

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 007 629**

51 Int. Cl.:

**E02B 17/02** (2006.01)  
**E02B 17/00** (2006.01)  
**F03D 13/25** (2006.01)  
**E02D 15/08** (2006.01)  
**E02D 27/42** (2006.01)  
**E02D 27/50** (2006.01)  
**E02D 27/52** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.09.2021 PCT/EP2021/074593**  
 87 Fecha y número de publicación internacional: **07.04.2022 WO22069167**  
 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.09.2021 E 21773555 (4)**  
 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2024 EP 4222318**

54 Título: **Cimentación para una estructura en alta mar**

30 Prioridad:

**02.10.2020 DE 102020125842**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**20.03.2025**

73 Titular/es:

**BARTMINN, DANIEL (100.00%)**  
**Moltkestraße 11b**  
**25335 Elmshorn, DE**

72 Inventor/es:

**CZARNECKI, ARTUR y**  
**BARTMINN, DANIEL**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 3 007 629 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**

Cimentación para una estructura en alta mar

5 La solicitud se refiere a una cimentación para una estructura en alta mar, en particular para una estructura de energía eólica en alta mar, que comprende al menos una estructura de cimentación en forma de torre con una pared de cimentación circunferencial, que se extiende en la dirección longitudinal (o dirección axial), estando delimitada la pared de cimentación en la parte inferior con una cara del extremo en la parte inferior, estando hecha la pared de cimentación de un material de construcción mineral. Además, la solicitud se refiere a una estructura en alta mar, a un procedimiento para la producción de una cimentación y a un uso.

15 Cada vez se construyen más estructuras en alta mar, particularmente en el mar. Por ejemplo, se instalan parques eólicos en alta mar con un gran número de estructuras de energía eólica en alta mar, para generar energía eléctrica o para suministrar energía eléctrica a partir de las llamadas fuentes de energía renovables. Los lugares en alta mar se caracterizan normalmente por condiciones de viento relativamente continuas y velocidades medias altas del viento, por lo que cada vez se construyen más los llamados parques eólicos en alta mar.

20 Un parque eólico en alta mar presenta normalmente un gran número de estructuras de energía eólica en alta mar, como por ejemplo un gran número de instalaciones de energía eólica en alta mar (turbinas eólicas), eventualmente un mástil de medición y/o una estación de transformación en alta mar. A través de la estación de transformación en alta mar se puede conectar eléctricamente el parque eólico en alta mar, por ejemplo, con una estación de transformación en tierra u otra estación de transformación en alta mar o estación convertidora en alta mar. Una estación de transformación en tierra, a su vez, se puede conectar con una red eléctrica pública.

25 Se instala una instalación de energía eólica en alta mar (turbina eólica) para convertir la energía cinética del viento en energía eléctrica. Para transmitir la energía eléctrica generada entre dos estructuras de energía eólica en alta mar o una estructura de energía eólica en alta mar y una estructura en tierra, se tienden cables de energía en forma de cables submarinos.

30 Para estructuras de energía eólica en alta mar, pero también para otras estructuras en alta mar (por ejemplo, plataformas para la exploración de gas y/o petróleo), es habitual anclar o cimentar una estructura en alta mar con una cimentación (por ejemplo, cimentaciones monopilote, trípode, tripiles o trepante (jacket)) directamente sobre o en el subsuelo o fondo submarinos, en particular un fondo marino.

35 Una cimentación presenta habitualmente una estructura de cimentación en forma de torre, en particular cilíndrica, preferentemente en forma de un elemento estructural hueco. Una estructura de cimentación en forma de torre presenta normalmente una pared de cimentación circunferencial, que se extiende en dirección longitudinal o axial, estando delimitada la pared de cimentación en la parte inferior por una cara del extremo en la parte inferior.

40 En la práctica, las estructuras de cimentación en forma de torre se producen normalmente de material metálico o acero. El acero es particularmente adecuado para dicha estructura de cimentación, debido a sus propiedades de resistencia y rigidez.

45 Se descubrió que la producción de una pared de cimentación de una estructura de cimentación en forma de torre a partir de un material de construcción mineral (por ejemplo, hormigón), tiene un gran potencial de ahorro de costes en comparación con una estructura de acero (puro). Sin embargo, para proporcionar una resistencia suficiente es necesario aumentar considerablemente el espesor de la pared o el grosor de la pared de la pared de cimentación en una pared de cimentación hecha de un material de construcción mineral en comparación con una estructura hueca de acero.

50 Sin embargo, el aumento del espesor de la pared genera problemas al instalar (por ejemplo, mediante lavado o embestida) dicha estructura de cimentación en el subsuelo submarino. El mayor espesor de pared aumenta la resistencia durante la inserción en el fondo submarino. Esto aumenta el esfuerzo de instalación y, en consecuencia, los costes de instalación, particularmente debido a la inevitable necesidad de equipos de instalación significativamente mayores.

55 Una cimentación genérica es conocida a partir del documento CN 111 636 467 A. Más información sobre el estado de la técnica se encuentra descrita en los documentos KR 101 403 455 B1 y KR 101 281 601 B1.

60 Por lo tanto, la solicitud se basa en el objetivo de proporcionar una cimentación para una estructura en alta mar, en la que al menos se reduzcan las desventajas mencionadas anteriormente y, en particular, se simplifique el proceso de instalación de una estructura de cimentación en forma de torre formada a partir de un material de construcción mineral.

65 El objetivo se resuelve según un primer aspecto de la solicitud mediante una cimentación para una estructura en alta mar, en particular para una estructura de energía eólica en alta mar, según la reivindicación 1. La cimentación comprende al menos una estructura de cimentación en forma de torre con una pared de cimentación circunferencial,

