

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 581 322**

51 Int. Cl.:

**F03D 13/25** (2006.01)

**F03D 7/02** (2006.01)

**F03D 7/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.12.2011 E 11807716 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.04.2016 EP 2655877**

54 Título: **Turbina eólica marítima flotante que incluye un sistema de estabilización activo en inclinación de la góndola**

30 Prioridad:

**23.12.2010 FR 1005063**

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

**05.09.2016**

73 Titular/es:

**IFP ENERGIES NOUVELLES (100.0%)  
1 et 4 avenue de Bois Préau  
92852 Rueil Malmaison Cedex, FR**

72 Inventor/es:

**WITTRISH, CHRISTIAN y  
LONGUEMARE, PASCAL**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 581 322 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 marítima flotante que incluye un sistema de estabilización activo en inclinación de la góndola

- 5 El objeto de la presente invención se refiere a las turbinas eólicas instaladas en el mar sobre un soporte flotante y más particularmente a los sistemas de mantenimiento del eje de rotación de las palas según una dirección impuesta con relación a la dirección real del viento, para todos los movimientos del soporte de la turbina eólica, es decir el mástil y su soporte flotante.
- 10 En el caso de una turbina eólica estándar, la góndola puede llevar tres palas (por ejemplo de una longitud de aproximadamente 60 m) fijadas a un rotor que hace girar, por medio de un reductor de velocidad, un generador eléctrico y unos accesorios tales como un sistema de orientación de las palas, unos transformadores eléctricos, un sistema hidráulico, la ventilación. La estructura de la góndola reposa sobre una corona de orientación, a su vez soportada por el mástil.
- 15 La góndola está permanentemente orientada en azimut para tener el plano de rotación de las palas enfrentado al viento. Para ello la góndola es móvil en rotación con relación al eje del mástil, mediante la tracción de uno (o varios) engranajes motorizados, que cooperan con una corona dentada. El conjunto de una góndola puede pesar del orden de 200 a 300 toneladas.
- 20 El mástil, de una altura de alrededor de 100 m, que soporta la góndola reposa sobre un soporte flotante mantenido y sustancialmente estabilizado mediante unas líneas de anclaje, en el caso de profundidades de agua superiores a 100 m.
- 25 La góndola de la turbina eólica está sometida a numerosas fuerzas y sollicitaciones ligadas a la velocidad del viento. Esto se traduce en un empuje sobre las palas soportado por un apoyo giratorio que tiene su parte móvil solidaria con el eje del rotor.
- 30 Esta fuerza de empuje, o fuerza axial, orientada según la dirección del viento, tiene un valor que depende del ángulo de cada pala ("pitch") con relación a la dirección del viento.
- En el caso de turbina eólica sobre soporte flotante, el soporte flotante está sometido a diferentes fuerzas que proceden de los efectos combinados del viento, de las olas, de las corrientes marinas, de las líneas de anclaje, de los efectos del mástil sobre el soporte flotante, de su inclinación y de su flexión por las fuerzas aplicadas debidas al viento y a la góndola.
- 35 El sistema "turbina eólica sobre soporte flotante" está sometido a un conjunto de fuerzas complejas que actúan según diferentes direcciones, que tienen diferentes valores, estáticas, periódicas, aperiódicas. Estas fuerzas, ligadas e interdependientes, proceden de los efectos del viento sobre las palas y la góndola, el mástil, el soporte flotante, unas líneas de anclaje y unos efectos del viento, unas olas y unas corrientes sobre este soporte flotante.
- 40 Es la dirección del viento la que impone la dirección de la fuerza axial aplicada al rotor puesto que el plano de rotación de las palas debe estar orientado permanentemente perpendicular a la dirección del viento, y ello para tener una absorción máxima de la energía del viento para un mejor rendimiento o eficacia.
- 45 La dirección del viento en el espacio puede definirse por dos ángulos:  
 - el ángulo de inclinación que forma la dirección del viento con relación al plano horizontal tomado como referencia y  
 - el ángulo de azimut que forma, en este mismo plano horizontal, la dirección del viento con la dirección del campo magnético terrestre tomado como referencia.
- 50 Las turbinas eólicas convencionales actualmente utilizadas en tierra o en el mar sobre soporte fijo o flotante, incluyen una góndola móvil en rotación según un eje del mástil pudiendo estar orientada en azimut. Pero, ninguna turbina eólica incluye unos medios activos de control de la inclinación de la góndola con relación a la referencia horizontal en función de los desplazamientos periódicos debidos a la flotación del soporte, o las variaciones de dirección del viento.
- 55 De ese modo, la presente invención se refiere a una turbina eólica.
- 60 La góndola puede estar articulada alrededor de un árbol horizontal y reposar sobre un apoyo en sector circular centrado sobre el eje de dicho árbol.
- La góndola puede incluir un sistema de transferencia de masa de manera que se desplace el centro de gravedad del conjunto suspendido.
- 65 Una masa puede transferirse sobre un deslizador.

