

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 607 880**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06 (2006.01)

F03D 80/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.05.2005** **E 05009781 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.09.2016** **EP 1596063**

54 Título: **Turbina eólica con palas de rotor curvadas**

30 Prioridad:

11.05.2004 DE 102004023774

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

04.04.2017

73 Titular/es:

**SENVION GMBH (100.0%)
Überseering 10
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

SCHUBERT, MATTHIAS

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 607 880 T3

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

Turbina eólica con palas de rotor curvadas

5 La presente invención se refiere a un aerogenerador con una torre en cuyo extremo superior se dispone una góndola. En la góndola se dispone por fuera un rotor que puede girar alrededor de un eje giratorio de rotor. El rotor presenta un cubo de rotor y al menos una pala de rotor que se extiende desde el cubo de rotor.

10 A fin de poder absorber toda la energía posible del viento por medio de un aerogenerador, el desarrollo de los aerogeneradores pasa por diseñar cada vez más grande el diámetro de los rotores. Los aerogeneradores conocidos ya presentan un diámetro de 90 m. Esto tiene como consecuencia que la masa del rotor, que por regla general presenta tres palas de rotor, también aumenta respectivamente. Entre otros, por este motivo se han desarrollado palas de rotor que son relativamente ligeras, pero que también presentan una rigidez correspondiente para ofrecer al viento la resistencia necesaria.

15 En general las palas de rotor utilizadas actualmente se componen de una construcción monocasco cerrada. El empleo de construcciones monocasco proporciona la ventaja de que las palas de rotor se pueden fabricar con una masa relativamente reducida y una gran rigidez. No obstante, las palas de rotor conocidas siguen presentando una cierta flexibilidad elástica que como es natural aumenta con la longitud de las palas de rotor.

20 La flexibilidad elástica de una pala de rotor debe tenerse en cuenta especialmente en la configuración de un aerogenerador del tipo rotor delantero (es decir, la instalación se configura de manera que el viento incida siempre en primer lugar en el rotor y a continuación en la torre), dado que las puntas de pala de rotor se pandean como consecuencia de la presión del viento en dirección de la torre. Cuanto más fuerte sea el viento, más grande es el pandeo que experimentan las puntas de pala de rotor en dirección de la torre. Esta curvatura de la pala de rotor orientada hacia la torre puede ser, en el peor de los casos, tan grande que se produzca una colisión de la pala o de las palas de rotor con la torre.

25 A fin de evitar una colisión, los aerogeneradores conocidos se configuran de manera que el rotor se disponga en la góndola separado a una distancia lo más grande posible de la torre. En virtud de la gran masa del rotor ya mencionada, esta instalación presenta sin embargo el inconveniente de que con una distancia cada vez mayor entre rotor y torre también aumenta respectivamente el momento de flexión y, por lo tanto, góndola y torre deben dimensionarse de modo que puedan absorber el momento de flexión, ocasionando este dimensionamiento unos costes elevados.

30 La tarea de la presente invención consiste en crear un aerogenerador con un rotor optimizado que se configure de manera que presente una masa lo más reducida posible y cuyas palas de rotor se configuren de modo que se pueda evitar de forma segura una colisión de las palas de rotor con la torre.

Esta tarea se resuelve con un aerogenerador con las características de la reivindicación 1.

35 Según la invención, la pala de rotor se dispone en el cubo de rotor en un ángulo obtuso respecto al eje giratorio de rotor orientada de forma inclinada alejándose de la torre y se configura en al menos una sección longitudinal de forma curvada respecto al eje longitudinal.

40 Por el documento DE 296 12 720 U1 se conoce la posibilidad de disponer las palas de rotor en un, así llamado, ángulo cónico para evitar una colisión de las palas de rotor con la torre. El ángulo cónico está formado por el eje longitudinal de la pala de rotor y de un plano normal, extendiéndose el plano de normal desde el punto de intersección del eje longitudinal y del eje giratorio de rotor perpendicular al eje giratorio de rotor. Sin embargo, esta configuración de rotor presenta el inconveniente de que para evitar de forma segura una colisión, el ángulo cónico debe configurarse relativamente grande (aproximadamente 3-7°). No obstante, a partir de un ángulo cónico de 2° el momento de flexión en la raíz de pala (zona de unión pala de rotor/cubo de rotor) aumenta notablemente como consecuencia de la fuerza centrífuga. Esto representa especialmente un inconveniente ya que en aerogeneradores del tipo rotor delantero este momento de flexión de fuerza centrífuga se produce adicionalmente al momento de flexión originado por la presión del viento y por consiguiente lo aumenta de forma desventajosa. Por este motivo el ángulo cónico debería ser como mínimo menor de 4°.