- 5 extendiéndose en dirección longitudinal. La pared de cimentación está delimitada por la parte inferior con una cara del extremo en la parte inferior. La pared de cimentación está hecha de un material de construcción mineral. La cimentación comprende al menos un elemento de unión formado de un material metálico y dispuesto en la cara del extremo en la parte inferior, siendo la longitud del elemento de unión desde la cara del extremo en la parte inferior hasta un extremo inferior del elemento de unión de al menos 0,5 m.
- 10 A diferencia del estado de la técnica, según la solicitud, está prevista una cimentación con una estructura de cimentación en forma de torre formada por una pared de cimentación circunferencial, en la que está dispuesto un elemento de unión de un material metálico o de un material con una longitud de al menos 0,5 m, en particular, se fija en la cara del extremo inferior, al menos se reducen las desventajas del estado de la técnica y, en particular, se simplifica el proceso de instalación de una estructura de cimentación en forma de torre, hecha de un material de construcción mineral. En particular, la resistencia de la estructura de cimentación en forma de torre se puede reducir mediante el elemento de unión metálico durante el proceso de instalación. El desplazamiento del material del suelo durante el proceso de inserción se favorece, en particular, mediante el elemento de unión metálico, de modo que se pueden reducir particularmente el esfuerzo de instalación y, correspondientemente, los costes de instalación.
- 15 La cimentación según la solicitud forma parte en particular de una estructura en alta mar y preferentemente sirve para soportar una instalación en alta mar, de la estructura en alta mar. Una estructura en alta mar es preferentemente una estructura de energía eólica en alta mar, como por ejemplo una instalación de energía eólica en alta mar (turbina eólica), un mástil de medición en alta mar o una estación de transformación en alta mar. Además, una estructura en alta mar puede ser una plataforma de perforación o producción u otra plataforma en alta mar, preferentemente configurada para generar, convertir y/o almacenar energía, tal como una planta en alta mar para la producción de hidrógeno.
- 20 Como ya se ha descrito, una estructura en alta mar puede comprender una instalación en alta mar, que puede estar fijada mediante la cimentación en un fondo o subsuelo submarino, en particular un fondo marino. Una estructura en alta mar puede estar formada en particular por la instalación en alta mar (por ejemplo, una plataforma, una góndola, una torre, un generador, un rotor, un dispositivo de transformación y/o similares) y la al menos una cimentación.
- 25 La cimentación según la solicitud comprende una estructura de cimentación en forma de torre, preferentemente en forma de un elemento estructural hueco cilíndrico. El elemento estructural hueco cilíndrico puede ser en particular un poste hueco. La estructura de cimentación en forma de torre presenta una pared de cimentación circunferencial, que se extiende en la dirección longitudinal o dirección axial de la estructura de cimentación en forma de torre. En particular, la estructura de cimentación en forma de torre puede presentar una superficie de sección transversal circular. En otras variantes de la solicitud también se puede prever otra superficie de sección transversal, por ejemplo, de forma ovalada. La solicitud también comprende estructuras complejas compuestas por varios elementos que se integran en el suelo, como trepantes (jackets), trípodes y tripiles.
- 30 La pared de cimentación puede presentar dos extremos distales, cada uno de los cuales está delimitado por las caras de los extremos. Una primera cara de extremo puede ser una cara de extremo superior y una segunda cara de extremo puede ser una cara de extremo inferior. La parte superior e inferior se pueden definir mediante la posición del elemento estructural hueco en el estado final instalado. En el estado instalado, la cara de extremo inferior está dispuesta en el fondo submarino, en particular cimentado, en la cara de extremo superior en particular puede sobresalir al menos del fondo submarino, preferentemente de la línea de agua.
- 35 Una pared de cimentación está delimitada en particular por una pared interior y una pared exterior o por un diámetro interior y un diámetro exterior. La pared de cimentación es la delimitación exterior de la estructura de cimentación en forma de torre. La pared de cimentación es en particular tubular. Como ya se ha descrito, la pared de cimentación puede tener una sección transversal particularmente redonda, elíptica u ovalada.
- 40 Según una forma de realización se propone que la estructura de cimentación en forma de torre sea cilíndrica hueca. La forma cilíndrica permite aumentar la integridad estructural, de modo que el elemento estructural hueco pueda soportar momentos de flexión más altos.
- 45 La pared de cimentación según la solicitud está formada o producida a partir de un material de construcción mineral. Según una forma de realización de la cimentación según la solicitud, el material de construcción mineral puede contener cemento, al menos en parte. El material de construcción mineral es preferentemente hormigón, que se mezcla con cemento, grava, arena y agua y, en particular, se endurece después del vertido.
- 50 Según la solicitud se ha reconocido que un elemento de unión metálico dispuesto en la cara del extremo inferior, en particular en forma de una zapata metálica, reduce la resistencia al insertar la estructura de cimentación. El elemento de unión metálico facilita el desplazamiento del material del suelo durante el proceso de inserción.
- 55 Un elemento de unión metálico presenta la ventaja de una mayor resistencia (en comparación con un elemento producido de un material de construcción mineral), de modo que el elemento de unión metálico (que en el estado
- 60
- 65

instalado está preferentemente, completamente integrado en el fondo submarino), puede presentar un espesor de pared de unión menor que el espesor de pared de la pared de cimentación.

5 En particular, un elemento de unión metálico significa en el presente caso, que el elemento de unión no contiene ningún material de construcción mineral. En particular, el elemento de unión puede estar formado exclusivamente de un material metálico. De manera particularmente preferente, el material metálico puede ser (exclusivamente) acero.

10 Se entiende que, en variantes de la solicitud, también se puede unir un material de construcción mineral (por ejemplo, como protección para el transporte) en el elemento de unión metálico (en particular en el extremo inferior), permitiéndose un daño, al menos parcial, del material de construcción mineral antes o durante el proceso de inserción.

El elemento de unión metálico puede estar situado al menos en una sección con respecto a la cara del extremo inferior del elemento metálico, que no está a más de 3 m de la cara del extremo inferior de la cimentación.

15 Para una buena capacidad de carga se ha encontrado que la relación agua-cemento (a/c) del material de construcción mineral puede ser inferior a 0,45, en particular inferior a 0,35 y de manera particularmente preferente, inferior a 0,3.

20 Los momentos y fuerzas cortantes que se producen particularmente en las instalaciones de energía eólica (turbinas eólicas) pueden ser absorbidos adecuadamente por la estructura de cimentación en forma de torre, particularmente si el material de construcción mineral presenta una clase de resistencia de al menos C40/50, preferentemente C70/85, de manera particularmente preferente C100/115, según EN 206 y EN1992.

25 Una estabilidad suficiente a largo plazo de la estructura de cimentación en forma de torre a lo largo de la vida útil de una estructura en alta mar, en particular de una instalación de energía eólica en alta mar (turbina eólica), particularmente en el caso de una penetración permanente por agua, se puede conseguir en particular mediante el material de construcción mineral, que presenta un contenido de poros (poros de aire) inferior al 5%, preferentemente inferior al 3%, en particular inferior al 2%. La porosidad total medida con porosidad a presión de mercurio debe ser después de 28 días  $P_{28d} < 12\%$  en volumen y después de 90 días  $P_{90d} < 10\%$  en volumen.

30 Particularmente en el caso de una penetración permanente de agua durante la instalación de la estructura de cimentación, se puede conseguir una vida útil suficiente si el material de construcción mineral presenta una porosidad de  $P_{28d} < 12\%$  en volumen en una medición poro simétrica de presión de mercurio, como ya se describió.  $P_{28d}$  es una medición de más de 28 días. La porosidad es, en este caso, también preferentemente inferior al 10% en volumen. En  $P_{90d}$ , es decir, en una medición de más de 90 días, la porosidad es preferentemente  $< 10\%$  en volumen, en particular  $< 8\%$  en volumen.

35 Se puede conseguir una capacidad de carga suficiente de la estructura de cimentación, particularmente si el material de construcción mineral presenta un contenido de cemento de al menos  $350 \text{ kg/m}^3$ , preferentemente al menos  $450 \text{ kg/m}^3$ , de manera particularmente preferente al menos  $650 \text{ kg/m}^3$ .

40 Además, la pared de cimentación puede estar pretensada mecánicamente. El pretensado puede suprimir las fisuras y, por lo tanto, mantener las superficies en gran medida libres de tensiones de tracción. Esto es particularmente ventajoso en el caso de cargas de momentos de torsión fluctuantes. La fuerza de pretensado es preferentemente un 5%, en particular más de un 15%, mayor que la resistencia a la compresión de la pared de cimentación. La fuerza de pretensado se aplica preferentemente en la dirección longitudinal.

45 Para una estabilidad aún mayor, particularmente en condiciones ambientales dinámicas, según otra forma de realización, el material de construcción mineral puede estar reforzado (metálicamente). El refuerzo metálico es en particular un refuerzo de acero. El refuerzo se puede proporcionar mediante fibras o hierro de refuerzo. El refuerzo de fibra también se puede conseguir utilizando fibra de carbono, fibra de vidrio o fibra de metal.

50 El refuerzo se puede formar de tal manera que presente al menos 26 mm, preferentemente al menos 40 mm, de recubrimiento de hormigón en el 90% de los puntos de medición, preferentemente en el 98% de los puntos de medición.

55 El material de construcción mineral se puede reforzar con acero de refuerzo de acero inoxidable ferrítico. El refuerzo no puede exceder un contenido de cromo del 18 M%. El refuerzo puede contener componentes de molibdeno.