Una masa líquida puede transferirse por bombeo.

El sector circular puede incluir un sistema dentado que coopera con un piñón motorizado según los medios de regulación automática.

5 La góndola puede incluir unos medios de desplazamiento del punto de articulación de manera que desplace el centro de gravedad del conjunto suspendido, con relación al mástil.

10 La invención se comprenderá mejor y surgirán más claramente sus ventajas tras la lectura de los siguientes ejemplos del presente documento, en ningún caso limitativos e ilustrados por las figuras adjuntas en el presente documento a continuación, entre las que:

- la figura 1 muestra esquemáticamente una turbina eólica marítima,
- las figuras 2 y 3 muestran esquemáticamente dos modos de realización,
- 15 - la figura 4 muestra el principio de la góndola articulada y soportada por su base,
- las figuras 5 y 6 muestran esquemáticamente la transferencia de masa de equilibrado,
- las figuras 7 y 8 muestran esquemáticamente unos medios de desplazamiento del centro de gravedad del conjunto suspendido.

20 El objeto de la presente invención se refiere a la estabilización activa de la góndola de una turbina eólica por medio de actuadores para mantenerla en permanencia orientada según el eje real del viento detectado en inclinación y en azimut.

25 La góndola es solidaria con el mástil y con el soporte. Para ello la orientación de la góndola según el eje real del viento debe hacerse para todos los ángulos de inclinación y de azimut del mástil y para todos los movimientos periódicos o aperiódicos, de amplitudes variables, movimientos ligados a la flexibilidad del mástil y al desplazamiento de su soporte, en particular flotante.

30 La figura 1 muestra esquemáticamente una turbina eólica marítima en la que la góndola 1 soportada por el mástil 2, oscila en un ángulo  $\alpha$  siguiendo la oscilación del soporte flotante 3 amarrado por unas líneas de anclaje 4. El objeto de la presente invención es equipar a la góndola con un sistema de corrección del plano de rotación de las palas soportadas por la góndola, continuamente en función de las oscilaciones del soporte flotante, o de las flexiones del mástil.

35 Las figuras 2 y 3 muestran esquemáticamente dos modos de realización, en su principio.

40 La figura 2 muestra el principio del péndulo invertido, estando soportada la góndola 1 por una cuna 5 en equilibrio inestable sobre un árbol de rotación 6 situado por debajo del centro de gravedad del conjunto móvil, es decir de la góndola y de la cuna. Unos medios de activación 7a y 7b, o 9a y 9b, representados por unas flechas, controlan la posición del eje 8 de la góndola, con relación a una referencia.

45 La figura 3 muestra el principio del péndulo suspendido, o balancín, en el que la góndola está suspendida sobre un árbol de rotación en suspensión 11. Unos medios de activación 10a y 10b, representados por unas flechas, controlan la posición del eje 8 de la góndola, con relación a una referencia.

Para estos dos principios, los medios de activación están adaptados para actuar dinámicamente para la estabilización de la góndola de manera que efectúen unas correcciones sincronizadas con la frecuencia de las oscilaciones.

50 Las direcciones de referencia; inclinación y azimut con relación, respectivamente a la horizontal y al Norte magnético, vienen dadas por unos captadores convencionales. Además, otros captadores de medida de tipo inclinómetro y acelerómetro de tres ejes dispuestos sobre la parte móvil (góndola) y el soporte oscilante (mástil), veleta, o medidas mediante un haz láser para la localización de la dirección del viento, la medición de la velocidad del viento, las medidas de temperatura y presión, están acoplados al sistema de control de mando automático de los  
55 medios de activación de la estabilización estática o dinámica de la góndola con relación al mástil.

