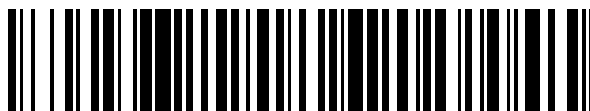


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 728 322**

51 Int. Cl.:

F03D 13/20 (2006.01)
F03D 9/00 (2006.01)
B63B 22/20 (2006.01)
B63B 5/18 (2006.01)
B63B 9/06 (2006.01)
B63B 5/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.09.2014** **PCT/US2014/057236**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.04.2015** **WO15048147**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.09.2014** **E 14847463 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2019** **EP 3049668**

54 Título: **Sistema de soporte de turbina eólica flotante**

30 Prioridad:

24.09.2013 US 201361881806 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
23.10.2019

73 Titular/es:

**UNIVERSITY OF MAINE SYSTEM BOARD OF
TRUSTEES (100.0%)
15 Estabrooke Drive
Orono, ME 04469, US**

72 Inventor/es:

**DAGHER, HABIB J. y
VISELLI, ANTHONY M.**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 728 322 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de soporte de turbina eólica flotante

Antecedentes

5 Esta invención se relaciona en general con una plataforma de turbina eólica semisumergible capaz de flotar en un cuerpo de agua y soportar una turbina eólica, comprendiendo la plataforma de turbina eólica semisumergible: una piedra angular; al menos tres vigas inferiores que se extienden radialmente hacia afuera de la piedra angular, teniendo cada viga inferior una pared superior, una pared inferior y paredes laterales opuestas, definiendo las paredes una cámara hueca dentro de cada viga inferior, definiendo cada viga inferior un miembro flotante; una columna central que se extiende perpendicularmente a partir de una superficie superior de la piedra angular, un primer extremo axial de la columna central unido a la piedra angular, la columna central configurada para tener una torre unida a un segundo extremo axial de la misma; columnas exteriores, una de las cuales se extiende perpendicularmente a partir de una superficie superior de cada viga inferior, primeros extremos axiales de las columnas exteriores unidos a un extremo distal de cada viga inferior; y vigas superiores, una de las cuales se extiende entre un segundo extremo axial de cada columna exterior y un segundo extremo axial de la columna central. En particular, esta invención se relaciona con un sistema mejorado de soporte de turbina eólica flotante y con un método para ensamblar dicho sistema de soporte de turbina eólica flotante.

20 Las turbinas eólicas para convertir la energía eólica en energía eléctrica son conocidas y proporcionan una fuente de energía alternativa para las compañías de energía. En tierra, grandes grupos de turbinas eólicas, a menudo numerados en los cientos de turbinas eólicas, pueden colocarse en ensamblaje en un área geográfica. Estos grandes grupos de turbinas eólicas pueden generar niveles de ruido indeseablemente altos y pueden considerarse estéticamente desagradables. Es posible que no se disponga de un flujo de aire óptimo para estas turbinas eólicas terrestres debido a obstáculos tales como colinas, bosques y edificios.

25 Los grupos de turbinas eólicas también pueden ubicarse en alta mar, pero cerca de la costa en lugares donde las profundidades del agua permiten que las turbinas eólicas se unan de manera fija a una base en el lecho marino. En el océano, es probable que el flujo de aire hacia las turbinas eólicas no se vea afectado por la presencia de diversos obstáculos (es decir, como colinas, bosques y edificios) que resultan en velocidades de viento medias más altas y más potencia. La base requerida para instalar turbinas eólicas en el lecho marino en estos lugares cercanos a la costa es relativamente cara y solo se pueden lograr a profundidades relativamente poco profundas, tal como una profundidad de hasta unos 25 metros.

30 El U.S. National Renewable Energy Laboratory ha determinado que los vientos que se alejan de la línea costera de los Estados Unidos sobre aguas que tienen profundidades de 30 metros o más tienen una capacidad de energía de aproximadamente 3,200 TWh/año. Esto equivale a aproximadamente el 90 por ciento del uso total de energía en los Estados Unidos de aproximadamente 3,500TWh/año. La mayor parte del recurso eólico marino reside entre 37 y 93 kilómetros mar adentro, donde el agua tiene más de 60 metros de profundidad. Las bases fijas para turbinas eólicas en aguas tan profundas no son factibles económicamente. Esta limitación ha llevado al desarrollo de plataformas flotantes para turbinas eólicas.

