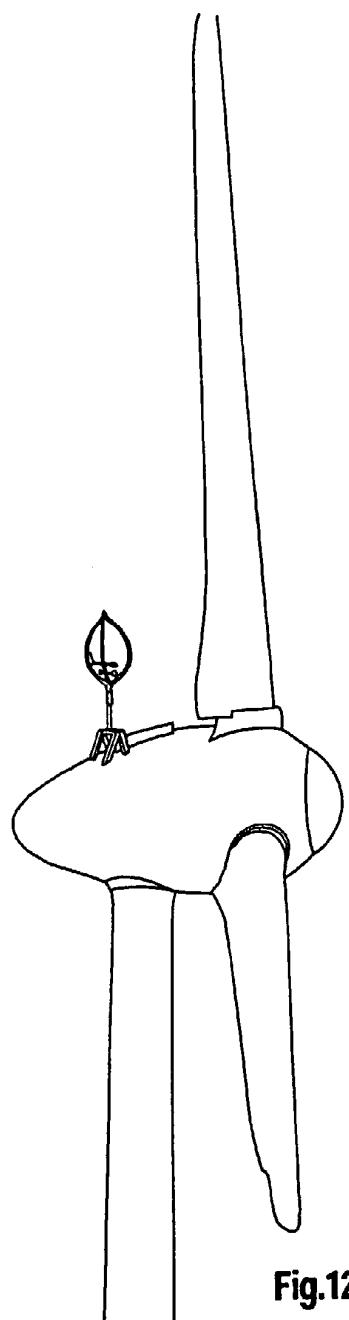
**Fig.9**



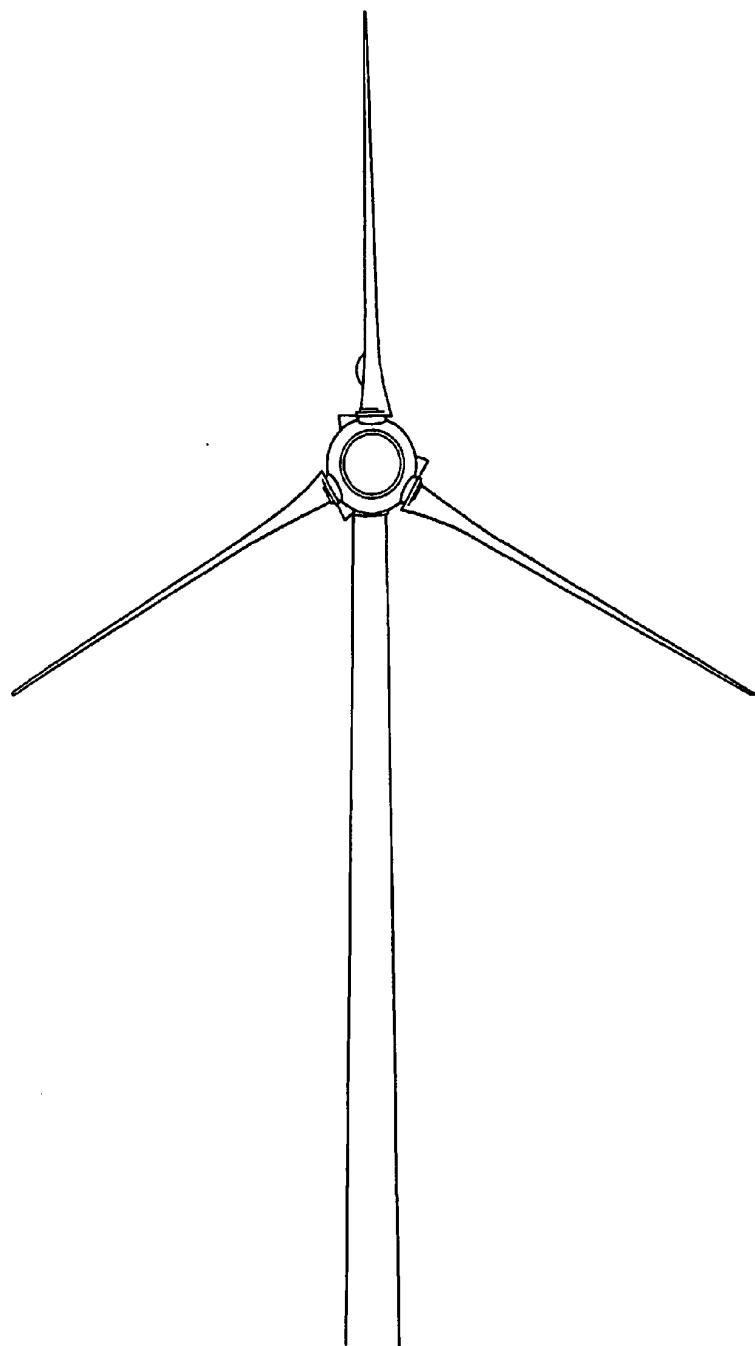