60 La figura 4 muestra otro modo de realización en el que el principio se asemeja al de una góndola suspendida por un árbol de rotación, pero se completa mediante el soporte inferior en la góndola que permite repartir mejor las cargas y de ese modo aguantar el peso de la góndola sin hacer trabajar el eje de rotación 12.

65 En la figura 4, la góndola es sostenida por un árbol 12 que permite una regulación de la inclinación. Una parte de corona 13 solidaria con la góndola reposa sobre una parte de corona 14 solidaria con el extremo del mástil 2 por medio de una corona de orientación en azimut 15. Unos rodillos intercalados entre las dos coronas permiten el desplazamiento relativo entre las dos coronas durante una variación de inclinación, en tanto soportan los esfuerzos de compresión debidos al peso de la góndola y de las palas. La corona 13 ligada a la góndola incluye unos dientes

de engranaje para cooperar con un piñón 16 motorizado. En este modo de realización, el árbol de rotación no soporta la totalidad de las cargas.

5 Por supuesto, pueden utilizarse otros medios mecánicos al alcance del experto en la materia para hacer girar la parte móvil con relación a la parte fija.

En lo que se refiere al modo de realización pendular, se pueden concebir dos sistemas de estabilización, acoplados o utilizados simultáneamente:

10 - Unos medios de estabilización "estáticos" que utilizan el principio de equilibrado del peso de la góndola sometida a diferentes fuerzas aplicadas como el efecto de empuje del viento sobre las palas. Esta estabilización estática utiliza el efecto de la fuerza de gravedad sobre un péndulo. Como complemento, unos sistemas adaptativos pueden desplazar el centro de gravedad de la góndola para, o bien compensar unas fuerzas externas variables (viento, efectos giroscópicos,...), o bien permitir tener un tiempo de respuesta suficientemente rápido del sistema automático  
15 de regulación.

Las figuras 5 y 6 ilustran dos medios de estabilización denominados "estáticos". La figura 5 muestra la transferencia de una masa 17 vinculada a la góndola 1, sobre un carril o equivalente 18. Esta masa modifica la posición del centro de gravedad con relación al eje del árbol de rotación, lo que proporciona un brazo de palanca que desarrolla un par de recuperación. La frecuencia del desplazamiento de la masa de equilibrado 17 es por tanto sustancialmente del mismo orden que la frecuencia de las oscilaciones que debe compensar. La figura 6 está en el mismo principio, pero la masa transferida es un volumen de líquido desplazado por bombeo entre dos depósitos 19 y 20.

Las figuras 7 y 8 muestran el principio en el que el conjunto suspendido, góndola y palas, se desplaza sobre un carril 21 según un eje paralelo al rotor, relativamente al eje de rotación vinculado al mástil. El desplazamiento de la góndola según este eje desplaza su centro de gravedad con relación a su eje de rotación. De ese modo, es toda la masa de la góndola la que contribuye a su posicionamiento y no ya una masa adicional anexa, sólida o líquida, a desplazar. La figura 7 muestra la variante articulada suspendida y la figura 8 muestra la variante articulada inestable.

30 - Unos medios de estabilización "dinámicos" mediante unos gatos hidráulicos, unos gatos eléctricos, o mediante unos sistemas electromecánicos de engranajes de cremallera o piñones sobre coronas. Un objetivo es utilizar un mínimo de potencia para corregir los movimientos en inclinación periódicos de la góndola con relación al mástil, siendo los movimientos de la góndola de tipo periódico o aperiódico con unas amplitudes angulares limitadas.

35 Se observa que el eje de rotación de la góndola puede estar desplazado, hacia adelante o atrás, con relación al centro de gravedad de la góndola. En efecto, el empuje del viento tiene tendencia a hacer flexionar el mástil en la dirección opuesta a la del viento, el eje de rotación de la góndola puede estar desplazado, posicionado ligeramente por detrás del centro de gravedad de la góndola para permitir a la góndola en ausencia de viento inclinarse naturalmente por la acción del peso de la góndola.