40 Las plataformas de turbinas eólicas flotantes conocidas se forman a partir de acero y se basan en tecnología desarrollada por la industria de petróleo y gas en alta mar. Otros ejemplos de plataforma de turbina eólica flotante se describen en la Solicitud PCT No. PCT/US2011/059335, presentada el 4 de noviembre de 2011 (publicada como Publicación PCT No. WO2012061710 A2 el 10 de mayo de 2012), y en la Solicitud de Patente de Estados Unidos No. 13/863,074, presentada el 15 de abril de 2013 (publicada como Publicación de Solicitud de Patente de Estados Unidos No. 2013/0233231 A1 el 12 de septiembre de 2013). Sin embargo, sigue existiendo la necesidad de proporcionar un sistema de soporte de turbina eólica flotante mejorado.

Resumen

45 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona una plataforma de turbina eólica semisumergible como se expone en la reivindicación 1 a continuación.

De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un método para ensamblar una plataforma de turbina eólica semisumergible como se expone en la reivindicación 15 a continuación.

50 Diversas ventajas de la invención se harán evidentes para los expertos en la técnica a partir de la siguiente descripción detallada, cuando se lean a la vista de los dibujos que se acompañan.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una vista en alzado de una plataforma de turbina eólica flotante mejorada de acuerdo con esta invención.

La figura 1A es una vista en alzado ampliada de una parte de una realización alternativa de la plataforma de turbina eólica flotante que se ilustra en la Figura 1, que muestra una turbina eólica de eje vertical.

La Figura 2 es una vista en perspectiva de la plataforma de turbina eólica flotante mejorada que se ilustra en la Figura 1.

5 La Figura 3 es una vista en perspectiva en despiece de la plataforma de turbina eólica flotante mejorada que se ilustra en las Figuras 1 y 2.

La Figura 4 es una vista en alzado que muestra las dimensiones de una realización de la plataforma de turbina eólica flotante mejorada que se ilustra en las Figuras 1 a 3.

10 La Figura 5 es una vista en planta a partir de arriba que muestra las dimensiones de la realización de la plataforma de turbina eólica flotante mejorada que se ilustra en la Figura 4.

La Figura 6 es una vista en perspectiva ampliada de la piedra angular que se ilustra en la Figura 2.

Descripción detallada

La presente invención se describirá ahora con referencia ocasional a las disposiciones que se ilustran.

15 Las disposiciones de la invención divulgadas a continuación en general proporcionan mejoras a diversos tipos de plataformas de turbinas eólicas flotantes, tales como plataformas de tipo de boya de mástil, plataformas de tipo patas de tensión y plataformas de tipo semisumergible. Las disposiciones incluyen un sistema o plataforma de soporte de turbina eólica flotante mejorado, métodos mejorados de construcción de los componentes del sistema de soporte de turbina eólica flotante mejorado con materiales seleccionados para reducir el peso total, el coste y el rendimiento del sistema de soporte de turbina eólica flotante, y un método de montaje del sistema de soporte de turbina eólica flotante mejorado.

Como se usa en el presente documento, el término paralelo se define como en un plano sustancialmente paralelo al horizonte. El término vertical se define como sustancialmente perpendicular al plano del horizonte

25 Con referencia a los dibujos, en particular a la Figura 1, se muestra una realización de un sistema o plataforma de soporte de turbina eólica compuesta flotante anclada al lecho S marino. La plataforma 10 de turbina eólica flotante que se ilustra incluye una base 12 que soporta una torre 14, que se describe a continuación en detalle. La torre 14 soporta un turbina 16 eólica. La base es semisumergible y está estructurada y configurada para flotar, semisumergida, en una masa de agua. En consecuencia, una parte de la base 12 estará sobre el agua cuando la base 12 esté flotando en el agua. Como se muestra, una parte de la base 12 está debajo de la línea de flotación WC. Como se usa en este documento, la línea de flotación se define como la línea aproximada donde la superficie del agua se encuentra con la

30 la plataforma 10 de turbina eólica flotante. Las líneas 18 de amarre se pueden unir a la plataforma 10 de turbina eólica flotante y además se unirán a los anclajes, tal como los anclajes 20 en el lecho S marino para limitar el movimiento de la plataforma 10 de turbina eólica flotante en la masa de agua.