60 El material de construcción mineral se puede reforzar con acero de refuerzo de acero inoxidable austenítico. El refuerzo puede contener al menos un 5 M%, en particular entre un 5 M% y un 14 M%, de níquel y/o entre un 12 M% y un 22 M%, en particular entre un 15 M% y un 20 M%, de cromo.

65 El material de construcción mineral se puede reforzar con acero de refuerzo de acero inoxidable ferrítico-austenítico. El refuerzo puede contener al menos 18 M%, en particular entre 15 M% - 20 M% de cromo y 2 M% - 8 M% de níquel y eventualmente molibdeno.

Para una mayor estabilidad se propone, según otra forma de realización, que el material de construcción mineral pueda sellarse, en particular con una lámina de sellado. Una lámina de sellado de este tipo puede ser, por ejemplo, una lámina de sellado de butilo de aluminio.

5 La estructura de cimentación en forma de torre tiene preferentemente una longitud de empotramiento de al menos 7 m. Esto puede ser suficiente para cimentar suficientemente en el suelo la estructura de cimentación en forma de torre. Se prefieren longitudes de fijación entre 7 m y 20 m.

10 Según una forma de realización preferente de la cimentación, según la solicitud, la longitud del elemento de unión desde la cara del extremo inferior hasta un extremo inferior del elemento de unión puede estar entre 1 m y 9 m. Se ha demostrado que un elemento de unión con una longitud de este tipo facilita considerablemente y, en particular, apoya de manera óptima, el desplazamiento del material del fondo submarino. La longitud elegida puede depender en particular del diámetro de la estructura de cimentación en forma de torre y/o de las propiedades del suelo en el lugar de instalación. En particular, la longitud se puede aumentar cuanto más difíciles (en particular más firmes) sean las condiciones del suelo.

15 Como ya se ha descrito, la pared de cimentación puede estar delimitada por la parte superior con una cara del extremo superior. Según otra forma de realización, el espesor de pared de la pared de cimentación puede ser esencialmente igual o constante desde la cara del extremo superior hasta la cara del extremo inferior. En otras palabras, el espesor de pared permanece preferentemente igual, en toda la longitud de la pared de cimentación y, en particular, no cambia en su recorrido.

20 En otras variantes de la solicitud, el espesor de pared de la pared de cimentación también puede variar, por ejemplo, estrecharse desde la cara del extremo superior hasta la cara del extremo inferior (continua o escalonada), con el diámetro interior de la estructura de cimentación en forma de torre, en particular un elemento estructural hueco, que aumenta en particular debido al estrechamiento y/o se reduce debido al estrechamiento del diámetro exterior de la estructura de cimentación en forma de torre, en particular, un elemento estructural hueco.

25 En principio, el al menos un elemento de unión puede tener cualquier forma. Es posible, por ejemplo, disponer en la cara del extremo inferior varios elementos metálicos en forma de clavija, que pueden estar dispuestos uno al lado del otro.

30 En la cimentación de acuerdo con la invención, el elemento de unión comprende una pared de unión circunferencial, que se extiende en dirección longitudinal (o dirección axial). La pared de unión puede estar formada íntegramente preferentemente de acero. La forma de la sección transversal corresponde a la forma de la sección transversal de la pared de cimentación. (Se entiende que los tamaños de las superficies pueden diferir). Para desplazar material del suelo, se ha demostrado que es particularmente ventajoso un elemento de unión en forma de una pared de unión circunferencial.

35 Según una forma de realización adicional de la cimentación según la solicitud, el espesor de pared de la pared de cimentación puede ser al menos mayor que el espesor de pared de la pared de unión. Como ya se ha descrito, mediante el uso de metal, en particular acero, se puede reducir el espesor de pared, al menos en una sección de pared de la pared de unión (en comparación con el espesor de pared de la pared de cimentación, en particular en la zona de la cara del extremo inferior). Esto mejora aún más el desplazamiento del material del suelo.

40 Según una forma de realización adicional de la cimentación según la aplicación, el espesor de pared de la pared de cimentación puede estar entre 100 mm y 900 mm, preferentemente entre 125 mm y 450 mm. El espesor de pared de la pared de unión (en particular de la sección de conexión, que se describe más detalladamente a continuación) puede estar entre 10 mm y 100 mm, preferentemente entre 30 mm y 80 mm.

45 Preferentemente, el espesor de pared de la pared de cimentación puede ser de 1,5 veces a 40 veces mayor que el espesor de pared de la pared de unión (en particular la sección de conexión, que se describe más detalladamente a continuación).

50 Según una forma de realización de la cimentación según la solicitud, el elemento de unión, o una parte del elemento de unión, puede estar formado en una construcción compuesta, preferentemente de metal, de manera particularmente preferente de acero, y un material de construcción mineral (por ejemplo, el material de construcción descrito arriba), por lo que al menos en una sección la superficie de la sección transversal, el acero puede ser al menos el 12% de la superficie de la sección transversal bruta.

55 Según una forma de realización particularmente preferente de la cimentación según la solicitud, la pared de unión vista en dirección longitudinal puede comprender una sección extrema libre (que comprenda el extremo inferior del elemento de unión), una sección extrema (unida) y una sección de conexión, que conecte la sección extrema libre con la sección extrema unida. La sección extrema unida se puede integrar en la pared de cimentación. Esto significa en

particular que la sección extrema unida se extiende hasta la pared de cimentación, y está rodeada en particular por el material de construcción mineral.

5 Preferentemente, se puede utilizar un orificio frontal y un anclaje de clavija, para anclar la sección extrema unida en la pared de cimentación.

Se denomina sección de conexión la sección de la pared de unión, que sobresale directamente de la cara del extremo inferior, que en el extremo inferior confluye con la sección extrema libre. Preferentemente, la pared de unión y, por lo tanto, las secciones mencionadas pueden estar formadas en una sola pieza.

10 Según una forma de realización preferente de la cimentación según la solicitud, el espesor de pared de la sección de conexión desde la sección extrema unida hasta la sección extrema libre (es decir, en particular a lo largo de toda la longitud de la sección de conexión), puede ser constante, es decir, esencialmente no cambia. La sección de conexión puede tener una longitud de entre 0,2 m y 6,5 m.

15 Preferentemente, el espesor de pared de la pared de unión puede cambiar en la dirección longitudinal. En particular, el extremo inferior se puede estrechar en la sección extrema libre, para simplificar aún más el desplazamiento del material del suelo.

20 Según una forma de realización de la cimentación según la solicitud, el espesor de pared de la sección extrema libre puede diferir del espesor de pared de la sección de conexión (que en particular puede ser constante). En particular, el espesor de pared de la sección extrema libre se puede disminuir (de manera continua o escalonada), desde la sección de conexión hasta el extremo inferior de la sección extrema libre (es decir, en particular a lo largo de toda la longitud de la sección extrema libre). Preferentemente, la sección extrema libre puede presentar una forma de cuña. La forma de cuña también comprende en particular variantes redondeadas de la punta de cuña.

25 Alternativamente, el espesor de pared de la sección extrema libre puede ser mayor que el espesor de pared de la sección de conexión. En otras palabras, el espesor de pared se puede ampliar o aumentar en comparación con la sección de conexión. La ventaja de un elemento de unión de este tipo es, en particular, que durante la inserción se puede reducir la fricción superficial sobre la pared exterior de la pared de cimentación. Esto facilita aún más el proceso de instalación.