Además, la disposición de las palas de rotor con un ángulo cónico creciente reduce la superficie de ataque del viento de las palas de rotor, lo que puede provocar una merma en la generación de energía.

50 Por el documento WO 03/060319 A1 también se conoce la posibilidad de disponer las palas de rotor en un, así llamado, ángulo cónico para evitar una colisión de las palas de rotor con la torre. Con esta finalidad se dispone una pieza intermedia adecuada entre el cubo de rotor y la pala de rotor.

55 En la presente invención las palas de rotor presentan, además de un cono, una curvatura de pala. Gracias a esta combinación se consigue una distancia máxima posible entre la punta de pala de rotor y la pared de torre, sin que la configuración de rotor inventiva presente los inconvenientes descritos de las citadas configuraciones de rotor. Mediante la previsión de una curvatura de pala, el ángulo cónico puede elegirse mucho menor que el que se conoce por el estado de la técnica, permitiendo que las fuerzas centrífugas se mantengan en una zona aceptable y la

superficie de ataque del viento de las palas de rotor se disponga prácticamente perpendicular a la dirección del viento, mejorando, por consiguiente, la producción de energía.

Según una configuración ventajosa de la invención, la pala de rotor se conforma de modo que se configura con un desarrollo en línea recta en una primera sección longitudinal que empieza en el cubo de rotor hasta una distancia definida del cubo de rotor y se configura por zonas de forma curvada orientada hacia delante en una segunda sección longitudinal que sigue a la primera sección longitudinal y que se extiende hasta la punta de pala de rotor.

Por el documento DE 298 80 145 U1 se conoce la posibilidad de configurar una pala de rotor de manera que en primer lugar se extienda perpendicularmente al eje giratorio de rotor hacia fuera y que a continuación se siga extendiendo a distancia del cubo de una forma curvada orientada hacia fuera y hacia delante. Para conseguir una distancia suficiente entre las palas de rotor y la torre, las palas de rotor conocidas deben presentar una fuerte curvatura correspondiente. Sin embargo, la fuerte curvatura de pala necesaria ya conduce por sí sola a grandes problemas en la fabricación de la forma negativa de la pala de rotor, así como en la posterior producción de la pala de rotor. También en el transporte de la pala de rotor resultan muchas dificultades en virtud de las grandes dimensiones de las palas de rotor. Entretanto, las palas de rotor conocidas tienen generalmente una longitud de, como mínimo, 35 m. Si las palas de rotor de este tipo presentan adicionalmente una fuerte curvatura de pala, un transporte de las hojas sólo se puede realizar con medios de transporte contruidos especialmente para ello, produciéndose costes adicionales.

No obstante, las palas de rotor con una curvatura de pala demasiado fuerte presentan además otro inconveniente decisivo. Debido a la curvatura de pala se originan en la pala altas cargas de torsión que conducen a un alabeo de la pala de rotor aerodinámicamente desventajoso. A menudo los aerogeneradores conocidos se configuran de manera que las palas de rotor se apoyen en el cubo de rotor de forma giratoria alrededor de su eje longitudinal. El motivo es que de este modo se crea la posibilidad de regular la absorción de energía del viento en virtud de un ajuste de la orientación de las palas de rotor, llevándose a cabo el ajuste de las palas de rotor a través de sistemas de ajuste de palas. Los momentos de ajuste necesarios son mínimos si la pala de rotor en estado de carga máxima es lo más recta posible. Por otra parte, por motivos de seguridad resulta conveniente que el momento de torsión de la pala actúe de modo que la pala gire en la dirección que reduce la carga, la, así llamada, posición de bandera.

En las grandes instalaciones actuales, que sólo se diseñan con curvatura previa, la curvatura previa necesaria ya es demasiado grande para poder realizar un servicio con poca carga y cumplir el aspecto de la seguridad. Gracias a la combinación según la invención del ángulo cónico y la curvatura previa se mejoran considerablemente ambos aspectos.