40 Las ventajas de esta invención pueden ser principalmente:

- la góndola es estándar conteniendo el multiplicador de velocidad y el generador,
- utilización de la fuerza giroscópica de rotación de las palas por el viento según una dirección vertical (alto o bajo),
- 45 - utilización del efecto pendular directo o inverso según la variante propuesta,
- corrección continua de la inclinación, con unos medios que necesitan poca potencia.

El eje del árbol de rotación de la góndola está preferentemente relativamente próximo al eje del rotor de la góndola.

50 El rotor es el eje de arrastre de las palas, el rotor está unido, en el caso general, al multiplicador de velocidad y al generador. La fuerza de empuje del viento sobre el plano de rotación de las palas, con una superficie de por ejemplo 10.000 m<sup>2</sup>, es considerable. Esta fuerza de empuje del viento es transmitida por las palas al rotor y a la góndola. Para evitar un par muy grande de rotación producido por la fuerza axial de empuje sobre el rotor en la distancia entre el eje del rotor y el eje de rotación de la góndola, debe optimizarse la distancia entre el eje de rotación de la góndola y el eje del rotor. En presencia de viento, la fuerza de empuje del viento tiene tendencia a hacer inclinar el mástil en oposición a la dirección del viento y por tanto a hacer levantar la parte delantera de la góndola. Cuando la góndola es móvil alrededor de su eje de rotación y según la opción mantenida este eje de rotación se sitúa por encima del eje del rotor, el par de rotación aplicado por la fuerza de empuje del viento sobre la eje del rotor tiene tendencia a hacer bajar la parte delantera de la góndola para volverla a situar según el eje del viento.

60 La optimización del punto de rotación de la góndola axial y radialmente con relación a su centro de gravedad y con relación al eje de rotación del rotor reducirá los esfuerzos de corrección a aplicar para mantener la góndola horizontal.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Turbina eólica que incluye una góndola (1) instalada sobre un mástil (2) soportado mediante un soporte flotante, caracterizada por que la góndola está articulada con relación a dicho mástil en un plano vertical y porque incluye unos medios de corrección de la inclinación de la góndola, unos medios de regulación automática de dichos medios de corrección en función de captadores de detección de los valores de corrección, siendo sincrónicos dichos medios de regulación con los movimientos del soporte flotante y estando configurados para mantener la góndola permanentemente orientada según el eje real del viento detectado en inclinación y en azimut, y porque dicha góndola está articulada y suspendida sobre un árbol horizontal.
- 10 2. Turbina eólica según la reivindicación 1, en la que la góndola está articulada alrededor del árbol horizontal y reposa sobre un apoyo de sector circular centrado sobre el eje de dicho árbol.
- 15 3. Turbina eólica según la reivindicación 2, en la que la góndola incluye un sistema de transferencia de masa de manera que el centro de gravedad del conjunto suspendido se desplace.
- 20 4. Turbina eólica según la reivindicación 3, en la que se transfiere una masa sobre un deslizador.
5. Turbina eólica según la reivindicación 3, en la que se transfiere una masa de líquido por bombeo.
6. Turbina eólica según la reivindicación 2, en la que el sector circular incluye un sistema dentado que coopera con un piñón motorizado según los medios de regulación automática.
- 25 7. Turbina eólica según la reivindicación 1, en la que la góndola incluye unos medios de desplazamiento del punto de articulación de manera que el centro de gravedad del conjunto suspendido se desplace con respecto al mástil.

