

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 560 663**

51 Int. Cl.:

F03D 11/04 (2006.01)

B63B 21/50 (2006.01)

F03D 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.06.2006 E 06757858 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.12.2015 EP 1891328**

54 Título: **Instalación de turbina eólica flotante**

30 Prioridad:

06.06.2005 NO 20052704

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.02.2016

73 Titular/es:

**HYWIND AS (100.0%)
Forusbeen 50
4035 Stavanger, NO**

72 Inventor/es:

**SVEEN, DAGFINN;
NIELSEN, FINN GUNNAR y
HANSON, TOR DAVID**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 560 663 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

Instalación de turbina eólica flotante

- 5 La presente invención se refiere a una instalación de turbina eólica flotante y a un método para coordinar las propiedades hidrostáticas e hidrodinámicas de la instalación de turbina eólica. La instalación de turbina eólica comprende un cuerpo flotante, una torre dispuesta sobre el cuerpo flotante, una carcasa de generador montada en la torre, que es giratoria en relación con la dirección del viento y está equipada con un rotor de viento, y una disposición de línea de anclaje conectada a anclas o puntos de anclaje en el fondo marino.
- 10 El desarrollo de turbinas eólicas flotantes, ancladas, que puedan utilizarse a grandes profundidades aumentará enormemente el acceso a áreas para la expansión de la energía eólica en el mar. La tecnología actual de las turbinas eólicas ubicadas en el mar se limita a torres instaladas permanentemente a bajas profundidades, aproximadamente a 30 m de profundidad.
- 15 Las instalaciones permanentes a profundidades de más de 30 m, por lo general, resultan en problemas técnicos y altos costes. Esto ha supuesto que, hasta la fecha, las profundidades marinas de más de 30 m aproximadamente se hayan considerado como técnica y comercialmente desfavorables para la instalación de turbinas eólicas. Con las soluciones flotantes a mayores profundidades marinas, pueden evitarse el problema de cimentación y los costes asociados con las instalaciones complicadas y con mano de obra intensiva.
- 20 En este sentido, se está haciendo un gran trabajo para desarrollar soluciones flotantes. Sin embargo, es difícil encontrar soluciones que sean técnicamente satisfactorias y financieramente viables.
- 25 El documento GB 2378679 da a conocer una estructura de soporte flotante que comprende un casco hermético, una cimentación por gravedad o succión que comprende uno o más componentes sobre el lecho marino y uno o más dispositivos de flotabilidad, conectados a dicho casco hermético y configurados para proporcionar un exceso de flotabilidad y una estabilidad adicional.
- 30 El documento US 6431107 da a conocer una estructura flotante en mar abierto con un casco flotante y un tendón flexible sujeto entre el casco y el fondo del mar. Una rigidez vertical del tendón flexible tiene como resultado que la estructura flotante presenta un periodo natural de arfada de al menos veinte segundos.
- Al menos una realización preferida de la presente invención representa una solución que hace posible lograr una combinación de uso de materiales, diseño geométrico y dimensional y soluciones estructurales que produce
- 35 soluciones técnicas satisfactorias y costes suficientemente bajos para hacer que el concepto sea económicamente atractivo.
- En una realización preferida, el concepto se basa en una solución larga (profunda), delgada, preferiblemente cilíndrica, del cuerpo flotante para una instalación de turbina eólica flotante que, por su naturaleza, está diseñado para dar lugar a pequeños movimientos por olas. Otra condición previa preferible es un gran desplazamiento con relación al peso de la torre y la turbina. Esto es tiene la finalidad de lograr la distribución correcta de la masa y el peso en relación con las propiedades dinámicas y la estabilidad requerida. De acuerdo con la presente invención, el elevado desplazamiento y la alta resistencia requeridos para estructuras sumergidas a gran profundidad puede lograrse de manera sencilla y rentable mediante el uso de hormigón en una parte cilíndrica bajo el agua. El hormigón
- 40 es un material barato. Al sistematizar y organizar los métodos de construcción para la producción en serie, los costes laborales serán muy bajos.
- Otra condición previa importante para los costes generales bajos es la necesidad de evitar un extenso trabajo con embarcaciones auxiliares costosas cuando se instalan las turbinas individuales en el mar. Esto se logra debido a que la totalidad de la turbina puede remolcarse completamente montada y anclarse con un sistema de anclaje sencillo.
- 50 El montaje y puesta en marcha puede tener lugar en un sitio de construcción protegido con equipos de instalación permanente. Esto está sujeto a la existencia de rutas de remolque con calado suficiente desde el sitio de construcción hasta el lugar de instalación. Este es el caso, en particular, de Noruega, que se ha utilizado anteriormente para grandes plataformas de hormigón.
- 55 La presente invención proporciona una instalación de turbina eólica flotante que comprende un cuerpo flotante, una torre dispuesta sobre el cuerpo flotante, una carcasa de generador montada sobre la torre, que es giratoria en relación con la dirección del viento y está equipada con un rotor de viento, y una disposición de línea de anclaje que es conectable a anclajes o puntos de anclaje sobre un lecho marino, caracterizada porque la instalación de turbina eólica flotante está dispuesta de manera que: todos los periodos propios de la instalación estén fuera del intervalo de periodos ricos en energía de las olas; los periodos propios de arfada, T_{03} , y de cabeceo, T_{05} , y / o de balanceo, T_{04} , tengan una relación tal que T_{05} y / o $T_{04} < 80 \%$ de T_{03} ; y la relación entre T_{03} y T_{05} no esté cercana a 0,5 o 1.
- 60 En otro aspecto, la presente invención proporciona un método de diseño de una instalación de turbina eólica flotante, comprendiendo la instalación un cuerpo flotante, una torre dispuesta sobre el cuerpo flotante, una carcasa de generador montada sobre la torre, que es giratoria en relación con la dirección del viento y está equipada con un rotor de viento, y una disposición de línea de anclaje que es conectable a anclajes o puntos de anclaje sobre un