El documento DE 298 80 145 U1 indica de forma explícita que la disposición en ángulo obtuso de las palas de rotor respecto al eje giratorio de rotor resulta desventajosa. Además de los inconvenientes arriba descritos, la disposición cónica de las palas de rotor también presenta el inconveniente de ser muy cara en la fabricación. Por otra parte, el "rotor cónico" da motivo a la crítica desde un punto de vista estético.

Por el contrario, en la presente invención se ha comprobado que gracias a una combinación de estas dos configuraciones de rotor, presentando cada una por sí sola inconvenientes, es posible conseguir una configuración de rotor óptima.

La presente invención ofrece la ventaja de que es posible evitar fácilmente una colisión sin mermas significativas en la generación de energía ni cargas aumentadas a causa de la aparición de fuerzas centrífugas o torsión.

Mediante la construcción de rotor según la invención, la pala de rotor se puede construir de manera que se pueda admitir una deformación clara de la estructura de pala en dirección de impacto sin influir negativamente en los requisitos de seguridad. Además, la construcción de la pala con una masa claramente menor se adapta sin problemas a la estructura de pala que la soporta. Especialmente en caso de palas de materiales compuestos de fibras con una matriz de resina epoxi esta ventaja se puede aprovechar de forma útil, dado que las propiedades de resistencia funcional de esta matriz son especialmente buenas y, por lo tanto, la seguridad de estructura para la sollicitación de cargas extremas y de cargas de resistencia funcional resultan muy similares entre sí, es decir, el material se puede utilizar óptimamente en cualquier aspecto.

La configuración de rotor según la invención ofrece además la ventaja de que mediante la combinación de cono y curvatura de pala reducida se obtienen en gran parte las ventajas de una curvatura de pala fuerte, no obstante con la diferencia fundamental de que gracias a la zona interior recta y a la pala de rotor inclinada (alrededor del ángulo cónico) se reducen considerablemente las cargas de torsión en la pala y en los sistemas de ajuste de pala, es decir, se evitan los inconvenientes de una curvatura de pala fuerte.

La curvatura de pala según la invención puede presentar formas diferentes. Así, la curvatura de pala ya puede comenzar, por ejemplo, en la zona del cubo de rotor. La realización más ventajosa resulta si la pala de rotor es sometida a presión durante el funcionamiento normal, es decir, con velocidades del viento ligeramente por debajo de la velocidad nominal del viento en una forma aproximadamente recta. Con esta finalidad, el diseño más sencillo consiste en generar la curvatura previa mediante la superposición de las dos primeras formas propias de oscilación. Teóricamente esto conduce a desarrollos de curvatura que comienzan directamente en la raíz de pala con curvaturas previas muy reducidas. Dado que la raíz de pala de rotor se realiza comparativamente muy rígida, los cálculos llevados a cabo por la solicitante dan como resultado que en la práctica es suficiente una curvatura previa

que comienza aproximadamente en un 40% del radio de rotor, es decir, que la primera sección longitudinal constituye aproximadamente el 40% de la longitud de pala.

No es preciso realizar la curvatura en la segunda sección longitudinal de forma continua. Una realización ventajosa también prevé realizar a su vez la zona de la punta de pala recta después de una zona curvada. Esto puede resultar especialmente ventajoso bajo puntos de vista de fabricación y transporte.

Como ya se ha mencionado más arriba, como consecuencia de una curvatura de pala de rotor demasiado fuerte también surgen problemas en relación con el transporte de las palas de rotor. Según otra configuración ventajosa de la solicitud, la segunda sección longitudinal también puede configurarse, por consiguiente, de manera que represente menos de una tercera parte de la pala de rotor.

La pala de rotor se acopla de forma giratoria al cubo de rotor a través de un soporte de pala. El soporte de pala presenta un anillo exterior y un anillo interior, uniéndose de forma fija, según una configuración ventajosa de la invención, el anillo interior al cubo de rotor y uniéndose de forma fija el anillo exterior a la pala de rotor.

Gracias a la configuración ventajosa en la que la pala de rotor se monta en el anillo exterior, se crea la posibilidad de reducir aún más la masa del rotor. En aerogeneradores conocidos, la pala de rotor se fija por regla general en el anillo interior del soporte de pala. A fin de poder ahorrar más masa, el diámetro de la pala de rotor debería ser mayor en su zona de raíz (la zona en la que la pala de rotor se une al cubo).