**Fig.10**



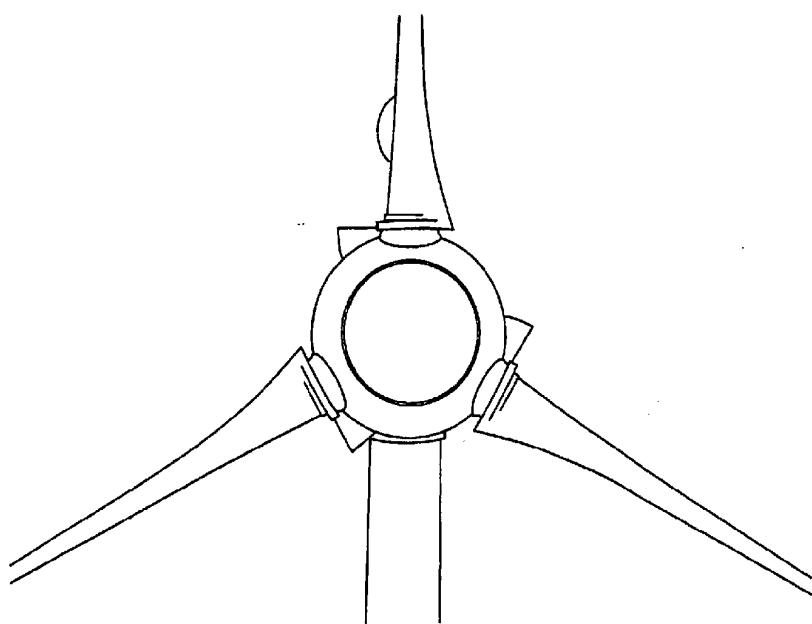
**Fig.11**



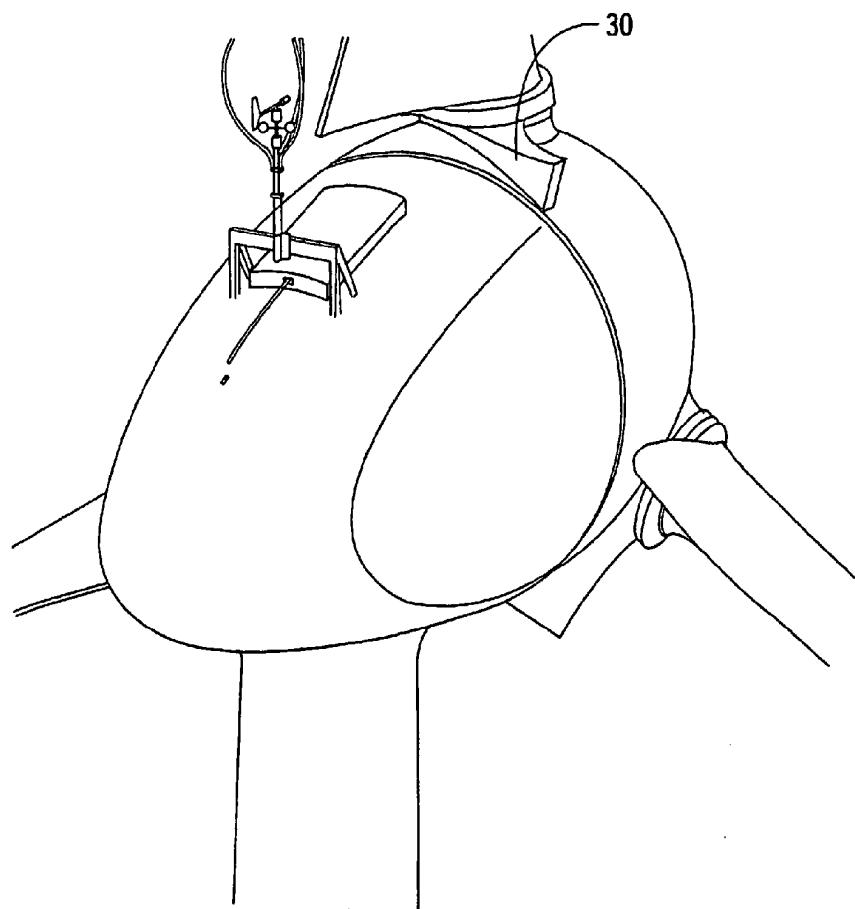