35 Como se describirá con mayor detalle a continuación, y se muestra mejor en la Figura 2, la base 12 que se ilustra está formada por tres vigas 22 inferiores que se extienden radialmente hacia afuera a partir de una piedra 24 angular y proporcionan flotabilidad. Una columna 26 interior o central está montada en la piedra 24 angular, y tres columnas 28 exteriores están montadas en o cerca de los extremos distales de las vigas 22 inferiores. La columna 26 central y las columnas 28 exteriores se extienden hacia arriba y perpendicularmente a las vigas 22 inferiores y también proporcionan flotabilidad. Además, la columna 26 central soporta la torre 14. El soporte radial o las vigas 30 superiores están conectadas a la columna 26 central y cada una de las columnas 28 exteriores. La torre 14 está montada en la

40 columna 26 central. Si lo desea, las pasarelas 32 pueden estar unidas a cada viga 30 superior. Cada pasarela 32 puede estar conectada por una pasarela 32a de conexión montada alrededor de toda o parte de la base de la torre 14. En la Figura 2, una porción de la pasarela 32 en una viga 30 superior ha sido eliminada por claridad.

45 En las realizaciones que se ilustran en este documento, la turbina 16 eólica es una turbina eólica de eje horizontal. Alternativamente, la turbina eólica puede ser una turbina eólica de eje vertical, tal como se muestra en 16' en la Figura 1A. El tamaño de la turbina 16 variará de acuerdo con las condiciones del viento en el lugar donde la plataforma 10 de turbina eólica flotante está anclada y la potencia de salida deseada. Por ejemplo, la turbina 16 puede tener una potencia de aproximadamente 5 MW. Alternativamente, la turbina 16 puede tener una salida dentro del rango de aproximadamente 1 MW a aproximadamente 10 MW.

50 La turbina 16 eólica incluye un repartidor 34 giratorio. Al menos una pala 36 de rotor está acoplada y se extiende hacia afuera a partir del repartidor 34. El repartidor 34 está acoplado de manera giratoria a un generador eléctrico (no se muestra). El generador eléctrico se puede acoplar a través de un transformador (no se muestra) y un cable 37 de alimentación bajo el agua a una red eléctrica (no se muestra). En la realización que se ilustra, el rotor tiene tres palas 36 de rotor. En otras realizaciones, el rotor puede tener más o menos de tres palas 36 de rotor. Una góndola 38 está unida a la turbina 16 eólica opuesta al repartidor 34.

Como se muestra en las Figuras 3 y 6, la piedra 24 angular incluye una pared 24a superior que define una superficie 24b superior, una pared 24c inferior, y además define una porción 24d central con tres patas 38 que se extienden radialmente hacia el exterior. Cada pata 38 incluye una pared 38a de extremo que define una cara 38b de conexión sustancialmente vertical a la cual se unirán las vigas 22 inferiores, y paredes 38c laterales opuestas. Una pared 38d de transición sustancialmente vertical se extiende entre las paredes 38c laterales de las patas 38 adyacentes.

En la realización que se ilustra de la piedra 24 angular, tres patas 38 están formadas de tal manera que el ángulo entre las líneas centrales que se extienden axialmente de las patas 38 adyacentes es un ángulo A de aproximadamente 120 grados, como se muestra en la Figura 5. Alternativamente, la piedra 24 angular puede incluir cuatro o más patas para la fijación de cuatro o más vigas 22 inferiores.

La piedra 24 angular incluye una pluralidad de primeros conductos 76a que se extienden a partir de la cara 38b de conexión, a través de las paredes 38c laterales hacia un interior de la piedra 24 angular. Estos conductos 76a están alineados axialmente con los primeros conductos 78a formados transversalmente a través de las paredes 38c laterales en un lado de la piedra 24 angular opuesta a cada pata 38. De manera similar, una pluralidad de segundos conductos 76b se extienden a partir de la cara 38b de conexión, a través de la pared 24a superior y la pared 24c inferior hacia un interior de la piedra 24 angular. Los segundos conductos 76b están alineados axialmente con los segundos conductos 78b formados transversalmente a través de las paredes 38c laterales y la pared 38d de transición en un lado de la piedra 24 angular opuesta a la pata 38.

La piedra 24 angular que se ilustra se forma a partir de hormigón reforzado pretensado, y puede incluir una cavidad central interna. Cada pata 38 también puede incluir una cavidad interna de la pata. Se puede usar cualquier proceso deseado para fabricar la piedra 24 angular, como un proceso de hormigón hilado o formas de hormigón convencionales. Alternativamente, también se pueden usar otros procesos como los utilizados en la industria del hormigón prefabricado. El hormigón de la piedra 24 angular puede reforzarse con cualquier material de refuerzo convencional, tal como cable de acero de alta resistencia y barras de refuerzo de acero de alta resistencia o REBAR. Alternativamente, la piedra 24 angular puede estar formada de FRP, acero o combinaciones de hormigón reforzado pretensado, FRP y acero.