El diámetro más grande se realiza de un modo ventajoso mediante el montaje según la invención de la pala en el anillo exterior de soporte, sin que el diámetro de la zona de unión se tenga que aumentar de forma correspondiente en el cubo de rotor. Gracias a esta geometría es posible maximizar el momento de resistencia si se utilizara la misma cantidad de material que hasta ahora.

Mediante la modificación de la geometría en la zona de la raíz de pala, las cargas que se producen prácticamente no varían, dado que los momentos de flexión permanecen prácticamente constantes frente a la configuración conocida, por lo que gracias al montaje preferible según la invención de la pala de rotor en el anillo exterior se ha creado la posibilidad de ahorrar material y así mantener constante el momento de resistencia, de manera que mediante la configuración ventajosa se consigue otra reducción de la masa del rotor.

Por medio del montaje del anillo interior del soporte de pala en el cubo de rotor resulta además la ventaja fundamental de que las dimensiones del cuerpo de cubo pueden mantenerse más reducidas que en la configuración de rotor conocida.

Según otra configuración ventajosa de la invención, el eje giratorio de rotor se configura inclinado hacia arriba frente a la horizontal.

Esta configuración también se conoce por el documento DE 296 12 720 U1 y el documento DE 298 80 145. Sin embargo, ésta presenta el gran inconveniente de que para poder evitar con seguridad una colisión, la superficie de ataque de la pala de rotor también se dispone aquí de forma poco propicia respecto a la dirección del viento y, por consiguiente, mediante esta configuración también se producen mermas de potencia sensibles.

No obstante, gracias a la combinación con el cono y la curvatura de pala, la inclinación puede ser respectivamente reducida, de modo que, por lo tanto, se pueden minimizar las mermas de potencia.

El ajuste de pala se lleva a cabo a menudo de manera que el anillo del soporte de pala, en el que está montada la pala de rotor, presente un dentado. Con el dentado engrana un piñón que se desplaza mediante un accionamiento de ajuste en un movimiento giratorio, permitiendo un ajuste de la posición angular de la pala de rotor. Como ya se ha mencionado antes, en los aerogeneradores conocidos la pala de rotor se monta en el anillo interior del soporte de pala. El anillo interior presenta, con fines de ajuste, un dentado interior y el piñón y el accionamiento de ajuste también se disponen respectivamente en el interior. En configuraciones ventajosas de la configuración de rotor según la invención, la pala se monta en el anillo exterior del soporte de pala. Por lo tanto, el anillo exterior presenta un dentado exterior y el accionamiento de ajuste se dispone por fuera.

Gracias a la disposición exterior del accionamiento de ajuste es posible configurar la conexión de pala por el lado del cubo claramente más inclinada que antes, dado que el espacio interior de brida se puede utilizar para un nervio de refuerzo periférico ininterrumpido. La construcción compacta permite una realización claramente más inclinada del cubo, lo que representa un criterio de diseño importante para el soporte de pala. Por el contrario, esto conduce con la misma rigidez a evidentes ventajas para la resistencia funcional del cubo de rotor, de la unión atornillada entre el soporte de pala y el cubo, y del soporte de pala. La disposición exterior de los accionamientos de ajuste provoca además, como consecuencia del brazo de palanca aumentado respecto al punto central del soporte de pala, mayores momentos de ajuste con la misma potencia motriz. Por otra parte, debido a la disposición exterior los accionamientos no están sujetos prácticamente a ninguna limitación de tamaño, como era el caso en la disposición interior.

La configuración de rotor según la invención no sólo unifica todas las ventajas de las distintas soluciones conocidas, sino que también tiene efectos sinérgicos adicionales. Así, la configuración de rotor según la invención ofrece la ventaja de que todos los componentes se pueden realizar otra vez fundamentalmente más ligeros que en la

realización como características individuales. Además gracias a las dimensiones comparativamente reducidas resultan ventajas adicionales en la fundición y el transporte del cuerpo de cubo.

En la disposición conocida, el acceso al interior de la pala de rotor sólo era posible de forma muy limitada en virtud del accionamiento de ajuste. Este acceso es ahora claramente más sencillo gracias a la disposición exterior del accionamiento de ajuste de acuerdo con las configuraciones ventajosas de la invención.

