

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 937 685**

51 Int. Cl.:

B63B 35/44 (2006.01)

F16F 15/023 (2006.01)

F16F 7/10 (2006.01)

F03D 13/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.02.2017** **PCT/EP2017/052295**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.09.2017** **WO17148648**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.02.2017** **E 17703391 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.11.2022** **EP 3423346**

54 Título: **Sistema de estabilización, en particular para un soporte flotante, con varios dispositivos de amortiguación en forma de U**

30 Prioridad:

02.03.2016 FR 1651745

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.03.2023

73 Titular/es:

IFP ENERGIES NOUVELLES (100.0%)
1 & 4 avenue de Bois-Préau
92500 Rueil-Malmaison, FR

72 Inventor/es:

LEPREUX, OLIVIER y
COUDURIER, CHRISTOPHE

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 937 685 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

Sistema de estabilización, en particular para un soporte flotante, con varios dispositivos de amortiguación en forma de U

5 La presente invención hace referencia al campo de los soportes flotantes en alta mar "flotadores offshore", en particular para aerogeneradores en alta mar, al campo de los soportes instalados en alta mar, en particular para aerogeneradores instalados en alta mar, y al campo de la ingeniería civil, en particular para rascacielos o puentes.

10 En el caso de los aerogeneradores en alta mar, el soporte flotante soporta, en la parte emergida, el aerogenerador compuesto por las palas, el rotor, la góndola y el mástil fijado en el soporte flotante. Estos soportes flotantes se pueden anclar al lecho marino mediante líneas de anclaje tensadas, semitensadas o catenarias. El objetivo del soporte flotante es proporcionar flotabilidad y estabilidad al aerogenerador, de manera que absorba las fuerzas ejercidas sobre él, limitando al mismo tiempo los movimientos del conjunto.

15 En muchos países se están desarrollando diversos soportes flotantes para la instalación de aerogeneradores de varios megavatios a lo largo de las costas. Dependiendo de la profundidad del sitio en cuestión, son posibles varias opciones de diseño. A pesar de su gran diversidad, destacan varias familias de soportes flotantes. Entre ellas figuran:

- los flotadores de tipo SPAR, caracterizados por una forma geométrica esbelta, con un gran lastre para bajar al máximo el centro de gravedad de toda la estructura y garantizar de este modo la estabilidad,
- los flotadores de tipo barcaza: son flotadores de poco calado y muy anchos. Su estabilidad está garantizada por su gran superficie de flotación. Sin embargo, este tipo de soporte es muy sensible al oleaje,
- 20 – los soportes de tipo TLP (del inglés "Tension Leg Platform"), que se puede traducir como plataforma con líneas tensadas, que tienen la particularidad de amarrarse al fondo del mar mediante líneas tensadas que garantizan la estabilidad de la estructura, y
- los flotadores de tipo semisumergible: son soportes formados al menos por tres flotadores unidos por brazos para garantizar la rigidez. Estos soportes suelen tener un desplazamiento pequeño y una gran inercia de la superficie de flotación, lo que les proporciona de este modo un par de enderezamiento suficiente para su estabilidad. Además, este tipo de flotador es menos sensible al oleaje que las barcasas.

25 Los soportes flotantes también se pueden utilizar en otros ámbitos de la instalación de aerogeneradores en alta mar, por ejemplo, para medios de producción de hidrocarburos, sistemas de energía undimotriz (conversión de la energía del oleaje en energía mecánica o eléctrica), etc.

30 Para permitir la amortiguación del movimiento causado por las olas, se han considerado diferentes soluciones de amortiguación para estos flotadores.

De acuerdo con una primera solución, la amortiguación se puede lograr mediante un sistema de lastre con un "tubo en U" que comprende un líquido que se puede desplazar entre las dos ramas verticales de la U. Esta solución se describe en particular en el documento:

35 C. Coudurier, O. Lepreux y N. Petit, Passive and semi-active control of an offshore floating wind turbine using a tuned liquid column damper, en Proc. of 10th IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft, MCMC, 2015.

También se conoce la solicitud de patente WO 2006/062390 A1 que hace referencia a tubos en U para un aerogenerador y las solicitudes de patente US 2014/339828 A1 y NL 280 007 que hacen referencian a tubos en U para los soportes flotantes.

40 Sin embargo, esta solución únicamente puede amortiguar los movimientos causados por el oleaje a lo largo de una única dirección. De hecho, para las olas cuya dirección no es paralela al "tubo en U", el movimiento no se amortigua. Sin embargo, en alta mar, la dirección del oleaje es variable a lo largo del tiempo, por consiguiente, el oleaje no es constantemente paralelo al "tubo en U".

45 Además, el problema de la estabilidad también se plantea en otros campos, por ejemplo, en estructuras instaladas en alta mar (en particular, para los aerogeneradores) que están sometidas a las solicitaciones provocadas por el oleaje, pero también para el campo de la ingeniería civil (edificios, puentes) que pueden estar sometidos a solicitaciones provocadas por el viento o por un terremoto, etc.

De este modo, la presente invención hace referencia a un soporte flotante que comprende al menos un flotador y un sistema de estabilización de un sistema sometido a solicitaciones externas, teniendo el sistema de estabilización al

menos tres dispositivos de amortiguación, en forma de tubo en U, que tienen depósitos de líquido y un tubo de conexión. Al menos dos de los dispositivos de amortiguación no son paralelos entre sí. De este modo, es posible amortiguar las excitaciones del oleaje independientemente de la dirección del oleaje.