lecho marino, comprendiendo el método determinar las dimensiones y la distribución del peso para la instalación de manera que: todos los periodos propios de la instalación estén fuera del intervalo de periodos ricos en energía de las olas en el sitio de instalación previsto; los periodos propios de arfada, T_{03} , y de cabeceo, T_{05} , y / o de balanceo, T_{04} , tengan una relación tal que T_{05} y / o $T_{04} < 80\%$ de T_{03} ; y la relación entre T_{03} y T_{05} no esté cercana a 0,5 o 1.

A continuación se describirá la presente invención con más detalle con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

La Fig. 1 muestra el diseño de una instalación de turbina eólica flotante, y

La Fig. 2 muestra un alzado simplificado de una instalación de turbina eólica con una realización alternativa asociada con el diseño de la parte inferior del cuerpo flotante.

Una instalación de turbina eólica flotante consiste principalmente, como se muestra en la Fig. 1 y la Fig. 2, en una base flotante o cuerpo flotante 1 anclado que soporta una torre alta 2 con una turbina eólica montada en la parte superior de la misma, que comprende una carcasa 3 de generador que encierra una unidad de generación de energía (no mostrada) y un rotor 4 dispuesto en conexión con esta unidad. Un factor importante es que la base flotante se mueve con las olas, lo que, en sí mismo, es negativo en relación con el funcionamiento de la turbina y a la carga sobre la torre. Otro factor es que, a causa de la estabilidad limitada, la instalación de turbina eólica también escorará al verse sometida a la fuerza del viento.

En consecuencia, el principal reto en relación con el desarrollo de una instalación de turbina eólica flotante es minimizar el movimiento de las olas y lograr una estabilidad óptima, manteniendo al mismo tiempo los bajos costes.

El coste está asociado con el tamaño de la instalación. En consecuencia, normalmente se intentará lograr un concepto con un consumo mínimo de material.