30 En una forma de realización, la sección extrema libre se puede dividir en dos subsecciones. En el caso de una primera subsección (inmediatamente) contigua a la sección de conexión, el espesor de pared se puede aumentar en comparación con la sección de conexión. En el caso de una segunda subsección (inmediatamente) contigua a la primera subsección, el espesor de la pared se puede disminuir (preferentemente de manera continua).

35 Según una forma de realización adicional de la cimentación según la solicitud, un diámetro interior de la sección de conexión (en particular con un espesor de pared constante, como se describe) puede corresponder esencialmente a un diámetro interior de la estructura de cimentación en forma de torre (en particular en la zona de la cara del extremo inferior). En otras palabras, los respectivos lados/paredes interiores de las paredes pueden estar esencialmente en una línea o alineados de manera correspondiente.

40 En particular, como alternativa, un diámetro exterior de la sección de conexión (en particular con un espesor de pared constante, como se describe) puede corresponder esencialmente a un diámetro exterior de la estructura de cimentación en forma de torre (en particular en la zona de la cara del extremo inferior). En otras palabras, los respectivos lados/paredes exteriores de las paredes pueden estar esencialmente en una línea o alineados de manera correspondiente.

45 Según una forma de realización de la cimentación según la solicitud, el diámetro interior de la sección extrema libre desde la sección de conexión (en particular con un espesor de pared constante, como se describe) hasta el extremo inferior de la sección extrema libre, puede ser esencialmente constante. En otras palabras, los respectivos lados/paredes exteriores de las secciones mencionadas pueden estar esencialmente en una línea o alineados de manera correspondiente. Un diámetro exterior de la sección extrema libre (en una forma de realización sólo la segunda subsección) se puede estrechar desde la sección de conexión hasta el extremo inferior de la sección extrema libre (preferentemente de manera continua, pero también de manera escalonada).

50 Alternativamente, el diámetro exterior de la sección extrema libre desde la sección de conexión (en particular con un espesor de pared constante, como se describe) hasta el extremo inferior de la sección extrema libre, puede ser esencialmente constante. En otras palabras, los respectivos lados/paredes exteriores de las secciones mencionadas pueden estar esencialmente en una línea o alineados de manera correspondiente. Un diámetro interior de la sección del extremo libre se puede estrechar desde la sección de conexión hasta el extremo inferior de la sección extrema libre (preferentemente de manera continua, pero también de manera escalonada).

55 Según una forma de realización adicional preferente de la cimentación según la solicitud, se puede utilizar un material de construcción mineral con una resistencia a la compresión de más de 120 N/mm<sup>2</sup> y/o un valor a/c de al menos,

menos de 0,35 como material de construcción mineral en una zona de unión de la estructura de cimentación en forma de torre, en la que un extremo del elemento de unión (en particular, la sección extrema unida descrita) está integrado en la estructura de cimentación en forma de torre.

5 En otras palabras, en la zona, en la que se extiende la sección extrema unida en la pared de cimentación, se puede utilizar un hormigón de ultra alto rendimiento (UHPC; también conocido como hormigón de ultra alto rendimiento), como material de construcción mineral. De este modo se puede proporcionar una resistencia suficiente, en particular en la zona de conexión entre la pared de cimentación y el elemento de unión. En particular, se puede utilizar un material de construcción mineral con un límite elástico (límite de flujo) entre 120 y 200 MPA, preferentemente entre 140 y 200 MPA (con un límite elástico del 0,2%).

Otro aspecto de la solicitud es una estructura en alta mar, en particular una estructura de energía eólica en alta mar. La estructura en alta mar comprende al menos una cimentación descrita anteriormente. La estructura en alta mar comprende al menos una instalación en alta mar, soportada por la cimentación.

Otro aspecto es un procedimiento para la producción o para producir una cimentación descrita anteriormente, que comprende:

- proporcionar en tierra un encofrado, en el que el espacio anular en el encofrado permanece, en particular, igual desde un primer extremo superior del encofrado hasta un segundo extremo inferior del encofrado,
- verter el encofrado con hormigón líquido, y
- endurecer el hormigón de tal manera, que el hormigón endurecido forme una estructura de cimentación en forma de torre,
- fijar un elemento de unión formado de un material metálico en la cara del extremo inferior de la estructura de cimentación endurecida en forma de torre.

En otras variantes, la fijación puede comprender insertar una sección extrema unida de un elemento de unión formado de un material metálico en el espacio anular en el extremo inferior del encofrado.

Preferentemente, según una forma de realización preferente del procedimiento según la solicitud, el procedimiento puede comprender, además:

- enviar en barco la estructura de cimentación formada en forma de torre, a un lugar de instalación en alta mar,
- en el que la estructura de cimentación en forma de torre se cimenta en el lugar de instalación mediante embestida o vibración en el fondo submarino (en particular en el fondo marino).

Otro aspecto adicional de la solicitud es el uso de un elemento de unión formado de un material metálico con una longitud de al menos 0,5 m en una cara del extremo inferior de una estructura de cimentación, en forma de torre de una cimentación de una estructura en alta mar, formada a partir de un material de construcción mineral, por lo que el elemento de unión comprende una pared de unión circunferencial, que se extiende longitudinalmente, y la forma de la sección transversal del elemento de unión corresponde a la forma de la sección transversal de la pared de cimentación, en particular de una cimentación descrita anteriormente (por ejemplo, según la reivindicación 1).

Actualmente existe una variedad de opciones para diseñar y seguir desarrollando los cimientos de acuerdo con la solicitud, la estructura en alta mar de acuerdo con la solicitud, el uso de acuerdo con la solicitud y los procedimientos de acuerdo con la solicitud. A este respecto se hace referencia, por un lado, a las reivindicaciones subordinadas a las reivindicaciones independientes y, por otro lado, a la descripción de ejemplos de realización en combinación con el dibujo. Se muestra en el dibujo:

La Figura 1, una vista esquemática de un ejemplo de realización de una estructura en alta mar, según la presente solicitud, con un ejemplo de realización de una cimentación según la presente solicitud,  
 la Figura 2, una vista en sección esquemática de otro ejemplo de realización de una cimentación, según la presente solicitud,  
 la Figura 3, una vista en sección esquemática de otro ejemplo de realización de una cimentación, según la presente solicitud,  
 la Figura 4, una vista en sección esquemática de otro ejemplo de realización de una cimentación, según la presente solicitud,  
 la Figura 5, una vista en sección esquemática de otro ejemplo de realización de una cimentación según la presente solicitud, y  
 la Figura 6, un diagrama de un ejemplo de realización de un procedimiento, según la presente solicitud.

Los mismos números de referencia se utilizan a continuación para los mismos elementos. En este caso, Z es el eje vertical y, x e y son los ejes horizontales. Además, en la presente solicitud, los términos "inferior", "inferiores", etc. y "superior", "superiores", etc. se refieren en particular al eje vertical z, y en particular al estado instalado de la cimentación.

La Figura 1 muestra una vista esquemática de un ejemplo de realización de una estructura en alta mar 102, según la presente solicitud, con un ejemplo de realización de una cimentación 100 según la presente solicitud.

5 A modo de ejemplo se representa aquí una estructura de energía eólica en alta mar 102 en forma de una instalación de energía eólica en alta mar 102 (turbina eólica), como estructura en alta mar 102. En el presente caso, la estructura en alta mar 102 y, por lo tanto, la cimentación 100 se representan en un estado instalado. Las siguientes declaraciones se pueden transferir fácilmente a otras estructuras en alta mar.