El sistema de acuerdo con la invención

- 5 La invención hace referencia a un soporte flotante que comprende al menos un flotador y un sistema de estabilización, para un soporte flotante, que comprende varios dispositivos de amortiguación, teniendo cada dispositivo de amortiguación, en esencia, forma de U y teniendo dos depósitos de líquido y un tubo de conexión que conecta dichos dos depósitos de líquido. Dicho sistema de estabilización tiene al menos tres dispositivos de amortiguación, sin que cada dispositivo de amortiguación sea paralelo al menos a otro dispositivo de amortiguación.
- 10 De acuerdo con la invención, dichos dispositivos de amortiguación se disponen para formar un polígono, preferiblemente un polígono regular, estando formados los vértices de dicho polígono por dichos depósitos de líquido de dichos dispositivos, y estando formadas las aristas de dicho polígono por dichos tubos de conexión de dichos dispositivos de amortiguación.
- 15 Además, dichos vértices de dicho polígono están formados al menos por dos depósitos de líquido de dos dispositivos de amortiguación diferentes.
- De acuerdo con una forma de realización alternativa, el centro de dicha estrella está formado por un cruce de al menos dos tubos de conexión de dos dispositivos de amortiguación diferentes, o al menos por dos depósitos de líquido de dos dispositivos de amortiguación diferentes (1).
- 20 De acuerdo con una forma de realización, un tubo de conexión de al menos un dispositivo de amortiguación tiene medios para restringir el paso de dicho líquido.
- De acuerdo con una característica, dichos depósitos de líquido de al menos un dispositivo de amortiguación tienen un gas en sus partes superiores.
- Preferiblemente, al menos un dispositivo de amortiguación tiene un conducto para el paso de dicho gas que conecta dichos dos depósitos de líquido.
- 25 Ventajosamente, dicho conducto para el paso de dicho gas es paralelo a dicho tubo de conexión.
- De acuerdo con una forma de realización alternativa, dicho conducto para el paso de gas tiene medios de restricción del paso de dicho gas.
- En un diseño, al menos un depósito de líquido tiene una conexión con un gas del medio exterior.
- De acuerdo con una forma de realización, dichos depósitos de líquido tienen una forma, en esencia, cilíndrica.
- 30 De acuerdo con una forma de realización, dicho sistema de estabilización tiene entre tres y ocho dispositivos de amortiguación.
- Ventajosamente, dicho soporte flotante tiene al menos tres flotadores, teniendo cada flotador al menos un depósito de líquido de un dispositivo de amortiguación.
- 35 De acuerdo con una forma de realización, cada flotador tiene al menos dos depósitos de líquido de dos dispositivos de amortiguación (1) diferentes.
- Además, la invención hace referencia a un sistema de generación de energía en alta mar que comprende al menos un aerogenerador y un soporte flotante de acuerdo con una de las características anteriores.

Breve presentación de las figuras

- 40 Otras características y ventajas del sistema de acuerdo con la invención se pondrán de manifiesto con la lectura de la siguiente descripción de ejemplos no restrictivos de formas de realización, con referencia a las figuras adjuntas y descritas a continuación.

La Figura 1 ilustra un dispositivo de amortiguación de acuerdo con una forma de realización de la invención.

Las Figuras 2a a 2e ilustran diferentes formas de realización de un sistema de estabilización de acuerdo con la invención.

Las Figuras 3a a 3d ilustran formas de realización alternativas de la forma de realización de la Figura 2a.

La Figura 4 es una curva que representa la amplitud de desplazamiento de un flotador para un sistema de acuerdo con la técnica anterior, y para un flotador de acuerdo con la invención, para diferentes ángulos de incidencia del oleaje.

Las Figuras 5a y 5b ilustran la orientación del oleaje para el ejemplo de la Figura 4.

5 Descripción detallada de la invención

La presente invención hace referencia a un soporte flotante que tiene al menos un flotador y un sistema de estabilización para un sistema que puede estar sometido a solicitaciones externas. El sistema de estabilización tiene varios dispositivos de amortiguación. Cada sistema de amortiguación está formado por un "tubo en U", por lo que permite la amortiguación de la excitación del oleaje a lo largo de una dirección. Cada sistema de amortiguación tiene dos depósitos de líquido, dispuestos en las ramas verticales de la "U", y un tubo de conexión que une los dos depósitos de líquido, y que está dispuesto en la base de la "U". Preferiblemente, el tubo de conexión es, en esencia, horizontal. De este modo, dentro de un dispositivo de amortiguación, el líquido se puede desplazar libre y de manera dinámica (es decir, sin ser controlado y sin aporte de energía exterior) desde un primer depósito hacia el segundo depósito del dispositivo de amortiguación. El "tubo en U" se puede considerar, en esencia, bidimensional, es decir, dentro de un plano formado por los ejes de los depósitos de líquido y el eje del tubo de conexión. La Figura 1 ilustra, de manera esquemática y no restrictiva, un ejemplo de un sistema de amortiguación de acuerdo con la invención. El sistema de amortiguación 1 comprende dos depósitos de líquido 2, unidos en su base por un tubo de conexión 3. En esta figura, los diferentes elementos se muestran, en esencia, cilíndricos, sin embargo, pueden tener formas diferentes.

El sistema que puede estar sometido a solicitaciones es un soporte flotante sometido a solicitaciones provocadas por el oleaje. De acuerdo con la invención, el sistema de estabilización tiene al menos tres sistemas de amortiguación, sin que cada dispositivo de amortiguación sea paralelo al menos a otro dispositivo de amortiguación del sistema de estabilización, es decir, al menos dos dispositivos de amortiguación del sistema de estabilización no son paralelos. En otras palabras, no todos los dispositivos de amortiguación son paralelos (lo que correspondería en vista en planta a una alineación de los sistemas de amortiguación o paralelismo de los tubos de conexión). El paralelismo se considera a partir de los planos formados por los ejes de los depósitos de líquido y el eje del tubo de conexión de cada dispositivo de amortiguación (plano del "tubo en U"). Los tubos de conexión conectan los depósitos de líquido, permitiendo de este modo la circulación libre y dinámica del líquido entre los depósitos de líquido en al menos uno de los dispositivos de amortiguación en función de la dirección del oleaje. Esta distribución no paralela, y por tanto tridimensional, permite amortiguar los movimientos del soporte flotante para todas las direcciones del oleaje. Esta característica particular optimiza la amortiguación multidireccional mediante un sistema dinámico de amortiguación que permite amortiguar las solicitaciones dinámicas. Además, esta característica permite una adaptación fácil a la geometría del soporte flotante. La elección de al menos tres sistemas de amortiguación permite garantizar una amortiguación tridimensional, que no se consigue con un "tubo en U" y es poco eficaz con dos "tubos en U".

Ventajosamente, el líquido utilizado es agua, por ejemplo, agua de mar. Sin embargo, el líquido puede ser de cualquier tipo, en particular un líquido que no contamine el agua del medio ambiente o lo haga sólo de forma limitada en caso de fuga.

Los tubos de conexión se pueden situar de forma ventajosa en la parte inferior (en la base) de los depósitos de líquido, a fin de favorecer el desplazamiento de líquido entre los depósitos de líquido de un dispositivo de amortiguación.

Además, los tubos de conexión pueden ser, en esencia, horizontales, limitando de este modo el desplazamiento del líquido por gravedad.

En el resto de la descripción y a efectos de las reivindicaciones, los términos olas, olas de mar y oleaje se consideran equivalentes.