Como se muestra mejor en las Figuras 3 y 6, cada viga 22 inferior incluye una pared 22a superior que define una superficie 22b superior, una pared 22c inferior, paredes 22d laterales opuestas, una primera pared 22e de extremo, la cual se conectará a la cara 38b de conexión vertical de la piedra 24 angular, y una segunda pared 22f de extremo semicilíndrica. Al igual que la piedra 24 angular, las vigas 22 inferiores que se ilustran se forman a partir de hormigón reforzado pretensado como se describe anteriormente. Alternativamente, las vigas 22 inferiores pueden estar formadas de FRP, acero o combinaciones de hormigón reforzado pretensado, FRP y acero.

Como se ilustra esquemáticamente en la Figura 2, una o más primeras cámaras 46 de lastre pueden formarse en cada viga 22 inferior. Además, una o más segundas cámaras 48 de lastre pueden formarse en cada columna 28 exterior.

Con referencia de nuevo a la Figura 3, la columna 26 central incluye una pared 56 lateral cilíndrica que tiene una superficie 56a exterior, un primer extremo 56b axial, una segunda pared 56c de extremo axial, y define un espacio interior hueco. De manera similar, las columnas 28 exteriores incluyen una pared 60 lateral cilíndrica que tiene una superficie 60a exterior, un primer extremo 60b axial, una segunda pared 60c de extremo axial, y definen un espacio interior hueco. Al igual que la piedra 24 angular y las vigas 22 inferiores, la columna 26 central que se ilustra y las columnas 28 exteriores están formadas de hormigón reforzado pretensado como se describe anteriormente. Alternativamente, la columna 26 central y las columnas 28 exteriores pueden estar formadas de FRP, acero, o combinaciones de hormigón reforzado pretensado, FRP y acero.

La plataforma 10 de turbina eólica compuesta flotante que se ilustra incluye tres vigas 22 inferiores y tres columnas 28 exteriores. Sin embargo, se entenderá que la plataforma 10 de turbina eólica compuesta flotante mejorada puede construirse con cuatro o más vigas 22 inferiores y columnas 28 exteriores.

Con referencia de nuevo a la Figura 3, se ilustra un método de post-tensado de la base 12. Los primeros tendones, representados por las flechas 84a, se extienden longitudinalmente a través de la pared 56 lateral de la columna 26 central y a través de la piedra 24 angular. De manera similar, los primeros tendones 84a se extienden longitudinalmente a través de la pared 60 lateral de cada columna 28 exterior y a través de las vigas 22 inferiores. Los primeros tendones 84a también se extienden longitudinalmente a través de una o más de las paredes 22a, 22c y 22d de la viga 22 inferior y a través de la piedra 24 angular. Los extremos libres de los primeros tendones 84a se aseguran a las superficies exteriores de la piedra 24 angular, las vigas 22 inferiores, la columna 26 central y las columnas 28 exteriores con un sujetador adecuado.

Una vez instalados, los primeros tendones 84a se post-tensionan longitudinalmente, en donde los tendones 84a se tensan y se anclan adecuadamente. Los tendones 84a quieren volver a su longitud original, pero los anclajes les impiden hacerlo. Debido a que los primeros tendones 84a se mantienen en una tensión permanente; es decir, de forma alargada, aplican una fuerza de compresión sobre el hormigón de la piedra 24 angular y las vigas 22 inferiores, sobre la piedra angular y la columna central, y sobre las vigas 22 inferiores y las columnas 28 exteriores. La compresión que

resulta de este post-tensado contrarresta las fuerzas de tracción creadas por la carga aplicada o el momento aplicados a la plataforma 10 de turbina eólica flotante por el esfuerzo del viento ejercido sobre la torre 14 y la turbina 16 eólica.

Los segundos tendones, representados por las flechas 84b, pueden extenderse a través de una o más de las paredes 22a, 22c y 22d de cada una de las vigas 22 inferiores en una dirección perpendicular a un eje de la viga 22 inferior. Los extremos libres de los segundos tendones 84b se pueden tensar y asegurar como se describe anteriormente.

En las realizaciones que se ilustran en este documento, los tendones 84a y 84b de post-tensión son cables de acero, tales como cables de acero de alta resistencia a la tracción. Alternativamente, los tendones de post-tensado pueden estar formados por cualquier otro material de alta resistencia a la tracción.