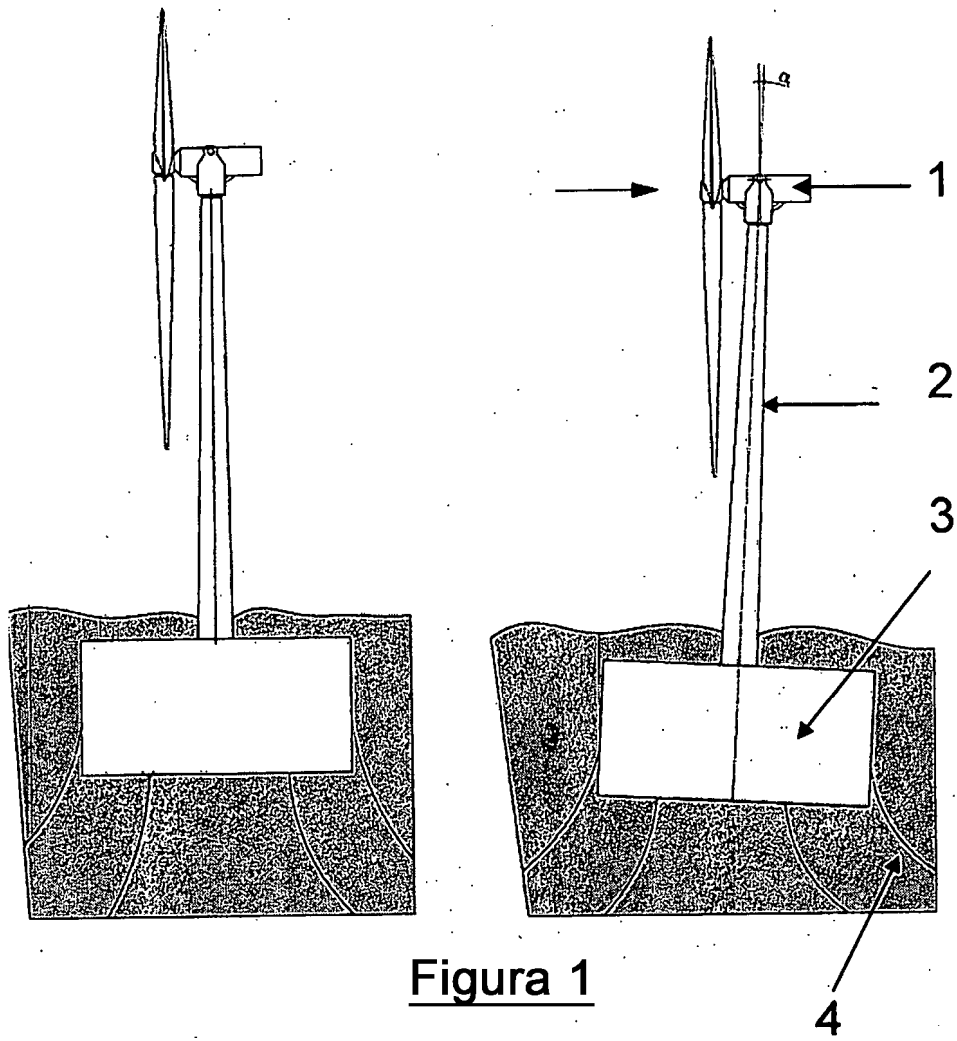


Figura 1

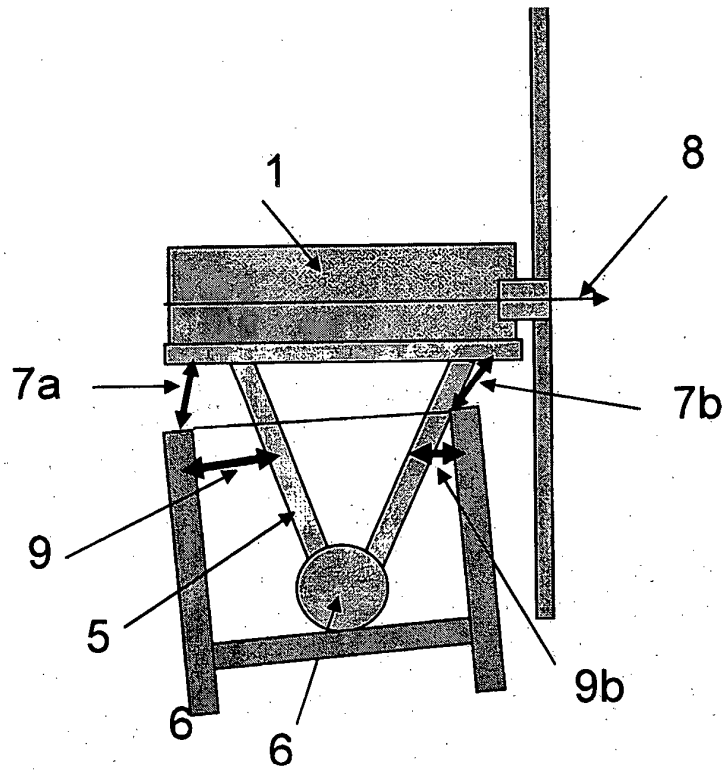


Figura 2

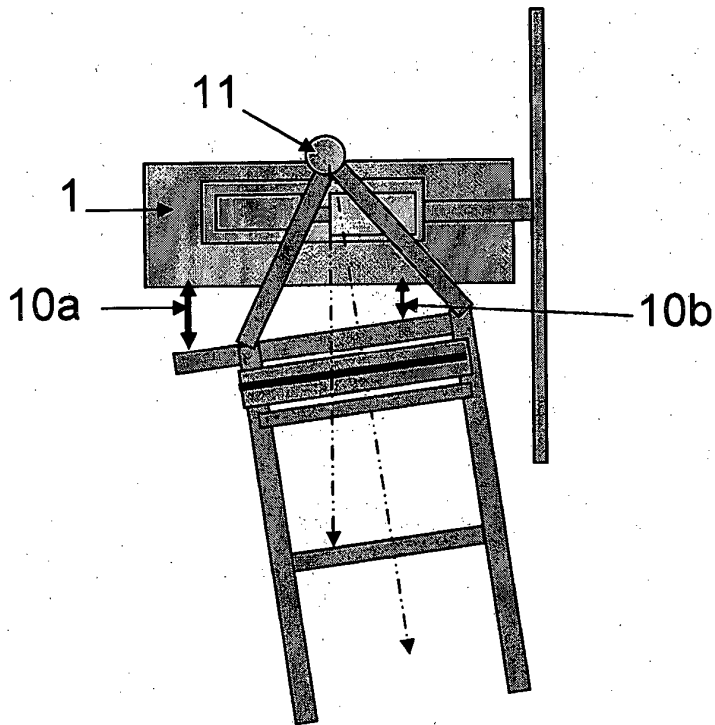