De acuerdo con la invención, la disposición de los dispositivos de amortiguación forma un polígono. En este caso, los depósitos de líquido forman los vértices del polígono, y los tubos de conexión, las aristas del polígono. La elección de un polígono se hace en particular para adaptarse a la arquitectura del soporte flotante. Normalmente, para un soporte flotante de tipo semisumergible, es posible garantizar que los depósitos se puedan situar al nivel de los flotadores de la estructura semisumergible, y que los tubos de conexión sean soportados por los brazos que conectan los flotadores. Estos brazos forman un polígono y el sistema de estabilización se puede adaptar en consecuencia.

El diseño "poligonal" permite un diseño más fácil al evitar las conexiones entre tubos de conexión.

Cuando los tubos de conexión forman un polígono, éste es preferiblemente un polígono regular, lo que permite una distribución equilibrada del líquido, favoreciendo la amortiguación tridimensional del soporte flotante. Por ejemplo, el sistema de estabilización puede comprender tres dispositivos de amortiguación, dispuestos en un triángulo, preferiblemente en forma de triángulo equilátero: en los vértices del triángulo se disponen dos depósitos de líquido

mutuamente adyacentes pertenecientes a dos dispositivos de amortiguación diferentes. De acuerdo con otro ejemplo, el sistema de estabilización puede tener cuatro dispositivos de amortiguación que forman un cuadrilátero, preferiblemente un rombo, y muy preferiblemente un cuadrado: en los vértices del cuadrilátero se disponen dos depósitos de líquido mutuamente adyacentes pertenecientes a dos dispositivos de amortiguación diferentes. El polígono también puede ser un pentágono, un hexágono, un octógono, etc.

La disposición de los dispositivos de amortiguación también puede combinar un polígono y una estrella. En este caso, los vértices de la estrella pueden corresponder a los vértices del polígono.

De acuerdo con una forma de realización de la invención, al menos un tubo de conexión puede ser de acero, material compuesto, material plástico, hormigón o cualquier material similar.

De acuerdo con una forma de realización de la invención, un tubo de conexión de al menos un dispositivo de amortiguación, y preferiblemente todos los tubos de conexión de todos los dispositivos de amortiguación, tienen medios de restricción de paso del líquido. Los medios de restricción de paso del líquido permiten ralentizar el flujo libre a través de ellos para optimizar la amortiguación proporcionada por el sistema estabilizador. Estos medios de restricción del paso del líquido pueden ser pasivos o activos. Los medios de restricción activos permiten mejorar las prestaciones de amortiguación. Los medios de restricción activos no tienen por objetivo provocar el desplazamiento del líquido, sino que, por el contrario, los medios de restricción activa únicamente tienen por objetivo obstaculizar/limitar parcialmente la libre circulación del líquido. Los medios de restricción pueden estar formados, por ejemplo, por una reducción del diámetro del tubo a nivel local, por una válvula, bombas o compresores, etc. El ajuste de esta restricción permite ajustar ciertas características del sistema de amortiguación.

Los depósitos de líquido pueden tener diferentes formas. De este modo, se pueden adaptar a diferentes formas de soporte flotante. De acuerdo con un diseño preferido de la invención, los depósitos de líquido tienen una forma, en esencia, cilíndrica. Los depósitos de líquido se pueden denominar mediante el término columna.

De acuerdo con una forma de realización de la invención, al menos un depósito de líquido puede ser de acero, material compuesto, material plástico, hormigón o cualquier material similar.

De acuerdo con una forma de realización, la parte inferior de los depósitos de líquido tiene el líquido, y la parte superior tiene un gas, en particular aire. De acuerdo con un primer diseño, los depósitos de líquido pueden intercambiar gas libremente con el medio exterior.

Para esta forma de realización (con un gas en la parte superior), el sistema de estabilización puede comprender conductos de paso de gas que conecten los depósitos de líquido de un dispositivo de amortiguación. Los depósitos de líquido se pueden entonces aislar del aire exterior, de modo que una sobrepresión en un depósito de líquido provoque un flujo de gas a través del conducto de paso de gas hacia el otro depósito de líquido del dispositivo de amortiguación. Ventajosamente, los conductos de paso de gas se sitúan en la parte superior de los depósitos de líquido. Los conductos de paso de gas pueden ser paralelos a los tubos de conexión. El paralelismo permite limitar el tamaño del sistema de estabilización.

De acuerdo con una característica, un conducto de paso de gas de al menos un dispositivo de amortiguación puede comprender medios de restricción del paso de gas. Preferiblemente, todos los conductos de paso de gas pueden comprender medios de restricción del paso de gas. Los medios de restricción del paso de gas permiten limitar el flujo de gas de un depósito de líquido a otro. Estos medios de restricción del paso del líquido pueden ser pasivos o activos. Los medios de restricción activos no tienen por objetivo provocar el desplazamiento del gas, sino que, por el contrario, los medios de restricción activos únicamente tienen por objetivo obstaculizar/limitar parcialmente la libre circulación del gas. Los medios de restricción activos permiten mejorar el rendimiento de la amortiguación. Los medios de restricción del paso de gas pueden estar formados, por ejemplo, por una reducción del diámetro del tubo localmente, por una válvula, bombas o compresores. El ajuste de esta restricción permite ajustar ciertas características relacionadas con la amortiguación del sistema de estabilización.

Además, como alternativa o adicionalmente a los conductos de paso de gas, al menos un depósito de líquido puede tener una conexión con el medio exterior, permitiendo el paso del aire del medio exterior a la parte superior del depósito de líquido y viceversa. De este modo, una sobrepresión en un depósito de líquido genera un flujo de gas hacia el exterior. Esta conexión puede ser una restricción. El ajuste de esta sobrepresión permite ajustar ciertas características relacionadas con la amortiguación del sistema de estabilización.

Las dimensiones de los tubos de conexión y de los depósitos de líquido dependen del tamaño del soporte flotante. Se puede intentar mantener los depósitos de líquido lo más separados posible en el soporte flotante, y los tubos de conexión adaptados en consecuencia. Por ejemplo, para una barcaza circular de 36 m de diámetro, y con una configuración polígono-triángulo, se pueden utilizar tubos de conexión de aproximadamente 30 m de longitud, 1,5 m de diámetro, y depósitos de líquido de 5 a 10 m de altura y 3 m de diámetro. Normalmente, se puede utilizar una masa

total de líquido (contenida en los depósitos de líquido y los tubos de conexión) del orden del 5 a 15% de la masa del soporte flotante. Sin embargo, el diseño funciona a todas las escalas.