A continuación la invención se explica más detalladamente a la vista de un ejemplo de realización. Se puede ver en la:

Figura 1 un aerogenerador con una configuración de rotor según la invención,

Figura 2 una sección a través del rotor de un aerogenerador según la invención en la zona de la unión pala de rotor/cubo de rotor.

La figura 1 muestra un aerogenerador 1 con una torre 2 en cuyo extremo superior se dispone una góndola 3. En la góndola se dispone un rotor 5 que puede girar alrededor de un eje giratorio de rotor 4 y que presenta un cubo de rotor 6, así como palas de rotor 7 que se extienden desde el cubo de rotor 6 hacia fuera y que pueden girar alrededor de un eje longitudinal 8.

En el ejemplo de realización representado, las palas de rotor 7 se disponen en un ángulo cónico α , que se forma a través del eje longitudinal 8 de la pala de rotor 7 y el plano normal, respecto al cubo de rotor 6, extendiéndose el plano normal desde el punto de intersección del eje longitudinal 8 y del eje giratorio de rotor 4 perpendicular al eje giratorio de rotor 4. Las palas de rotor 7 se configuran de manera que presenten una primera sección longitudinal I que se configura desarrollándose en línea recta desde el cubo de rotor. A la primera sección longitudinal I le sigue la segunda sección longitudinal II que se extiende de forma curvada orientada hacia delante hasta la punta de pala de rotor.

Para que las palas de rotor puedan girar libremente y no colisionen con la torre, el rotor 5 se dispone respecto a la góndola 3, de modo que se prevea un saledizo U respecto al eje de torre 9. Como se puede ver en la figura 1, el saledizo U se puede configurar, gracias a la configuración de pala de rotor según la invención, ventajosamente más corto de lo que sería si, por ejemplo, el rotor sólo presentara la disposición cónica de las palas de rotor.

La figura 2 muestra en una media sección una brida de conexión 20 de un cubo de rotor que se acopla a una pala de rotor 22 a través de un soporte de pala 21. En el caso del soporte de pala se trata de un soporte de cuatro puntos que presenta un anillo interior 23 y un anillo exterior 24, uniéndose de forma fija el anillo interior 23 a través de uniones atornilladas 25 a la brida de conexión 20 del cubo de rotor y uniéndose de forma fija la pala de rotor 22 a través de uniones atornilladas 26 al anillo exterior 24.

Como ya se ha dicho anteriormente en varias ocasiones, los aerogeneradores conocidos se configuran por regla general de manera que la pala de rotor 22 se monte en el anillo interior 23. La variante de realización mostrada presenta, en cambio, la ventaja de que bien se puede utilizar una pala de rotor que presente un diámetro de conexión de rotor más grande o, por el contrario existe la posibilidad de que el diámetro de la conexión de rotor se mantenga constante y que el diámetro de la brida de conexión en el cubo de rotor se configure más pequeño, creándose así ventajosamente un cubo más compacto.

Junto a las ventajas antes ya comentadas, esta configuración ofrece además otra ventaja respecto a las uniones atornilladas de la brida: la unión atornillada de la pala de rotor al soporte de pala debe valorarse de forma mucho más crítica que la unión atornillada del cubo de rotor al soporte de pala, lo que debe atribuirse a la gran elasticidad de la raíz de pala fabricada de materiales compuestos de fibras. Un diámetro de brida mayor en la raíz de pala frente a la brida de conexión aumenta, por consiguiente, la rentabilidad de ambas uniones por bridas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Aerogenerador (1) con una torre (2), una góndola (3) dispuesta en el extremo superior de la torre (2), un rotor (5) que se apoya por fuera en la góndola de forma giratoria alrededor de un eje giratorio de rotor (4) y que presenta un cubo de rotor (6, 20) y al menos una pala de rotor (7, 22) que se extiende desde el cubo de rotor (6, 20), disponiéndose la pala de rotor (7, 22) en el cubo de rotor (6, 20) en ángulo obtuso respecto al eje giratorio de rotor (4) orientada de forma inclinada y alejándose de la torre (2), caracterizado por que la pala de rotor (7, 22) se configura en al menos una sección longitudinal de forma curvada respecto al eje longitudinal (8).
- 10 2. Aerogenerador según la reivindicación 1, caracterizado por que la pala de rotor (7, 22) se realiza de manera que ésta se configure en una primera sección longitudinal (I) que comienza en el cubo de rotor (6, 20) desarrollándose en línea recta hasta una distancia definida del cubo de rotor (7, 22) y de manera que se configure por zonas de forma curvada orientada hacia delante en una segunda sección longitudinal (II) que sigue a la primera sección longitudinal y que se extiende hasta la punta de pala de rotor.
- 15 3. Aerogenerador según la reivindicación 2, caracterizado por que la segunda sección longitudinal (II) constituye menos de una tercera parte de la pala de rotor (7, 22).
- 20 4. Aerogenerador según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la pala de rotor (7, 22) se acopla de forma giratoria a un soporte de pala (21) montado en el cubo de rotor (6, 20) y por que el soporte de pala (21) presenta un anillo exterior (24) y un anillo interior (23), uniéndose el anillo interior (23) de forma fija al cubo de rotor (6, 20) y uniéndose el anillo exterior (24) de forma fija a la pala de rotor (7, 22).
- 25 5. Aerogenerador según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el eje giratorio de rotor (4) está inclinado hacia arriba frente a la horizontal.