10 La estructura en alta mar 102 comprende al menos una cimentación 100 y al menos una instalación en alta mar 116 (en este caso, por ejemplo, una torre, un rotor, un generador, etc.). En el presente caso, la cimentación 100 comprende una estructura de cimentación 104 en forma de torre. La estructura de cimentación 104 en forma de torre comprende una pared de cimentación 105 circunferencial, que se extiende en la dirección longitudinal (es decir, a lo largo del eje longitudinal).

15 La pared de cimentación 105 está delimitada en el lado inferior en el extremo inferior 108 de la estructura de cimentación 104 en forma de torre, con una cara del extremo inferior 106. En el extremo superior 112 de la estructura de cimentación 104 en forma de torre, la pared de cimentación 105, está delimitada por una cara del extremo superior 110.

20 Preferentemente, la estructura de cimentación 104 en forma de torre, está formada como un elemento estructural hueco 104, preferentemente con una superficie de sección transversal circular. En particular, la estructura de cimentación 104 en forma de torre, puede estar formada como un poste hueco 104 con un espacio interior 132.

25 Como ya se describió, la Figura 1 muestra la cimentación 100 en un estado instalado, en el que un extremo de unión 118 de la estructura de cimentación 104 en forma de torre, está cimentado en el fondo submarino 130 o en el subsuelo submarino 130 (el número de referencia 128 indica la superficie del fondo submarino), es decir que está integrado en el fondo submarino 130 con una profundidad 122 o una longitud de inserción 122 (por ejemplo, entre 7 m y 20 m). La estructura de cimentación 104 en forma de torre, sobresale por encima de la superficie del agua 133. La estructura de cimentación 104 en forma de torre se puede unir con una pieza de transición (transition piece), por ejemplo, mediante una conexión de lechada (conexión grout), que es conocida convencionalmente.

30 La pared de cimentación 105 está hecha preferentemente de hormigón (como se describió anteriormente), en particular de hormigón fundido.

35 Como se puede ver en la Figura 1, el grosor de pared 107 o espesor de pared 107 permanece constante o sin cambios en la dirección longitudinal (z) a lo largo de toda la longitud de la estructura de cimentación 104 en forma de torre. El diámetro interior 126 de la estructura de cimentación 104 en forma de torre, permanece constante a lo largo de toda la longitud de la estructura de cimentación 104 en forma de torre. Además, el diámetro exterior 124 de la estructura de cimentación 104 en forma de torre, es constante a lo largo de toda la longitud de la estructura de cimentación 104 en forma de torre.

40 Con otras variantes de la solicitud, el espesor de pared de la estructura de cimentación puede cambiar. Por ejemplo, el espesor de la pared puede disminuir desde la cara del extremo superior 110 hasta la cara del extremo inferior, por ejemplo, aumentando el diámetro interior y permaneciendo constante el diámetro exterior, o reduciéndose el diámetro exterior y permaneciendo constante el diámetro interior.

45 Según la solicitud, en la cara del extremo inferior 106, está dispuesto al menos un elemento de unión 114, formado de un componente o material metálico (preferentemente acero) con una longitud 120 (medida desde la cara del extremo inferior 106, hasta el extremo inferior 134) de al menos 0,5 m. Por extremo inferior 134 se entiende en particular el punto de la cimentación 100, en particular del elemento de unión 114, que en el estado instalado de la estructura de cimentación está integrado más profundamente (en dirección vertical z) en el fondo submarino.

50 El elemento de unión 114 de metal, en particular de acero, apoya el proceso de instalación y en particular el desplazamiento del material del suelo durante el proceso de instalación.

55 En particular, debido al diseño metálico, el espesor de pared 152 de una pared de unión 138 del elemento de unión 114 puede ser menor (por ejemplo, menos del 90 %, preferentemente menos del 70 %, de manera particularmente preferente menos del 50 % (y más del 10 %) del espesor de pared 107 de la pared de cimentación 105) que el espesor de pared 107 de la pared de cimentación 105.

60 Las Figs. 2 a 5 muestran vistas esquemáticas (en sección) de diversas formas de realización de las cimentaciones 200 a 500 según la presente solicitud, en particular con otras formas de elementos de unión 214 a 514. Para evitar repeticiones, a continuación, se describen esencialmente sólo las diferencias con el ejemplo de realización anterior y, por lo demás, consulte los comentarios en la Figura 1.

65

5 Una pared de unión circunferencial 238 de un elemento de unión metálico 214 se puede dividir preferentemente en una sección extrema (unida) 244, una sección extrema libre 240 y una sección de conexión 242, que conecta la sección extrema unida 244 y la sección extrema libre 240. La pared de unión 238 está formada preferentemente en una sola pieza.

10 Como se puede ver en la Figura 2, la sección extrema unida 244 está integrada, en particular firmemente anclada, en una zona de unión 248 en el extremo inferior 208 de la pared de cimentación 205 en el material mineral, en particular en el hormigón. Preferentemente, se puede utilizar un orificio frontal y un anclaje de clavija, para anclar la sección extrema unida en la pared de cimentación.

15 Preferentemente, como material de construcción mineral se puede utilizar un material de construcción mineral con una resistencia a la compresión de más de 150 N/mm<sup>2</sup> en la zona de unión 248 de la estructura de cimentación 204 en forma de torre, en la que la sección extrema unida 244 está integrada en la estructura de cimentación 204 en forma de torre, y un valor a/c de al menos, menos de 0,25.

20 En otras palabras, en la zona 248 en la que se extiende la sección extrema unida 244 en la pared de cimentación 204, se puede utilizar en particular un hormigón de ultra alta resistencia (UHPC; también denominado hormigón de ultra alto rendimiento) como material de construcción mineral, mientras que en la sección restante 249 se puede utilizar un material de construcción mineral con menor resistencia. Como resultado, se puede proporcionar suficiente resistencia, particularmente en la zona de unión 248 o zona de conexión entre la pared de cimentación 208 y el elemento de unión 214.

25 La sección de conexión 242 contigua a la sección extrema unida 244 presenta en particular un espesor de pared 252 constante en la dirección longitudinal (z). El espesor de pared 252 es al menos, menor que el espesor de pared 207 de la pared de cimentación 205. La longitud de la sección de conexión 242 en la dirección longitudinal (z) desde la cara del extremo inferior 206 hasta el comienzo de la sección extrema libre 240, puede ser entre 0,2 m y 5,8 m.

30 En el ejemplo de realización preferente representado, un diámetro interior 256 de la sección de conexión 242 corresponde esencialmente a un diámetro interior 226 de la estructura de cimentación 204 en forma de torre (en la zona de la cara del extremo inferior 210). Esto significa en particular que, como se representa en la Figura 2, los respectivos lados interiores de las paredes 205, 238 se encuentran esencialmente en una línea. El diámetro exterior 260 de la sección de conexión 242 es menor que el diámetro exterior 224, de la pared de cimentación 205.

35 La sección extrema libre 240 presenta un espesor de pared 254 que cambia con respecto a la fuerza del viento 252, en el presente ejemplo de realización preferente un espesor de pared 254 que se reduce constantemente. Como se puede ver en la Figura 2, la sección extrema libre 240 presenta una superficie en sección transversal triangular en la vista en sección x-z. En otras palabras, la sección extrema libre 240 puede formar en particular un extremo inferior puntiagudo 234 del elemento de unión 214.

40 Un diámetro interior 258 de la sección extrema libre 240 permanece esencialmente igual o constante desde la sección de conexión 242 hasta el extremo inferior 234 de la sección extrema libre 240 en el ejemplo de realización preferente representado. Un diámetro exterior 262 de la sección extrema libre 240 (entre el extremo de la sección de conexión 242 y el extremo inferior 234 de la sección extrema libre 240) se estrecha en particular de manera continua.