Las Figuras 2a a 2e ilustran, en vista en planta, y de manera no restrictiva, diferentes formas de realización del sistema de estabilización de acuerdo con la invención. En estas figuras sólo se han representado los elementos principales. No obstante, estas formas de realización son compatibles con la utilización de conductos de paso de gas, medios de restricción de paso de líquido, medios de restricción de paso de gas, conexiones con el medio exterior, etc.

El sistema de estabilización, de acuerdo con la forma de realización de la Figura 2a, tiene tres dispositivos de amortiguación 1 dispuestos en triángulo. En el caso ilustrado, se trata de un triángulo equilátero. Cada dispositivo de amortiguación tiene dos depósitos de líquido 2 y un tubo de conexión 3. Los depósitos de líquido 2 tienen una forma, en esencia, cilíndrica. Cada tubo de conexión 3 conecta dos depósitos de líquido 2. Los tubos de conexión 3 se sitúan en la parte inferior de los depósitos de líquido. En cada vértice del triángulo se disponen dos depósitos de líquido 2 mutuamente adyacentes y que pertenecen a dos dispositivos de amortiguación diferentes. Esta disposición es especialmente adecuada para un soporte flotante del tipo triflotador, en el que cada flotador actúa como un vértice del triángulo, es decir, dos depósitos de líquido 2 mutuamente adyacentes y pertenecientes a dos dispositivos de amortiguación diferentes. Los dispositivos de amortiguación se disponen de manera que forman un ángulo de aproximadamente 60° para formar el triángulo equilátero. De este modo, dos dispositivos de amortiguación adyacentes en un ángulo del triángulo no son paralelos entre sí. Esta forma de realización alternativa también es adecuada para un soporte flotante que comprenda un único flotador, cuyo único flotador comprenda todo el sistema de estabilización.

El sistema de estabilización, de acuerdo con la forma de realización mostrada en la Figura 2b, que no está de acuerdo con la invención, tiene tres dispositivos de amortiguación 1 dispuestos en una estrella de tres puntas. Cada punta de la estrella está formada por un dispositivo de amortiguación 1: el centro de la estrella está formado por tres depósitos de líquido muy próximos entre sí, perteneciendo los depósitos de líquido a dispositivos de amortiguación diferentes. Los dispositivos de amortiguación se disponen con un ángulo de aproximadamente 120° para formar la estrella. De este modo, dos dispositivos adyacentes en el centro de la estrella no son paralelos entre sí. Cada dispositivo de amortiguación 1 tiene dos depósitos de líquido 2 y un tubo de conexión 3. Los depósitos de líquido 2 tienen una forma, en esencia, cilíndrica. Cada tubo de conexión 3 conecta dos depósitos de líquido 2. Los tubos de conexión 3 se sitúan en la parte inferior de los depósitos de líquido. Esta disposición es adecuada en particular para un soporte flotante del tipo triflotador, en el que cada flotador actúa como un vértice en estrella. Esta forma de realización alternativa también es adecuada para un soporte flotante que comprenda un único flotador, cuyo único flotador comprenda todo el sistema de estabilización.

El sistema de estabilización, de acuerdo con la forma de realización mostrada en la Figura 2c, que no está de acuerdo con la invención, tiene tres dispositivos de amortiguación 1 dispuestos en una estrella de seis puntas. Cada dispositivo de amortiguación 1 tiene dos depósitos de líquido 2 y un tubo de conexión 3. Los depósitos de líquido 2 tienen una forma, en esencia, cilíndrica. Cada tubo de conexión 3 conecta dos depósitos de líquido 2. El centro de la estrella está formado por la intersección de los tubos de conexión 3. En el centro de la estrella, los tubos de conexión no se conectan entre sí, sino que se pueden superponer unos sobre otros. Los dispositivos de amortiguación se disponen con un ángulo de aproximadamente 60° para formar la estrella. De este modo, dos dispositivos de amortiguación adyacentes en el centro de la estrella no son paralelos entre sí. Los tubos de conexión 3 se sitúan en la parte inferior de los depósitos de líquido. Esta disposición es adecuada en particular para un soporte flotante del tipo hexaflotador, para el que cada flotador actúa como un vértice de la estrella. Esta forma de realización alternativa también es adecuada para un soporte flotante que comprenda un único flotador, cuyo único flotador comprenda todo el sistema de estabilización.

El sistema de estabilización, de acuerdo con la forma de realización de la Figura 2d, tiene cuatro dispositivos de amortiguación 1 dispuestos en cuadrilátero. En el caso ilustrado, se trata de un cuadrado. Cada dispositivo de amortiguación tiene dos depósitos de líquido 2 y un tubo de conexión 3. Los depósitos de líquido 2 tienen una forma, en esencia, cilíndrica. Cada tubo de conexión 3 conecta dos depósitos de líquido 2. Los tubos de conexión 3 se sitúan en la parte inferior de los depósitos de líquido. En cada vértice del cuadrado se disponen dos depósitos de líquido 2 mutuamente adyacentes, pertenecientes a dos dispositivos de amortiguación diferentes. Los dispositivos de amortiguación se disponen con un ángulo de aproximadamente 90° para formar el cuadrado. De este modo, dos dispositivos de amortiguación adyacentes en un ángulo del cuadrado no son paralelos entre sí. Esta disposición es adecuada en particular para un soporte flotante del tipo cuadriflotador, para el que cada flotador actúa como un vértice del cuadrado, es decir, dos depósitos de líquido 2 de dos dispositivos de amortiguación diferentes. Esta forma de realización alternativa también es adecuada para un soporte flotante que comprenda un único flotador, cuyo único flotador comprenda todo el sistema de estabilización.