**Fig.12**



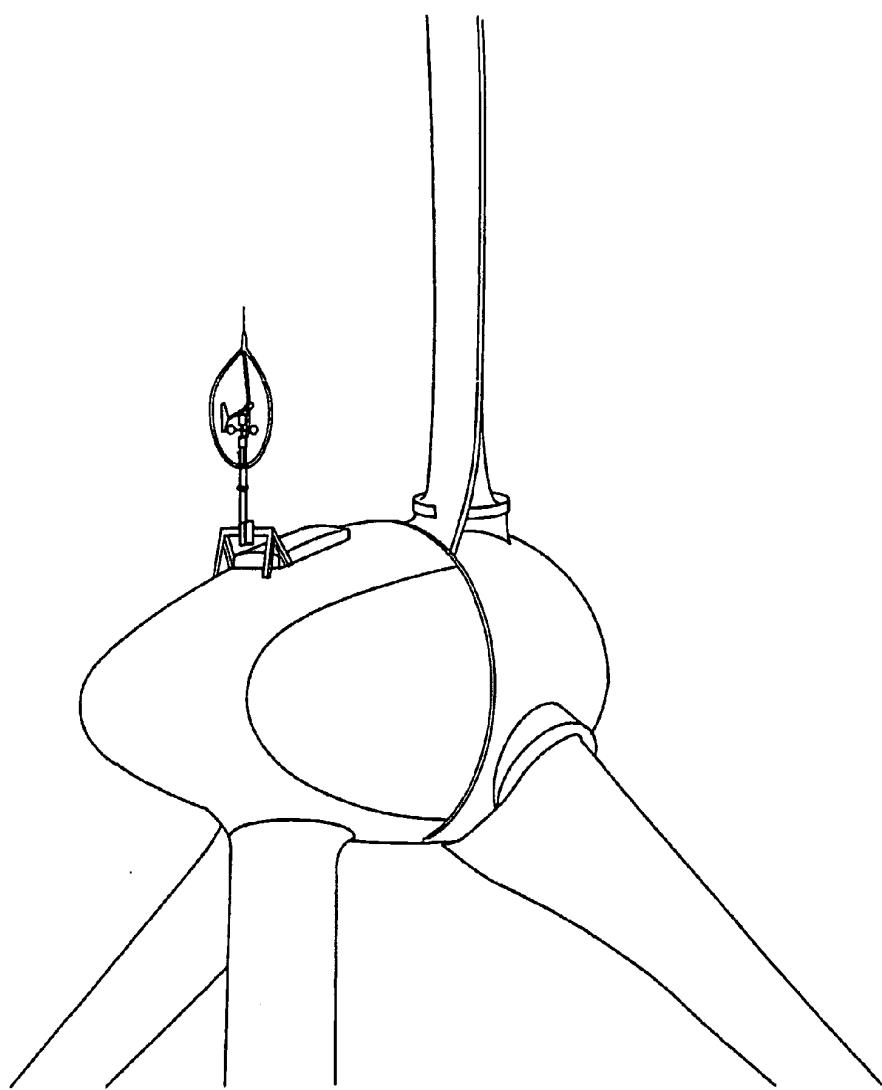
**Fig.13**



**Fig.14**