La mejor solución para minimizar el movimiento inducido por las olas y lograr un pequeño tamaño es utilizar un cuerpo flotante profundo y delgado que consista preferiblemente en un cuerpo cilíndrico bajo el agua. El concepto presenta dos movimientos propios, arfada y cabeceo (balanceo). La arfada es un movimiento puramente vertical y el cabeceo (balanceo) es un movimiento de rotación con el centro de rotación más o menos en el centro de gravedad de toda la instalación. Tanto el balanceo como el cabeceo se producen sobre su propio eje horizontal ortogonal. Para evitar grandes movimientos de arfada y de cabeceo, es importante situar los periodos propios de manera que queden fuera del intervalo en el que las olas presentan una gran cantidad de energía. En la práctica esto significa que los periodos propios deberán ser superiores a 23-24 segundos para los dos modos de movimiento. Al mismo tiempo, los periodos propios deberán estar suficientemente espaciados entre sí para evitar que los movimientos queden vinculados. Es necesaria una buena estabilidad para lograr ángulos de escora pequeños de la turbina en funcionamiento. El efecto de estabilización se produce por el desplazamiento y el centro de gravedad. Un gran desplazamiento y un bajo centro de gravedad producen grandes fuerzas correctivas y, en consecuencia, pequeños ángulos de escora ante la carga del viento. Sin embargo, una alta estabilidad producirá un periodo de bajo cabeceo (balanceo). Para lograr la máxima estabilidad con un movimiento de cabeceo (balanceo) satisfactorio, el concepto de acuerdo con la presente invención está diseñado de manera que el periodo de cabeceo (balanceo) esté justo encima del intervalo en el que las olas presentan una gran cantidad de energía, aproximadamente 25 a 26 segundos. Para evitar un vínculo entre la arfada y el cabeceo (balanceo), el periodo de arfada deberá estar suficientemente espaciado en positivo con respecto al periodo de cabeceo (balanceo), aproximadamente 30 a 31 segundos.

Otra consideración es el dimensionamiento de la torre. Para lograr la máxima resistencia de la torre, ésta deberá tener un gran diámetro en la parte inferior que pase a través de la superficie del agua.

El periodo de arfada es la relación entre el desplazamiento y el área del plano de agua de la torre. Por lo tanto, se requiere un desplazamiento específico para lograr un periodo de arfada de 30 segundos. La coordinación correcta de las dimensiones y de balasto se ha obtenido por medio de un estudio de parámetros que incluía cálculos de dimensionamiento y análisis dinámicos.

La instalación de turbina eólica flotante deberá estar diseñada, por lo tanto, de manera que se cumplan los requisitos tanto de las propiedades estáticas como las dinámicas. Los requisitos están asociados, en particular, con la interacción entre el desplazamiento y el movimiento vertical (arfada) y la rotación sobre un eje horizontal, cabeceo (balanceo). En base a lo anterior, este es un sumario de los requisitos:

El desplazamiento (pgV) debe ser lo suficientemente grande como para soportar el peso de la estructura (Mg), además de las fuerzas verticales del ancla.

1. El sistema debe tener suficiente estabilidad estática (estabilidad inicial y área bajo la "curva GZ").
2. La escora estática con carga de viento total de la turbina eólica debe ser menor que un valor específico, ϕ_{s_max} , y debe ser tan baja como sea posible, preferiblemente menos de 8° .
3. Todos los periodos propios deben estar fuera del intervalo de periodos ricos en energía de las olas.
4. Los periodos propios de arfada, T_{03} , y de cabeceo, T_{05} (balanceo T_{04}) deben estar suficientemente espaciados entre sí.
5. La relación T_{03} / T_{05} debe ser diferente de los valores 0,5 y 1,0, y estar bien espaciada con respecto a los mismos. De lo contrario, el resultado podría ser la excitación paramétrica de los movimientos de resonancia.

Debe asumirse que, en general, se cumplen los requisitos 1 y 2. La escora estática en base al requisito 3 anterior viene dada aproximadamente por:

$$\varphi_s = \frac{T(z_T - z_m)}{\rho g V(z_B - z_G)} = \frac{T(z_T - z_m)}{C_{55}} \quad [1]$$

En este caso se asume que el cuerpo flotante es una estructura vertical, en forma de columna, con una profundidad mucho mayor que su anchura. z_T es la coordenada vertical del eje de rotor. z_m es la coordenada vertical de los puntos de anclaje. Este punto se encuentra cerca del centro de gravedad del sistema, que presenta la coordenada vertical z_G . z_B es la coordenada vertical del centro de flotación. V es el volumen de desplazamiento de los cuerpos flotantes. ρ es la densidad del agua y g es la aceleración gravitacional. El requisito 3 ahora supone que debemos contar con un desplazamiento suficientemente grande combinado con una gran GB = $(z_B - z_G)$.