El sistema de estabilización, de acuerdo con la forma de realización de la Figura 2e, tiene seis dispositivos de amortiguación 1, de los cuales tres se disponen en triángulo y tres en estrella. En el caso ilustrado, se trata de un triángulo equilátero en el que se inscribe la estrella. Cada punta de la estrella está formada por un dispositivo de amortiguación 1: el centro de la estrella está formado por tres depósitos de líquido muy próximos entre sí, perteneciendo los depósitos de líquido a dispositivos de amortiguación diferentes y adyacentes. Los dispositivos de amortiguación de la estrella se disponen con un ángulo de aproximadamente 120° para formar la estrella. De este modo, dos dispositivos de amortiguación adyacentes en el centro de la estrella no son paralelos entre sí. Los extremos

exteriores de las puntas de la estrella son adyacentes a los vértices del triángulo. En cada vértice del triángulo se disponen tres depósitos de líquido 2 mutuamente adyacentes y pertenecientes a tres dispositivos de amortiguación diferentes. Los dispositivos de amortiguación del triángulo se disponen con un ángulo de aproximadamente 60° para formar el triángulo equilátero. De este modo, dos dispositivos de amortiguación adyacentes en un ángulo del triángulo no son paralelos entre sí. Cada dispositivo de amortiguación tiene dos depósitos de líquido 2 y un tubo de conexión 3. Los depósitos de líquido 2 tienen una forma, en esencia, cilíndrica. Cada tubo de conexión 3 conecta dos depósitos de líquido 2. Los tubos de conexión 3 se sitúan en la parte inferior de los depósitos de líquido. Esta disposición es adecuada para un soporte flotante del tipo triflotador con un flotador central adicional, para el que cada flotador actúa como un vértice del triángulo, es decir, tres depósitos de líquido 2 de tres dispositivos de amortiguación diferentes, y para el que el flotador central actúa como el centro de la estrella, es decir, tres depósitos de líquido 2 de tres dispositivos de amortiguación diferentes. Esta forma de realización alternativa también es adecuada para un soporte flotante que comprenda un único flotador, cuyo único flotador comprenda todo el sistema de estabilización.

Se pueden considerar otras formas de realización, en particular, una disposición de los dispositivos de amortiguación formando un cuadrado y una estrella de cuatro puntas, o una disposición formando un pentágono y una estrella de cinco puntas, etc.

Las Figuras 3a a 3d muestran, esquemáticamente en vista en planta, y de manera no restrictiva, cuatro variantes de la primera forma de realización correspondiente a la Figura 2a, es decir, con tres dispositivos de amortiguación dispuestos en triángulo.

Además de los elementos mostrados en la Figura 2a, el sistema de estabilización de acuerdo con la forma de realización alternativa mostrada en la Figura 3a tiene medios de restricción de líquido 4. Los medios de restricción de líquido 4 se colocan en cada tubo de conexión 3. Permiten reducir el flujo de líquido a través de los tubos de conexión 3.

El sistema de estabilización, de acuerdo con la forma de realización alternativa de la Figura 3b, tiene, además de los elementos ilustrados en la Figura 2a, conductos de paso de gas 5 (en líneas discontinuas) y medios de restricción del paso de gas 6. Los conductos de paso de gas 5 conectan la parte superior de los depósitos de líquido 2 para el paso de gas de un depósito de líquido a otro. En esta variante, los conductos de paso de gas 5 son paralelos a los tubos de conexión 3. Además, cada conducto de paso de gas 5 tiene medios de restricción del paso de gas 6. Estos permiten limitar el flujo de gas entre los depósitos de líquido 2. Sin embargo, estos medios de restricción del paso de gas 6 son opcionales.

Además de los elementos ilustrados en la Figura 2a, el sistema de estabilización de acuerdo con la forma de realización alternativa de la Figura 3c tiene medios de restricción de líquido 4 y conexiones 7 con el medio exterior. Los medios de restricción de líquido 4 se colocan en cada tubo de conexión 3. Permiten reducir el flujo de líquido a través de los tubos de conexión 3. Las conexiones 7, en forma de restricción, permiten el paso de gas del medio exterior a la parte superior de los depósitos de líquido 2 y viceversa. Esta variante también puede incluir además conductos de paso de gas (no mostrados).

Además de los elementos mostrados en la Figura 2a, el sistema de estabilización de acuerdo con la forma de realización alternativa de la Figura 3d tiene conductos de paso de gas 5 (en líneas discontinuas), medios de restricción del flujo de gas 6, medios de restricción del flujo de líquido 4 y conexiones 7 con el medio exterior. Los medios de restricción de líquido 4 se colocan en cada tubo de conexión 3. Permiten reducir el flujo de líquido a través de los tubos de conexión 3. Las conexiones 7, en forma de restricción, permiten el paso de gas del medio exterior a la parte superior de los depósitos de líquido 2 y viceversa. Los conductos de paso de gas 5 conectan la parte superior de los depósitos de líquido 2 para el paso de gas de un depósito de líquido a otro. En esta variante, los conductos de paso de gas 5 son paralelos a los tubos de conexión 3. Además, cada conducto de paso de gas 5 tiene medios de restricción del paso de gas 6. Estos permiten limitar el flujo de gas entre los depósitos de líquido 2. Sin embargo, estos medios de restricción del paso de gas 6 son opcionales.

Estas formas de realización alternativas se pueden modificar para adaptarse a diferentes diseños: en particular, las disposiciones de las Figuras 3b a 3d pueden no incluir ningún medio para restringir el paso del líquido, etc.

Además, estas diferentes configuraciones se pueden aplicar a las diferentes formas de realización, en particular para las formas de realización de las Figuras 2b a 2e.

El sistema de estabilización permite amortiguar el movimiento multidireccional del oleaje para el soporte flotante.

El soporte flotante puede tener un único flotador con una forma, en esencia, cilíndrica, por ejemplo, según se describe en la solicitud de patente FR 2998338. En este caso, el sistema de estabilización se puede incluir en el único flotador.

Alternativamente, el soporte flotante puede comprender varios, preferiblemente al menos tres, flotadores conectados entre sí. En particular, puede ser del tipo triflotador, según se describe en la solicitud de patente FR 2990005 (US

2015-0071779). Este diseño con varios flotadores tiene, en general, un desplazamiento bajo, y presenta una gran inercia de la superficie flotante, lo que le proporciona un par de adrizamiento suficiente para su estabilidad. Además, este tipo de flotador es menos sensible al oleaje que las barcazas. Si hay varios flotadores, cada flotador puede comprender uno o más depósitos de líquido del sistema de estabilización, pudiendo entonces los tubos de conexión del sistema de estabilización conectar los diferentes flotadores entre sí y pudiendo ser soportados por la estructura del soporte flotante multiflotador.

Estos soportes flotantes se pueden anclar al lecho marino mediante líneas de anclaje tensadas, semitensadas o catenarias.