45 Las pruebas han demostrado que esta forma de realización favorece particularmente bien el desplazamiento del material del suelo y, por lo tanto, facilita particularmente el proceso de instalación. En particular, se reduce el riesgo de injerto, particularmente con un diámetro pequeño de la estructura de cimentación, en forma de torre.

50 El ejemplo de realización según la Figura 3 se diferencia del ejemplo de realización según la Figura 2 en particular, en que un diámetro exterior 360 de la sección de conexión 342 corresponde esencialmente a un diámetro exterior 324 de la estructura de cimentación 305 en forma de torre (en la zona de la cara del extremo inferior 310).

55 Esto significa en particular que, como se representa en la Figura 3, los respectivos lados exteriores de las paredes 305, 338 se encuentran esencialmente en una línea. El diámetro interior 356 de la sección de conexión 342 es menor que el diámetro exterior 326 de la pared de cimentación 305.

60 El ejemplo de realización según la Figura 4 se diferencia del ejemplo de realización según la Figura 3 en particular, en que un diámetro exterior 462 de la sección extrema libre 440, permanece esencialmente igual o constante desde la sección de conexión 442 hasta el extremo inferior 434 de la sección extrema libre 440, en el ejemplo de realización representado. Un diámetro interior 458 de la sección extrema libre 440 (entre el extremo de la sección de conexión 442 y el extremo inferior 434 de la sección extrema libre 440) se estrecha en particular de manera continua.

65 La Figura 5 se diferencia de los ejemplos de realización según las Figs. 2 a 4 en particular, en que un espesor de pared 570 (al menos inmediatamente contigua a la sección de conexión 542) de la sección extrema libre 540 es mayor

que el espesor de pared 552 de la sección de conexión 542. Preferentemente, el espesor de pared 570 de la sección extrema libre 540 puede corresponder esencialmente al espesor de pared 507 de la pared de cimentación 505.

5 En particular, la sección extrema libre 540 se puede dividir en dos subsecciones 540.1, 540.2. Una primera subsección 540.1 es contigua (directamente) a la sección de conexión 542 y en particular presenta un espesor de pared 570 igual o constante, que es en particular mayor que el espesor de pared 552 de la sección de conexión 542.

10 La segunda subsección 540.2 es contigua (directamente) a la primera subsección 540.1 y en particular presenta un espesor de pared 572 que se reduce (continuamente). En particular, la segunda subsección 540.2 presenta el extremo inferior 534. En la vista en sección x-z, en particular la segunda subsección 540.2 presenta una superficie en sección transversal triangular.

15 Como se puede ver además en la Figura 5, el diámetro interior 526 de la pared de cimentación 505 corresponde preferentemente al diámetro interior de la sección de conexión 542 y en particular al diámetro interior 558 de la sección extrema libre 540.

20 Además, se puede ver que el diámetro exterior 560 de la sección de conexión 542 (permaneciendo el mismo espesor de pared de la sección de conexión 542) es preferentemente menor que el diámetro exterior 524 de la pared de cimentación 505.

25 El diámetro exterior 562.1 de la primera subsección 540.1 es al menos mayor que el diámetro exterior 560 de la sección de conexión 542 y preferentemente puede corresponder esencialmente al diámetro exterior 524 de la pared de cimentación 505. El diámetro exterior 562.2 de la segunda subsección 540.2 se reduce preferentemente de manera continua.

Las pruebas han demostrado que la configuración especial del elemento de unión 514 según el ejemplo de realización según la Figura 5, puede reducir considerablemente la fricción superficial en la zona de la pared de cimentación 505 y, de este modo, en particular, se puede facilitar significativamente el proceso de instalación.

30 La Figura 6 muestra un diagrama de un ejemplo de realización de un procedimiento según la presente solicitud, para la producción de una cimentación, en particular una cimentación según uno de los ejemplos de realización según las Figs. 1 a 5.

35 En un paso 601, se proporciona en tierra un encofrado, permaneciendo igual o constante un espacio anular en el encofrado desde un primer extremo del encofrado hasta un segundo extremo del encofrado. El espacio anular tiene una circunferencia radial y se extiende en dirección axial o en dirección longitudinal por todo el encofrado.

En un paso 602, el encofrado se vierte con un hormigón líquido.

40 A continuación, el hormigón líquido se endurece en el paso 603, de tal manera, que el hormigón endurecido forme una estructura de cimentación en forma de torre.

45 Por ejemplo, las estructuras de cimentación en forma de torre se moldean en hormigón mediante procedimientos de encofrado deslizando y trepador (jump), y se secan en posición vertical.

50 En el paso 604, se fija un elemento de unión, formado de un material metálico, a la cara del extremo inferior de la estructura de cimentación endurecida en forma de torre. En una variante de la solicitud, en el espacio anular se puede insertar en el extremo inferior, una sección extrema unida de un elemento de unión formado de un material metálico, que puede comprender en particular la cara del extremo inferior.

Opcionalmente, en el paso 605, la estructura de cimentación formada en forma de torre se puede enviar por barco a un lugar de instalación en alta mar. En particular, una estructura de cimentación formada en forma de torre, después del endurecimiento se puede girar una vez 180° y cargar en un barco 26.

55 En el paso 606, la estructura de cimentación en forma de torre se puede opcionalmente embestir o hacer vibrar en el fondo marino en el lugar de instalación. En particular, las estructuras de cimentación en forma de torre se pueden transportar en posición vertical en un barco hasta un lugar de instalación, y allí se cimentan con una herramienta adecuada de cimentación. Las estructuras de cimentación en forma de torre ya se pueden montar en el barco de tal manera, que la cara del extremo inferior quede hacia abajo y la cara del extremo superior hacia arriba, de modo que durante la cimentación la cara del extremo inferior quede colocada sobre el fondo submarino, y la estructura de  
60 cimentación en forma de torre se embiste o se hace vibrar en el fondo submarino utilizando la herramienta de cimentación.

**REIVINDICACIONES**

1. Una cimentación (100, 200, 300, 400, 500) para una estructura en alta mar (102), en particular una estructura de energía eólica en alta mar (102), que comprende:

- 5
- al menos una estructura de cimentación en forma de torre (104, 204, 304, 404, 504) con una pared de cimentación circunferencial (105, 205, 305, 405, 505), que se extiende en la dirección longitudinal, estando la pared de cimentación (105, 205, 305, 405, 505) delimitada en su lado inferior con una cara del extremo inferior (106, 206, 306, 406, 506),
  - 10 - por lo que la pared de cimentación (105, 205, 305, 405, 505) está formada de un material de construcción mineral, por lo que la cimentación (100, 200, 300, 400, 500) comprende:
    - al menos un elemento de unión (114, 214, 314, 414, 514) formado de un material metálico y dispuesto en la cara del extremo inferior (106, 206, 306, 406, 506),
  - 15 **caracterizada por que**
    - la longitud del elemento de unión (114, 214, 314, 414, 514) desde la cara del extremo inferior (106, 206, 306, 406, 506) hasta un extremo inferior (134, 234, 334, 434, 534) del elemento de unión (114, 214, 314, 414, 514) es de al menos 0,5 m,
    - por lo que el elemento de unión (114, 214, 314, 414, 514) comprende una pared de unión (138, 238, 338, 438, 538) circunferencial, que se extiende longitudinalmente, y la forma de la sección transversal del elemento de
    - 20 unión (114, 214, 314, 414, 514) corresponde a la forma de la sección transversal de la pared de cimentación.