Si se desea, un miembro de sellado, tal como un empaque G que se muestra en la Figura 3, puede disponerse entre la piedra 24 angular y las vigas 22 inferiores para sellar la conexión entre ellas. Los ejemplos no limitantes de material de empaque adecuado incluyen neopreno, calafateado, caucho y otros elastómeros.

Con referencia a la Figura 3, las vigas 30 superiores están configuradas como miembros cargados de forma sustancialmente axial y se extienden de manera sustancialmente horizontal entre los extremos superiores de la columna 26 central y cada columna 28 exterior. En la realización que se ilustra, las vigas 30 superiores están formadas de acero tubular con un diámetro exterior de aproximadamente 4 pies (1.2 m). Alternativamente, las vigas 30 superiores pueden estar formadas de FRP, hormigón reforzado pretensado, o combinaciones de hormigón reforzado pretensado, FRP y acero. Cada viga 30 superior incluye soportes 30a de montaje en cada extremo. Los soportes 30a de montaje están configurados para unirse, como los sujetadores roscados, a los elementos 30b de sujeción, tales como placas de acero, en la columna 26 central y en cada columna 28 exterior.

Las vigas 30 superiores están además diseñadas y configuradas sustancialmente para no resistir el momento de flexión de la base de la torre 14, y no transportan una carga de flexión. En su lugar, las vigas 30 superiores reciben y aplican fuerzas de tracción y compresión entre la columna 26 central y las columnas 28 exteriores.

Las vigas 30 superiores que se ilustran, formadas de acero de aproximadamente 4 pies de diámetro, son más livianas y delgadas que las vigas similares formadas a partir de hormigón reforzado. El uso de vigas 30 superiores relativamente más livianas y delgadas; es decir, los miembros cargados axialmente, en la parte superior de la plataforma 10 de turbina eólica flotante permite la distribución de más peso relativo en la parte inferior de la plataforma 10 de turbina eólica flotante donde más se necesita. La reducción de peso puede ser significativa. Por ejemplo, un miembro de hormigón que pesa alrededor de 800,000 libras puede ser reemplazado por una viga de acero que pesa alrededor de 70,000 libras, lo que también brinda ahorros ventajosos en materiales y costes de construcción.

En la realización que se ilustra, la torre 14 es tubular tiene una pared 14a exterior que define un espacio 14b interior hueco, y puede tener cualquier diámetro exterior y altura adecuados. En la realización que se ilustra, el diámetro exterior de la torre 14 se estrecha a partir de un primer diámetro en su base hasta un segundo diámetro más pequeño en su extremo superior. La torre 14 que se ilustra está formada de material compuesto de polímero reforzado con fibra (FRP). Los ejemplos no limitantes de otros materiales compuestos adecuados incluyen vidrio y FRP de carbono. La torre también puede estar formada de un material laminado compuesto. Alternativamente, la torre 14 puede estar formada de hormigón o acero de la misma manera que los componentes de la base 12, descritos en detalle anteriormente.

La torre 14 se puede formar en cualquier número de secciones 14c. Al igual que las columnas 26 y 28 central y exterior, el espacio 14b interior hueco de la torre puede subdividirse en una o más secciones 94 internas por uno o más pisos 96. Estas secciones 94 internas pueden configurarse como cuartos para el equipo utilizado en el funcionamiento de la turbina 16 eólica y la plataforma 10 flotante de turbina eólica compuesta.

Ventajosamente, la torre 14 formada a partir de material compuesto como se describe anteriormente tendrá una masa reducida por encima de una línea de flotación WL con respecto a una torre de acero convencional. Debido a que la torre 14 compuesta de FRP tiene una masa reducida, también puede reducirse la masa de la base 12, incluido cualquier lastre, requerida debajo de la línea de flotación WL para mantener la estabilidad de la plataforma 10 de turbina eólica flotante. Esto reducirá el coste total del dispositivo de generación de viento.