La presente invención también hace referencia a una instalación de aerogenerador en una masa de agua (por ejemplo, el mar). La instalación comprende un aerogenerador de eje vertical u horizontal, y un soporte flotante de acuerdo con una cualquiera de las combinaciones de variantes descritas anteriormente. El objetivo del soporte flotante es proporcionar flotabilidad y estabilidad al aerogenerador, de manera que absorba las fuerzas ejercidas sobre él, limitando al mismo tiempo los movimientos del conjunto. El soporte flotante de acuerdo con la invención es particularmente adecuado para la instalación de un aerogenerador offshore (en alta mar), con el fin de permitir la amortiguación del oleaje y la estabilidad del aerogenerador.

El soporte flotante de acuerdo con la invención también se puede utilizar en otros campos distintos de la instalación de aerogeneradores offshore (en alta mar), por ejemplo, para medios de producción de hidrocarburos, sistemas undimotrices (conversión de energía del oleaje en energía mecánica o eléctrica), etc.

Ejemplo

Para evaluar el rendimiento de un soporte flotante (flotador) dotado con un sistema de estabilización de acuerdo con la invención, se pueden describir, por una parte, las interacciones entre éste y el flotador y, por otra parte, las interacciones entre el flotador y el oleaje. Se utiliza un enfoque lagrangiano para obtener las ecuaciones de movimiento, cuya forma general viene dada por

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial L}{\partial q_k} = Q_k$$

donde L es el Lagrangiano del sistema formado por el flotador y el sistema de estabilización, q_k los parámetros del sistema y Q_k las fuerzas generalizadas.

Mediante este ejemplo se muestra la naturaleza multidireccional del sistema de estabilización de acuerdo con la invención. Para ello, se evalúa la respuesta de un flotador equipado con un sistema de estabilización de acuerdo con la invención, según se ilustra en la Figura 1, para diferentes ángulos de incidencia del oleaje. A cada ángulo de incidencia se le asocia un sistema de referencia local, tal como se define en la Figura 5a. Cualquiera que sea el ángulo de incidencia, los movimientos del flotador se evalúan en el sistema de referencia local del oleaje incidente (y por tanto de la excitación), en particular en términos de amplitud de movimiento angular a lo largo de la dirección perpendicular a la onda incidente (a lo largo de x_f).

Los resultados se muestran en la Figura 4 utilizando la barcaza del MIT como flotador (tal como se describe en el documento: J. M. Jonkman, Dynamics modeling and loads analysis of an offshore floating wind turbine, Tesis doctoral NREL/TP-500-41958, Laboratorio Nacional de Energías Renovables, noviembre de 2007). La Figura 4 incluye curvas de la relación A (°/m) entre la amplitud angular con respecto a la altura del oleaje en función del periodo del oleaje T_h (s). Siendo este flotador circular, por simetría, su respuesta sin dispositivo de amortiguación, es decir, de acuerdo con la técnica anterior, es idéntica cualquiera que sea el ángulo de incidencia. Esta respuesta viene dada por la curva REF. Para evaluar la sensibilidad de la respuesta del flotador equipado con el sistema de estabilización de acuerdo con la invención, al ángulo de incidencia del oleaje, se varió este ángulo en intervalos de 15° entre -30° y $+30^\circ$ (véase la Figura 5b). Como el propio soporte de acuerdo con la invención es invariable por rotación de 120° y simétrico, este barrido de 60° es equivalente a un barrido de 360° del ángulo de incidencia. Las curvas (una para cada ángulo de incidencia del oleaje) obtenidas para el sistema de acuerdo con la invención se indican como INV. Estas curvas son prácticamente idénticas. En comparación con la referencia REF de acuerdo con la técnica anterior, la utilización del sistema de estabilización de acuerdo con la invención INV permite una reducción muy significativa (alrededor del 40%) de la amplitud del movimiento en una amplia gama de periodos de excitación, al igual que en el caso de una barcaza equipada con un simple "tubo en U" colocado en el plano de incidencia del oleaje. Además, superponiendo las curvas, podemos ver que hay muy poca sensibilidad al ángulo de incidencia. Por lo tanto, se puede decir que el sistema de estabilización de acuerdo con la invención tiene una naturaleza multidireccional para la amortiguación. Por el contrario, un sistema simple de "tubo en U" no permite ninguna amortiguación para un oleaje cuyo ángulo de incidencia sea perpendicular al eje del "tubo en U".

REIVINDICACIONES

1. Soporte flotante que comprende al menos un flotador y un sistema de estabilización que tiene varios dispositivos de amortiguación (1), teniendo cada dispositivo de amortiguación (1), en esencia, forma de U y teniendo dos depósitos de líquido (2) y un tubo de conexión (3) que conecta dichos dos depósitos de líquido (2), teniendo dicho sistema de estabilización al menos tres dispositivos de amortiguación (1), sin que cada dispositivo de amortiguación (1) sea paralelo al menos a otro dispositivo de amortiguación (1) y estando dichos dispositivos de amortiguación (1) dispuestos de manera que forman un polígono, preferiblemente un polígono regular, estando formados los vértices de dicho polígono por dichos depósitos de líquido (2) de dichos dispositivos de amortiguación, y estando formadas las aristas de dicho polígono por dichos tubos de conexión (3) de dichos dispositivos de amortiguación (1) caracterizado por que en él dichos vértices de dicho polígono están formados al menos por dos depósitos de líquido (2) de dos dispositivos de amortiguación diferentes.
2. Soporte flotante de acuerdo con la reivindicación 1, en el que un tubo de conexión (3) de al menos un dispositivo de amortiguación (1) tiene medios para restringir el paso (4) de dicho líquido.
3. Soporte flotante de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos depósitos de líquido (2) del al menos un dispositivo de amortiguación (1) tienen un gas en sus partes superiores.
4. Soporte flotante de acuerdo con la reivindicación 3, en el que al menos un dispositivo de amortiguación (1) tiene un conducto (5) para el paso de dicho gas que conecta dichos dos depósitos de líquido (2).
5. Soporte flotante de acuerdo con una de las reivindicaciones 3 o 4, en el que dicho conducto (5) para el paso de dicho gas es paralelo a dicho tubo de conexión (3).
6. Soporte flotante de acuerdo con una de las reivindicaciones 3 a 5, en el que dicho conducto (5) para el paso de dicho gas tiene medios de restricción (6) del paso de dicho gas.
7. Soporte flotante de acuerdo con una de las reivindicaciones 3 a 6, en el que al menos un depósito de líquido (2) tiene una conexión (7) con un gas del medio exterior.
8. Soporte flotante de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos depósitos de líquido (2) tienen una forma, en esencia, cilíndrica.
9. Soporte flotante de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, que tiene entre tres y ocho dispositivos de amortiguación.
10. Un sistema de generación de energía en alta mar que comprende al menos un aerogenerador, al menos un flotador y un soporte flotante de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores.