Figura 3

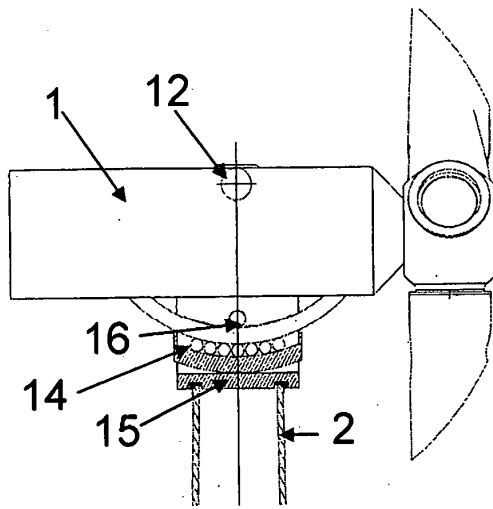


Figura 4

Figura 5

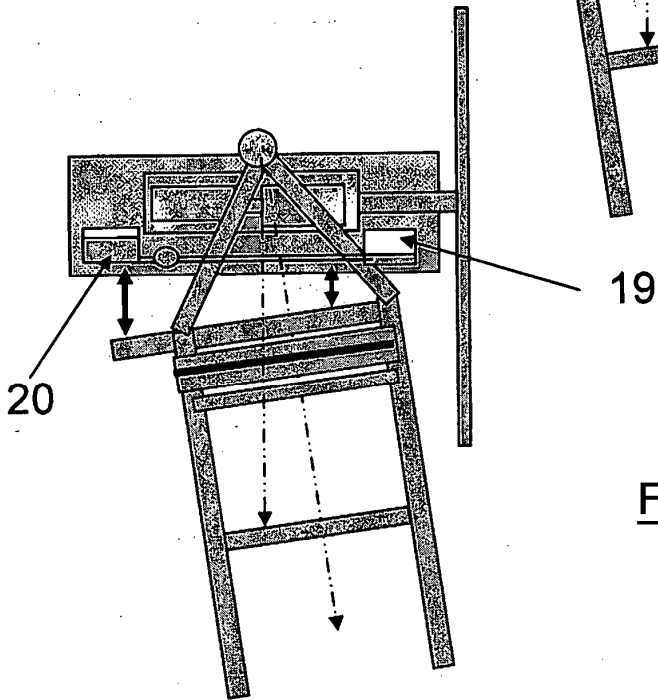