El periodo propio de cabeceo (y balanceo equivalente) viene dado aproximadamente por:

$$T_{35} = 2\pi \sqrt{\frac{I_{55} + A_{55}}{C_{55}}} \quad [2]$$

En este caso, I_{55} y A_{55} son el momento de inercia de masa y el momento de inercia hidrodinámico, respectivamente, sobre el eje dinámico de rotación del sistema. Esto es cercano a z_G . Se obtienen valores más exactos al considerar el movimiento vinculado de guiñada / cabeceo. Las ecuaciones [1] y [2] muestran que una elevada rigidez, C_{55} , contribuye a mantener bajo el ángulo de escora pero que, al mismo tiempo, el periodo propio de cabeceo se reducirá a medida que C_{55} aumenta. Por lo tanto, es necesario tratar de mantener $I_{55} + A_{55}$ lo suficientemente elevados para evitar que T_{05} entre en conflicto con los periodos de olas. Esto se puede lograr haciendo que el casco sea profundo y delgado, como se indicó anteriormente.

El periodo propio de arfada viene dado aproximadamente por:

$$T_{03} = 2\pi \sqrt{\frac{M + A_{33}}{C_{33}}} \quad [3]$$

En donde $C_{33} = \rho A_{WL} g$. A_{WL} es el área de la línea del agua. Además, existe el efecto de la rigidez vertical de las líneas de anclaje. M es la masa del cuerpo flotante. Para un cuerpo flotante largo y delgado, $A_{33} \ll M$. Esto demuestra que un elevado periodo propio de arfada se obtiene al producirse un gran desplazamiento y un bajo área de línea de agua.

De esto, se puede concluir que se pueden combinar los requisitos 4 y 5 anteriores si el desplazamiento es lo suficientemente grande. Sin embargo, el aumento del desplazamiento aumentará el coste. Por lo tanto, es necesario hallar una combinación de propiedades que permita una geometría de casco sencilla, con un desplazamiento suficiente como para satisfacer los requisitos señalados.

Volviendo a la ecuación [1] y asumiendo un diámetro de rotor de la turbina eólica en el orden de 100 m, por ejemplo, y que GB es del orden de 10 m, podemos ver que se necesita un desplazamiento de la orden de 100 veces el empuje estático de la turbina eólica, si ha de mantenerse la escora estática por debajo de 5,7 grados. Por lo tanto, para una turbina de 5 MW, se necesita un desplazamiento en el orden de 6000 a 8000 toneladas.

Con el desplazamiento específico, el periodo propio de arfada se controlará con el área de línea de agua. Se ha decidido que este periodo sea cercano a 30 segundos. Esto permite situar el periodo propio de cabeceo entre los periodos de olas y el periodo propio de arfada. (Para las zonas marítimas de Noruega, el intervalo habitual entre periodos de olas es de aproximadamente 4 segundos a aproximadamente 20 segundos.) Por lo tanto, se cumplen los requisitos 4 y 5 anteriores y se cumple el requisito de escora estática. Para poder situar el periodo propio de cabeceo en el intervalo de 22 a 28 segundos y también tener suficiente estabilidad estática, el objetivo ha de ser un valor GB elevado, mientras que $I_{55} + A_{55}$ tendrá un valor suficientemente bajo, asegurando que $22 \text{ s} < T_{05} < 28 \text{ s}$. Esto puede lograrse situando el balasto 7 un poco por debajo del centro de flotación del cuerpo flotante. El balasto debe situarse de manera que se combinen los requisitos para la posición del centro de gravedad y el momento de inercia.

En base a lo anterior, resulta especialmente conveniente producir el cuerpo flotante como un cuerpo preferiblemente cilíndrico, extendido y delgado, con hormigón, y fabricar la torre como un cuerpo preferiblemente cilíndrico en acero. El cuerpo flotante puede tener convenientemente una longitud (calado) de 100 a 150 m.