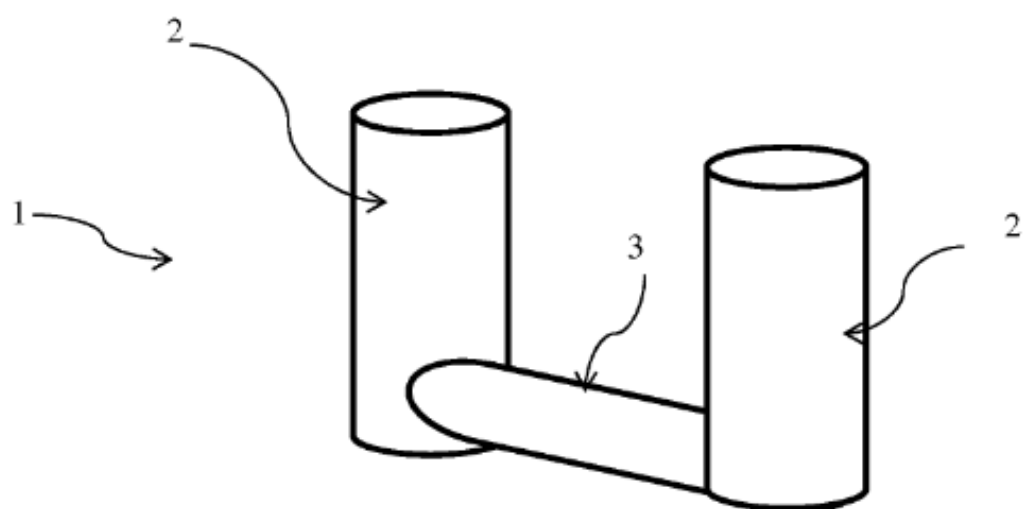


Figura 1

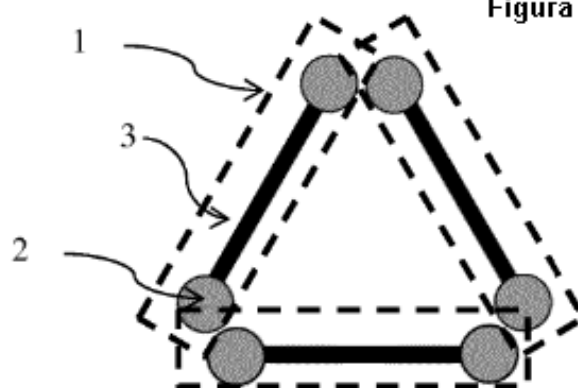


Figura 2a

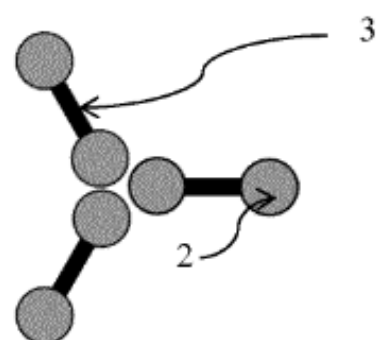


Figura 2b

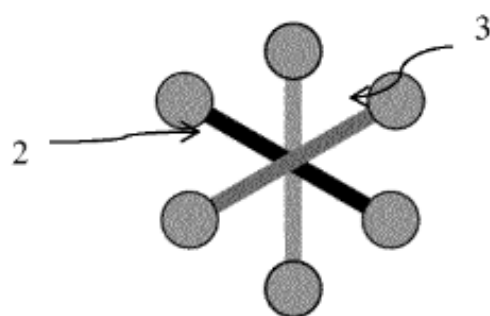


Figura 2c

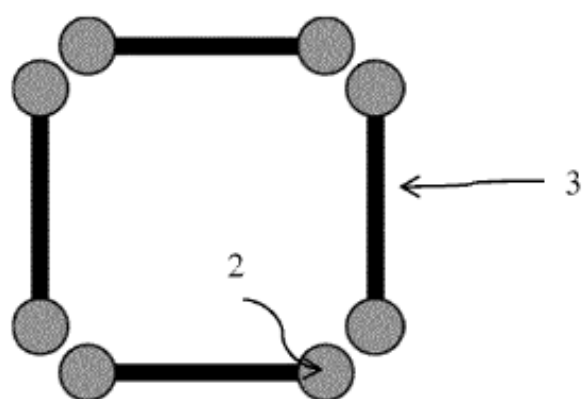


Figura 2d

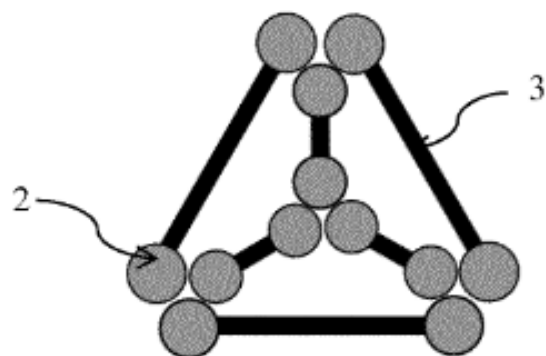


Figura 2e

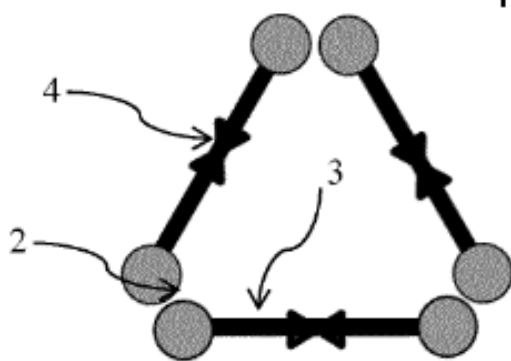