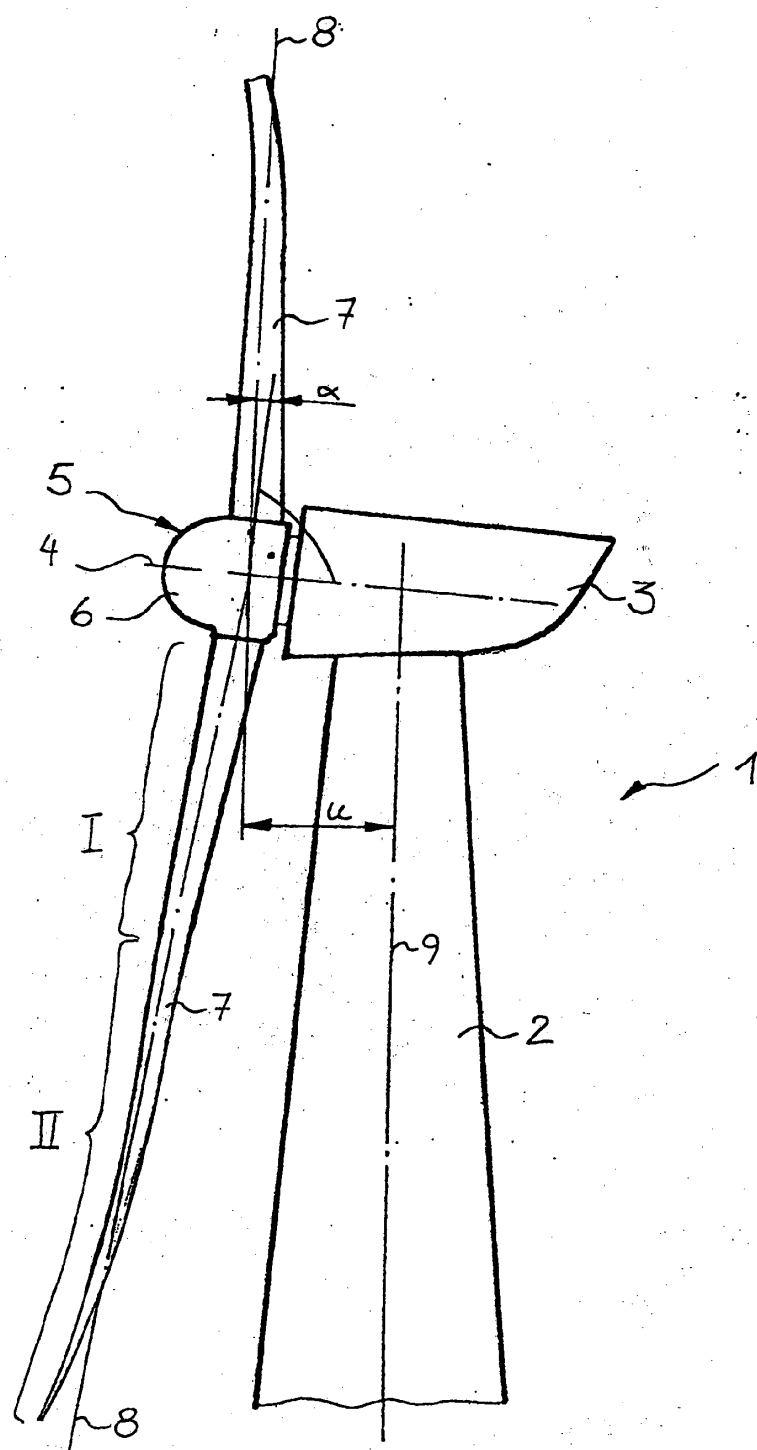


Fig 1