- 5 El desplazamiento del cuerpo flotante puede reducirse mediante la introducción de un "labio" o proyección radial 6 en la base del cuerpo flotante, como se muestra en la Fig. 2. Este labio 6 puede estar dispuesto de tal manera que el diámetro de la placa de base sea muy superior al diámetro del resto del cuerpo flotante. Tal labio tendrá el siguiente efecto sobre las propiedades dinámicas:
- 10 • En relación a una columna vertical, el periodo propio de arfada aumentará debido al aumento de la masa hidrodinámica en una dirección vertical. O puede lograrse el mismo periodo propio de arfada con un desplazamiento reducido.
- Es posible retener un centro de gravedad bajo sin que aumente el momento de inercia de cabeceo (balanceo). Esto se traduce en la libertad para otorgar al periodo propio de cabeceo (balanceo) un valor conveniente y conservar
- 15 las propiedades estáticas.

REIVINDICACIONES

1. Una instalación de turbina eólica flotante que comprende un cuerpo flotante (1), una torre (2) dispuesta sobre el cuerpo flotante, una carcasa (3) de generador montada sobre la torre, que es giratoria en relación con la dirección del viento y está equipada con un rotor eólico (4), y una disposición (5) de línea de anclaje que se puede conectar a anclas o puntos de anclaje en un lecho marino, caracterizada por que la instalación de turbina eólica flotante está dispuesta de manera que:
5 todos los periodos propios de la instalación estén fuera del intervalo de periodos ricos en energía de las olas; los periodos propios de arfada, T_{03} , y de cabeceo, T_{05} , y / o de balanceo, T_{04} , tienen una relación tal que T_{05} y / o $T_{04} < 80\%$ de T_{03} ; y la relación entre T_{03} y T_{05} no está cercana a 0,5 o 1.
2. Una instalación de turbina eólica flotante según la reivindicación 1, en la que la escora estática, φ_{s_max} , de la instalación con carga de viento total en la turbina eólica es menor de 8 grados.
15
3. Una instalación de turbina eólica flotante según la reivindicación 1 o 2, en la que la instalación está diseñada, en términos de dimensiones y distribución del peso, de manera que el periodo propio de cabeceo está en el intervalo de 22 a 28 segundos y el correspondiente periodo propio de arfada está en el intervalo de 30 a 35 segundos.
20
4. Una instalación de turbina eólica flotante según la reivindicación 1, 2 o 3, en la que el cuerpo flotante (1) consiste en una estructura de hormigón delgada y extendida, y la torre (2) consiste en una estructura de acero.
5. Una instalación de turbina eólica flotante según la reivindicación 4, en la que la estructura de hormigón delgada y extendida es cilíndrica.
25
6. Una instalación de turbina eólica flotante según la reivindicación 4 o 5, en la que la estructura de acero es cilíndrica.
7. Una instalación de turbina eólica flotante según cualquier reivindicación precedente, en la que el cuerpo flotante (1) está provisto, en su extremo inferior, de una proyección radial o labio (6) que se extiende más allá de la circunferencia de la parte superior del cuerpo flotante.
30
8. Una instalación de turbina eólica flotante según cualquier reivindicación precedente, en la que el cuerpo flotante tiene una longitud de 100 - 150 m.
35
9. Un método para diseñar una instalación de turbina eólica flotante, comprendiendo la instalación un cuerpo flotante (1), una torre (2) dispuesta sobre el cuerpo flotante, una carcasa (3) de generador montada sobre la torre, que es giratoria en relación con la dirección del viento y está equipada con un rotor eólico (4), y una disposición (5) de línea de anclaje que se puede conectar a anclas o puntos de anclaje en un lecho marino, comprendiendo el método determinar las dimensiones y la distribución del peso de la instalación de manera que:
40 todos los periodos propios de la instalación estén fuera del intervalo de periodos ricos en energía de las olas en el sitio de instalación previsto; los periodos propios de arfada, T_{03} , y de cabeceo, T_{05} , y / o de balanceo, T_{04} , tienen una relación tal que T_{05} y / o $T_{04} < 80\%$ de T_{03} ; y la relación entre T_{03} y T_{05} no está cercana a 0,5 o 1.
10. Un método según la reivindicación 9, en el que la instalación está diseñada de tal manera que la escora estática, φ_{s_max} , de la instalación con carga de viento total en la turbina eólica es menor de 8 grados.
50
11. Un método según la reivindicación 9 o 10, en el que la instalación está diseñada, en términos de dimensiones y distribución del peso, de manera que el periodo propio de cabeceo esté en el intervalo de 22 a 28 segundos y el correspondiente periodo propio de arfada esté en el intervalo de 30 - 35 segundos.
55