**Fig.15**



**Fig.16**

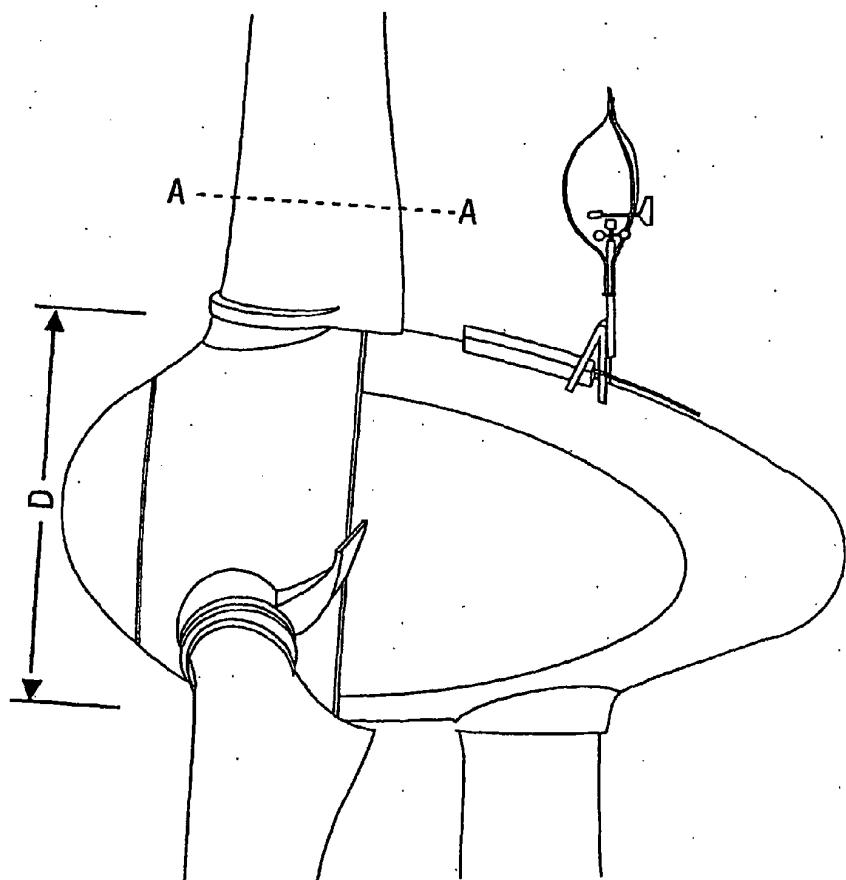


Fig.17