2. La cimentación (100, 200, 300, 400, 500) según la reivindicación 1, **caracterizada por que**

- 25
- la longitud del elemento de unión (114, 214, 314, 414, 514) desde la cara del extremo inferior (106, 206, 306, 406, 506) hasta un extremo inferior (134, 234, 334, 434, 534) del elemento de unión (114, 214, 314, 414, 514) está comprendida entre 1 m y 9 m.

3. La cimentación (100, 200, 300, 400, 500) según la reivindicación 1 o 2, **caracterizada por que**

- 30
- la pared de cimentación (105, 205, 305, 405, 505) está delimitada en la parte superior por una cara del extremo superior (110), y
  - un espesor de pared de la pared de cimentación (105, 205, 305, 405, 505) es esencialmente constante desde la cara del extremo superior (110) hasta la cara del extremo inferior (106, 206, 306, 406, 506).

4. La cimentación (100, 200, 300, 400, 500) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que**

- 35
- un espesor de pared de la pared de cimentación (105, 205, 305, 405, 505) es al menos mayor que un espesor de pared de la pared de unión (138, 238, 338, 438, 538).

5. La cimentación (100, 200, 300, 400, 500) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que**

- 40
- el espesor de pared de la pared de cimentación (105, 205, 305, 405, 505) está comprendido entre 150 mm y 400 mm, y
  - el espesor de pared de la pared de unión (138, 238, 338, 438, 538) está comprendido entre 10 mm y 100 mm, preferentemente entre 30 mm y 80 mm.
- 45

6. La cimentación (100, 200, 300, 400, 500) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que**

- 50
- la pared de unión (138, 238, 338, 438, 538) comprende una sección extrema libre (240, 340, 440, 540), una sección extrema unida (244, 344, 444, 544) y una sección de conexión (242, 342, 442, 542), que conecta la sección extrema libre (240, 340, 440, 540) con la sección extrema unida (244, 344, 444, 544),
  - por lo que la sección extrema unida (244, 344, 444, 544) está integrada en la pared de cimentación (105, 205, 305, 405, 505).

7. La cimentación (100, 200, 300, 400, 500) según la reivindicación 6, **caracterizada por que**

- 55
- un espesor de pared de la sección de conexión (242, 342, 442, 542) es constante desde la sección extrema unida (244, 344, 444, 544) hasta la sección extrema libre (240, 340, 440, 540).

8. La cimentación (100, 200, 300, 400, 500) según la reivindicación 6 ó 7, **caracterizada por que**

- 60
- un espesor de pared de la sección extrema libre (240, 340, 440, 540) es diferente de un espesor de pared de la sección de conexión (242, 342, 442, 542), por lo que
  - el espesor de pared de la sección extrema libre (240, 340, 440, 540) en particular se estrecha desde la sección de conexión (242, 342, 442, 542) hasta el extremo inferior (134, 234, 334, 434, 534) de la sección extrema libre (240, 340, 440, 540), o
- 65

- un espesor de pared de la sección extrema libre (240, 340, 440, 540) es en particular mayor que el espesor de pared de la sección de conexión (242, 342, 442, 542).

5 9. La cimentación (100, 200, 300, 400, 500) según una de las reivindicaciones 6 a 8, **caracterizada por que**

- un diámetro interior de la sección de conexión (242, 342, 442, 542) corresponde esencialmente a un diámetro interior de la estructura de cimentación en forma de torre (104, 204, 304, 404, 504),

o

10 - un diámetro exterior de la sección de conexión (242, 342, 442, 542) corresponde esencialmente a un diámetro exterior de la estructura de cimentación en forma de torre (104, 204, 304, 404, 504).

10. La cimentación (100, 200, 300, 400, 500) según una de las reivindicaciones anteriores 6 a 9, **caracterizada por que**

15 - un diámetro interior de la sección extrema libre (240, 340, 440, 540) es esencialmente constante desde la sección de conexión (242, 342, 442, 542) hasta el extremo inferior (134, 234, 334, 434, 534) de la sección extrema libre (240, 340, 440, 540), y

20 - un diámetro exterior de la sección extrema libre (240, 340, 440, 540) se estrecha desde la sección de conexión (242, 342, 442, 542) hasta el extremo inferior (134, 234, 334, 434, 534) de la sección extrema libre (240, 340, 440, 540),

o

25 - un diámetro exterior de la sección extrema libre (240, 340, 440, 540) es esencialmente constante desde la sección de conexión (242, 342, 442, 542) hasta el extremo inferior (134, 234, 334, 434, 534) de la sección extrema libre (240, 340, 440, 540), y

- un diámetro interior de la sección extrema libre (240, 340, 440, 540) se estrecha desde la sección de conexión (242, 342, 442, 542) hasta el extremo inferior (134, 234, 334, 434, 534) de la sección extrema libre (240, 340, 440, 540).

30 11. La cimentación (100, 200, 300, 400, 500) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que**

35 - un material de construcción mineral que tenga una resistencia a la compresión de más de 150 N/mm<sup>2</sup> y se utiliza con un valor  $a/c < 0,25$  como material de construcción mineral, en una zona de unión (248) de la estructura de cimentación en forma de torre (104, 204, 304, 404, 504), en la que un extremo del elemento de unión (114, 214, 314, 414, 514) está integrado en la estructura de cimentación en forma de torre (104, 204, 304, 404, 504).

12. Una estructura en alta mar (102), en particular una estructura de energía eólica en alta mar (102), que comprende

40 - al menos una cimentación (100, 200, 300, 400, 500) según una de las reivindicaciones anteriores, y

- al menos una instalación en alta mar (116) soportada por la cimentación (100, 200, 300, 400, 500).

13. Un procedimiento para la producción de una cimentación (100, 200, 300, 400, 500) según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende:

45 - proporcionar en tierra un encofrado, en el que el espacio anular en el encofrado permanece, en particular, igual desde un primer extremo superior hasta un segundo extremo inferior,

- verter el encofrado con hormigón líquido, y

- endurecer el hormigón de tal manera, que el hormigón endurecido forme una estructura de cimentación en forma de torre (104, 204, 304, 404, 504),

50 - fijar un elemento de unión (114, 214, 314, 414, 514), formado de un material metálico, a la cara del extremo inferior (106, 206, 306, 406, 506) de la estructura de cimentación endurecida en forma de torre (104, 204, 304, 404, 504).

55 14. Un uso de un elemento de unión (114, 214, 314, 414, 514) formado de un material metálico con una longitud de al menos 0,5 m en la cara del extremo inferior (106, 206, 306, 406, 506) de una estructura de cimentación en forma de torre (104, 204, 304, 404, 504) formada de un material de construcción mineral de una cimentación (100, 200, 300, 400, 500) de una estructura en alta mar (102), por lo que el elemento de unión (114, 214, 314, 414, 514) comprende una pared de unión circunferencial, que se extiende longitudinalmente (138, 238, 338, 438, 538), y la forma de la sección transversal del elemento de unión (114, 214, 314, 414, 514), corresponde a la forma de la sección transversal de la pared de cimentación.