Figura 3a

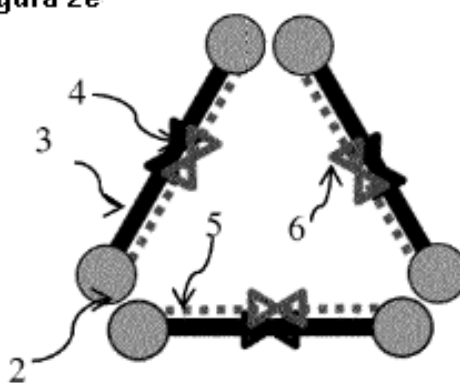


Figura 3b

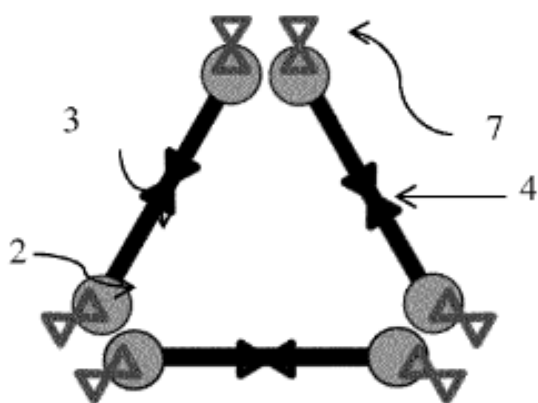


Figura 3c

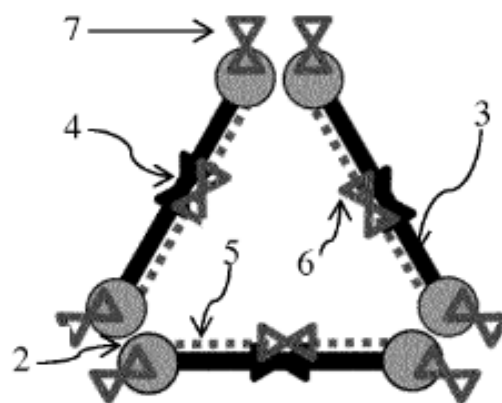


Figura 3d

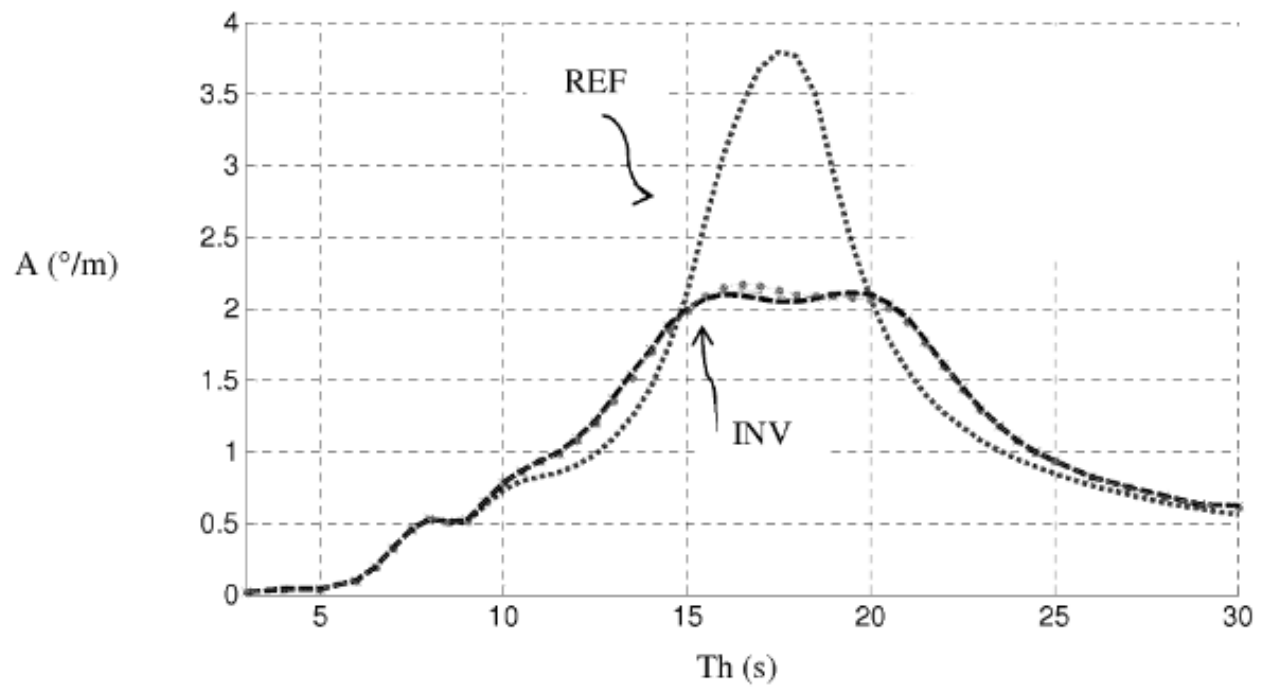


Figura 4

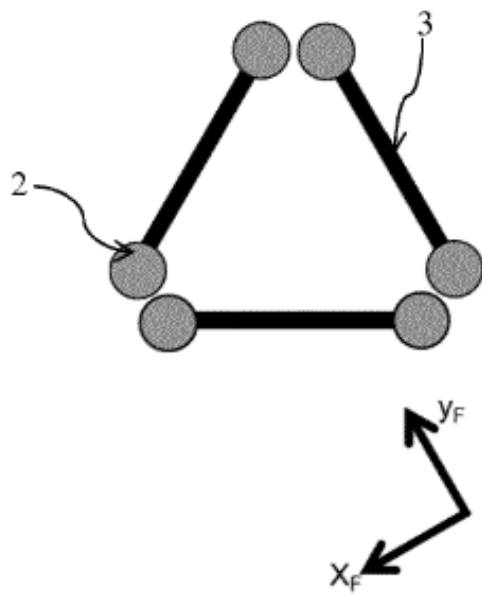


Figura 5a

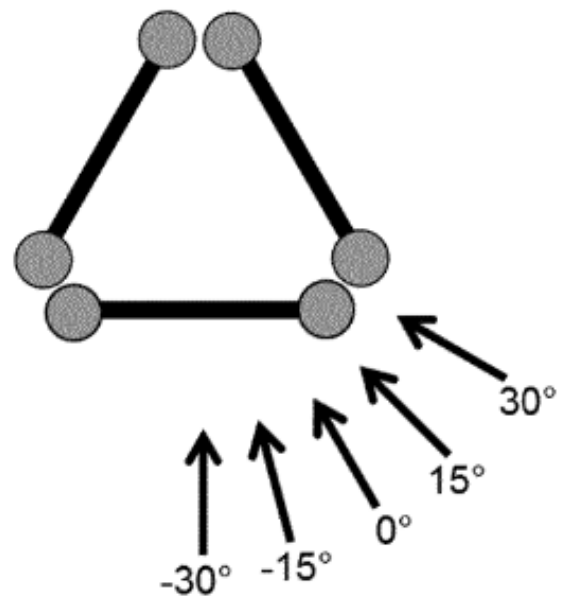


Figura 5b