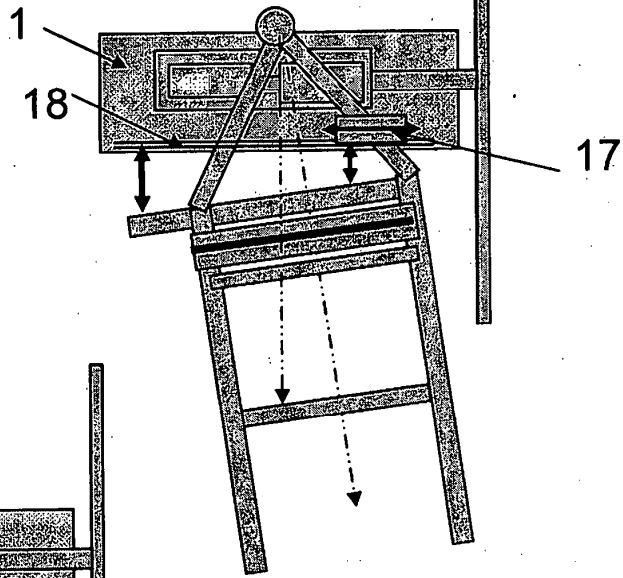


Figura 6



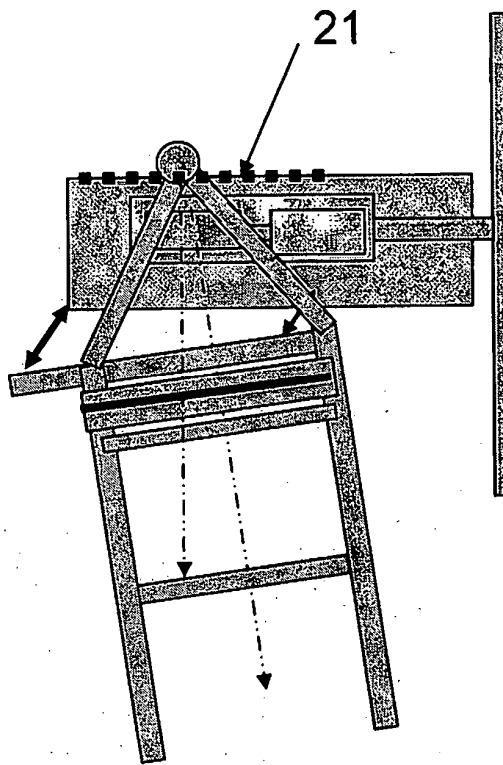


Figura 7

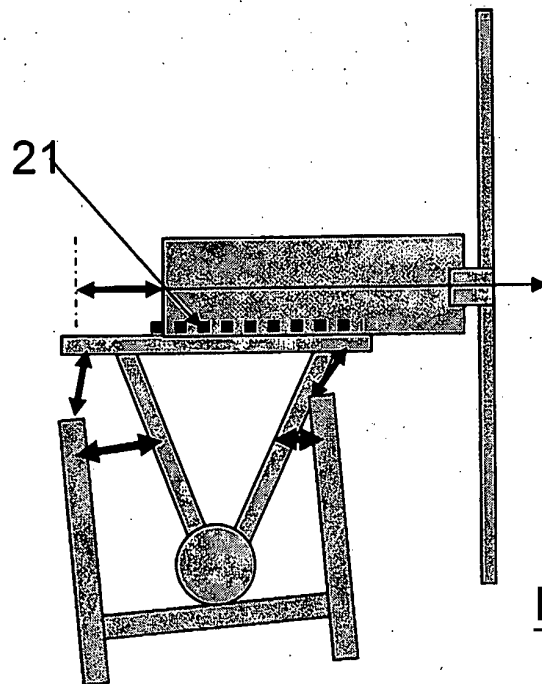


Figura 8