60

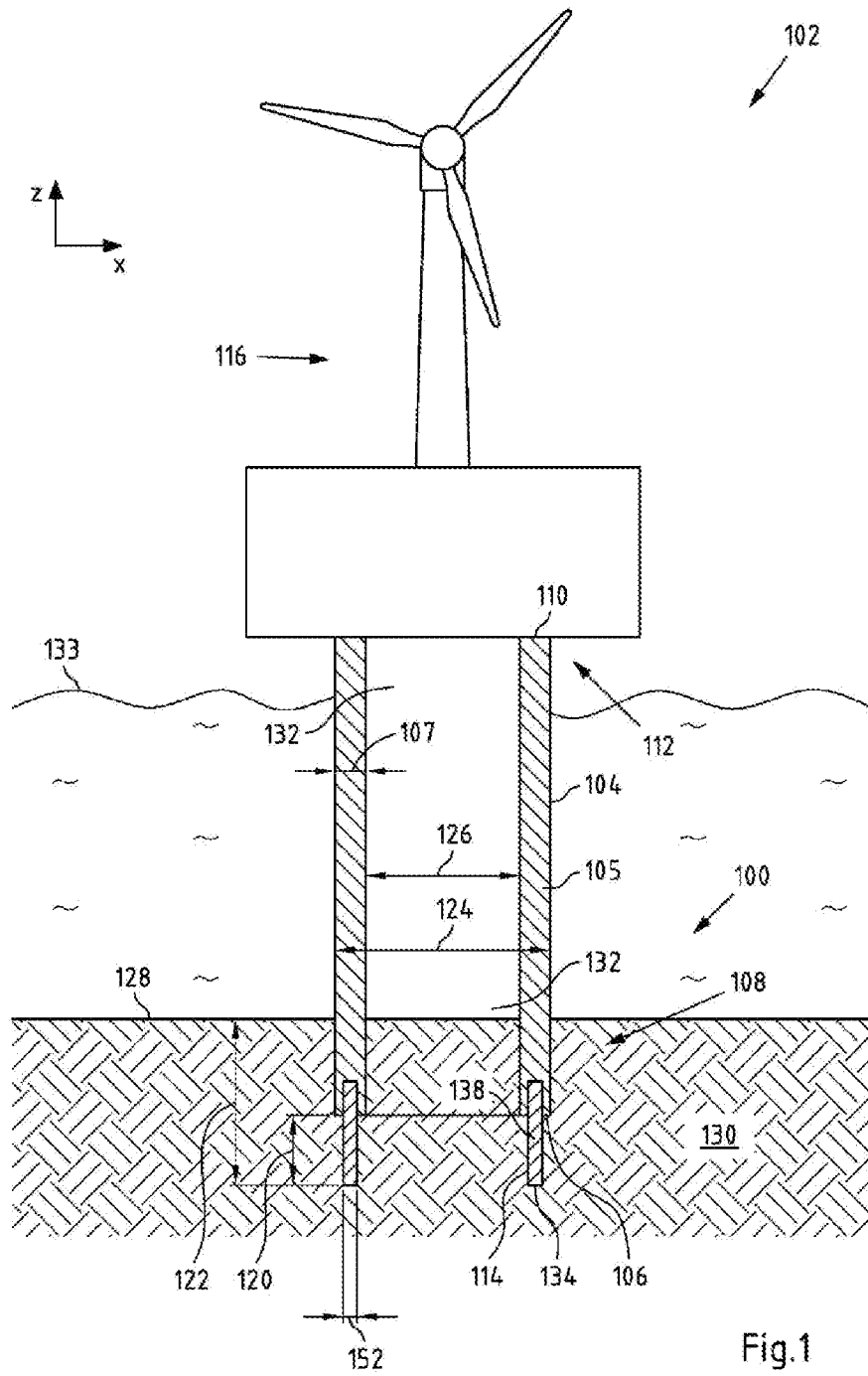
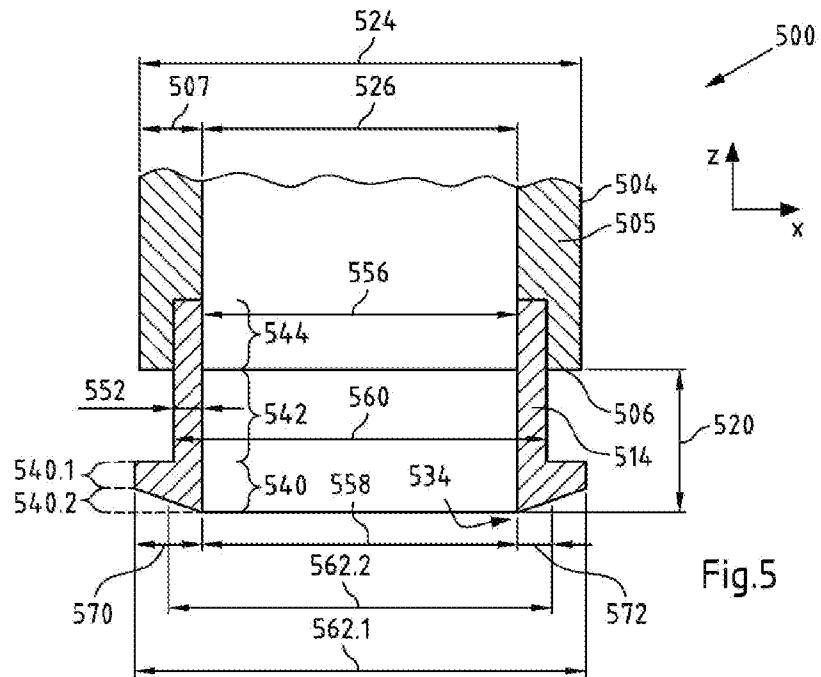
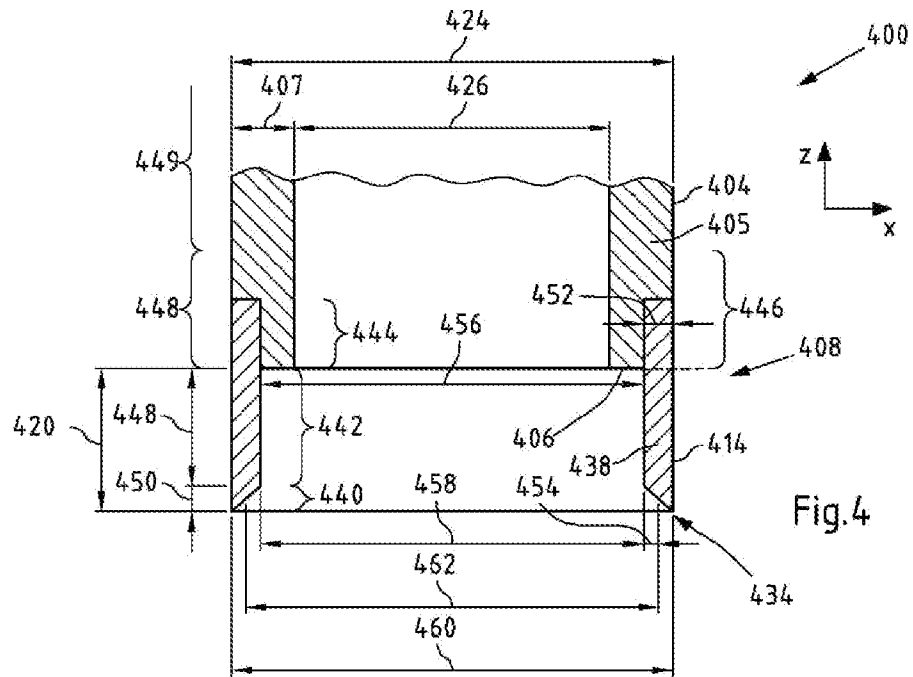


Fig.1





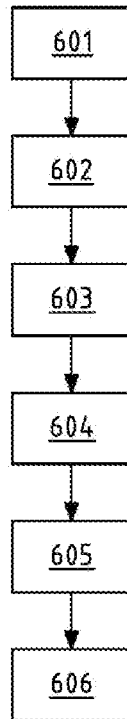


Fig.6