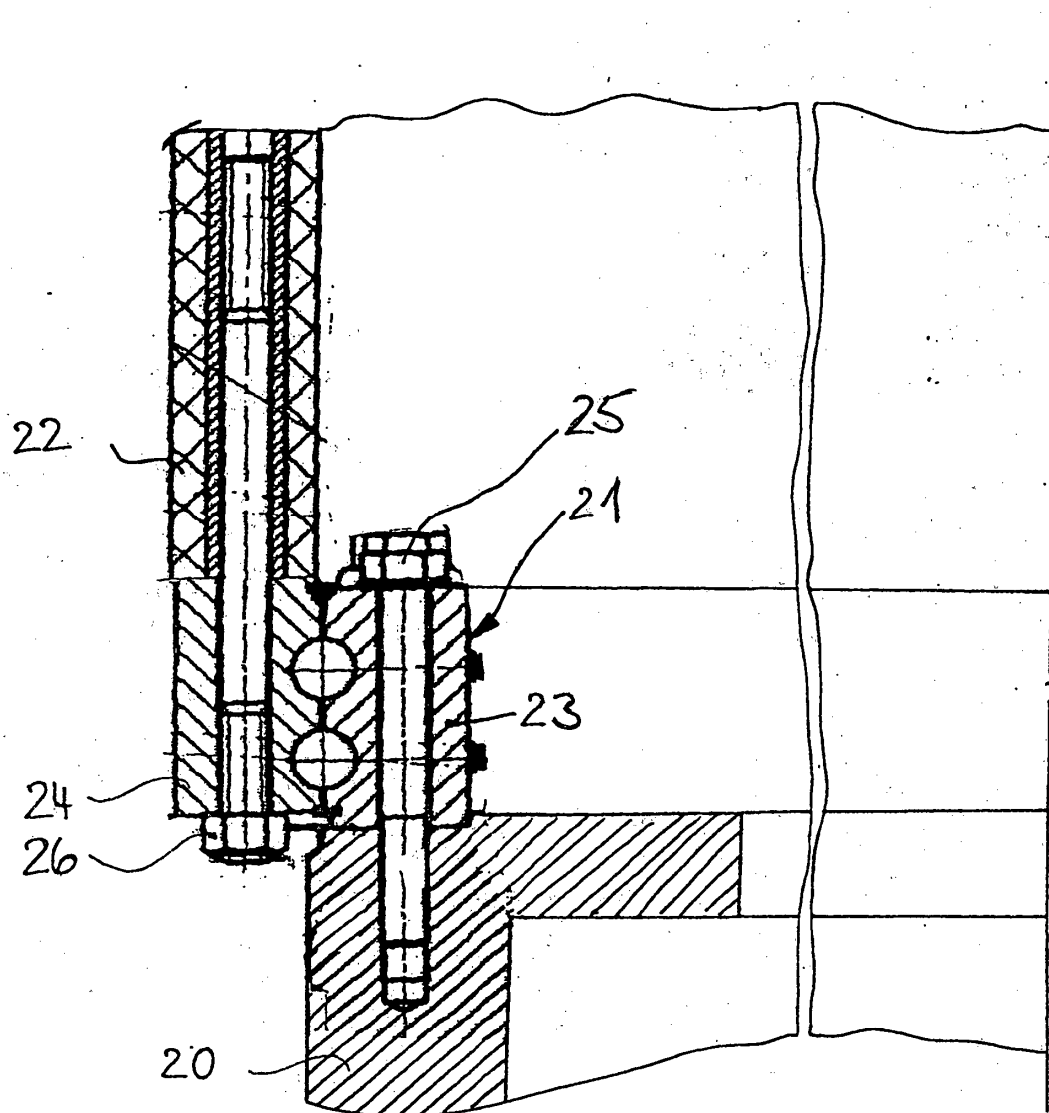


Fig 2