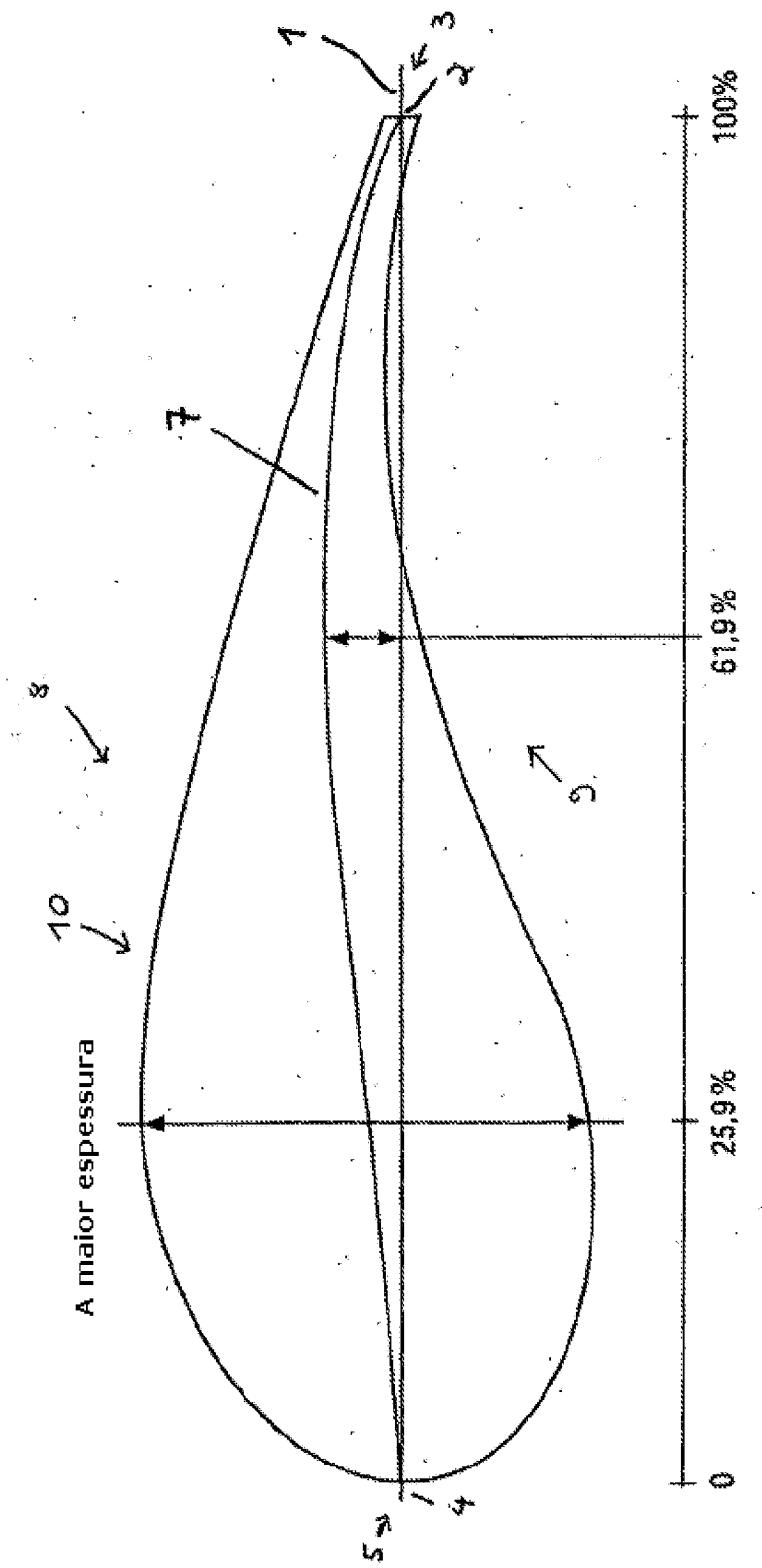
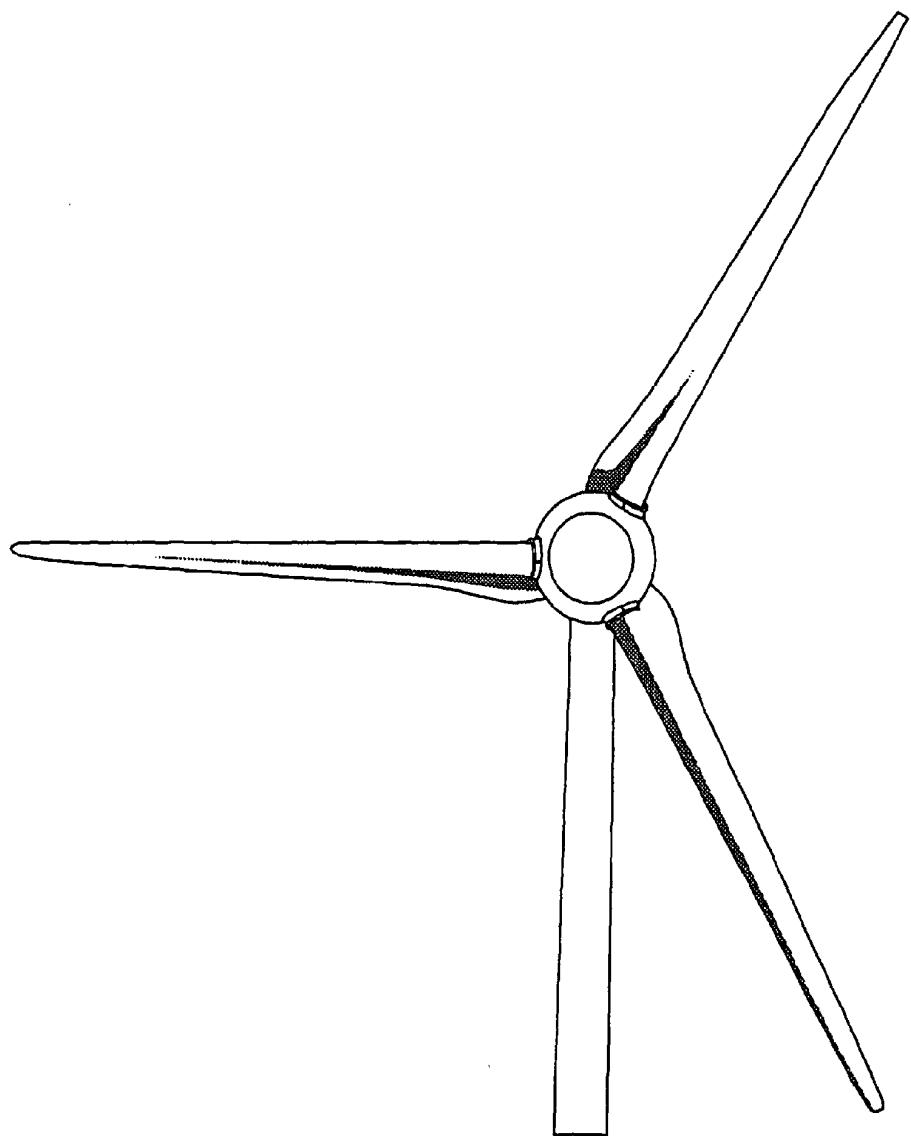


Fig.18



**Fig.19**