FIGURA 1

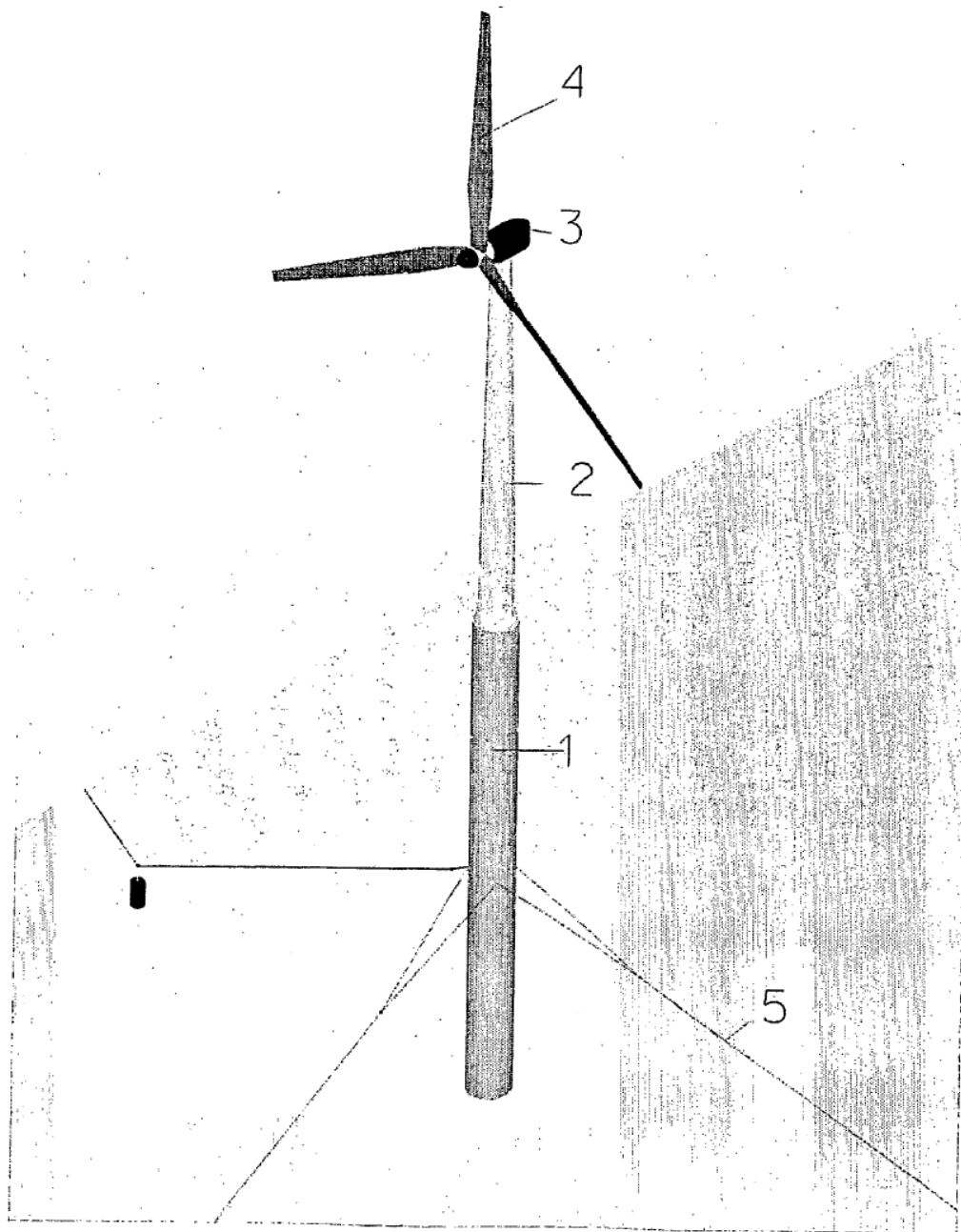


FIGURA 2