De manera significativa, el material para la plataforma 10 de turbina eólica flotante y la torre 14 se pueden elegir para enfocar materiales más fuertes y livianos en las porciones superiores de la base 12 y los materiales más pesados en las porciones inferiores de la base 12. Como se describe en detalle anteriormente, la piedra 24 angular, las vigas 22 inferiores, la columna 26 central y las columnas 28 exteriores pueden estar formadas de hormigón reforzado, a la vez que las vigas 30 superiores en la parte superior de la base 12 pueden estar formadas de acero. La torre 14, montada en un extremo superior de la base 12, puede estar formada de FRP. En una realización de ejemplo, las porciones inferiores de la base 12, tal como la piedra 24 angular y las vigas 22 inferiores, se forman a partir de hormigón de densidad relativamente más alta, y las porciones superiores de la base 12, tal como las columnas 26 y 28 central y exterior, respectivamente, se forman a partir de hormigón de densidad relativamente menor. En consecuencia, los materiales utilizados para formar la plataforma 10 de turbina eólica flotante y la torre 14 tienen relaciones de resistencia a peso de material en general y sustancialmente sucesivamente más altas a partir de la parte inferior de la plataforma 10 de turbina eólica flotante hasta la parte superior de la torre 14, con la mayor relación fuerza a peso estando en la

parte superior de la torre 14. Una plataforma 10 de turbina eólica flotante y una torre 14 construidas de esta manera tendrán un centro de gravedad relativamente bajo.

Se entenderá que las cámaras 46 y 48 de lastre pueden estar conectadas de manera fluida mediante un sistema de lastre activo que comprende una pluralidad de tuberías y bombas (no se muestran). Por ejemplo, dicho sistema de lastre activo de tuberías y bombas puede conectar todas las cámaras 46 y 48 de lastre entre sí. Dicho sistema se puede usar, por ejemplo, para cambiar el lastre de una de las cámaras 48 de lastre en una columna 28 exterior, o de una de las cámaras 46 de lastre en una viga 22 inferior, a cualquiera de las otras cámaras 46 y 48 de lastre. En una realización, un sistema de lastre activo incluye dos bombas de 1200 galones por minuto. Se estima que dicho sistema de lastre activo podría ajustar la inclinación vertical de la torre en aproximadamente 5 grados durante un período de bombeo de media hora. Un sistema de lastre activo permite una reducción en la carga estructural de la plataforma 10 de turbina eólica flotante, lo que permite que la plataforma 10 de turbina eólica flotante tenga un tamaño menor en comparación con plataformas de turbina eólica similares sin un sistema de lastre activo de este tipo.

Además, el sistema de lastre activo permite que el agua de adición y eliminación selectiva de las cámaras 46 de lastre mantenga los ángulos de inclinación y balanceo de la plataforma 10 de turbina eólica flotante dentro de los límites de diseño predeterminados durante todas las condiciones operacionales y ambientales y cuando cualquier componente de la plataforma 10 de turbina eólica flotante o la turbina 16 eólica estén dañados. Aunque el lastre se describe como agua, se entenderá que el lastre puede ser otros fluidos adecuados, como el lodo. El lodo adecuado puede comprender partículas de un material denso y agua. Por ejemplo, se puede usar un lodo formado por cloruro de calcio y agua en lugar de agua como lastre.

Con referencia ahora a las Figuras 4 y 5, se ilustra una realización de la plataforma 10 de turbina eólica flotante. En la realización que se ilustra en las Figuras 4 y 5, la turbina 16 tiene una potencia de aproximadamente 6 MW y un diámetro D1 del rotor de aproximadamente 496 pies (aproximadamente 151 m). Para soportar dicha turbina, la plataforma 10 de turbina eólica flotante tiene un diámetro D2 de plataforma exterior de aproximadamente 301 pies (aproximadamente 92 m), y un ancho W de plataforma de aproximadamente 265 pies (aproximadamente 80 m). Las columnas 28 exteriores y la columna 26 central tienen cada una un diámetro D3 exterior de aproximadamente 30 pies (aproximadamente 9 m). La plataforma 10 de turbina eólica flotante tiene una altura H1 a partir de la parte inferior de las vigas 22 inferiores a un centro del repartidor 34 de aproximadamente 329 pies (aproximadamente 100 m) y una altura H2 máxima a partir de la parte inferior de las vigas 22 inferiores a un extremo distal de una pala 36 del rotor (cuando la pala del rotor está alineada axialmente con la torre 14) de aproximadamente 642 pies (aproximadamente 196 m). La base 12 tiene una altura a partir de la parte inferior de las vigas 22 inferiores hasta la parte superior de las columnas 26 y 28 central y exterior, respectivamente, de aproximadamente 115 pies (aproximadamente 35 m). Cuando se despliega en un cuerpo de agua, la plataforma 10 de turbina eólica flotante que se ilustra en las Figuras 4 y 5 tiene un calado de H4 de aproximadamente 66 pies (unos 20 m).

Se entenderá que el tamaño y las dimensiones de cada componente de la plataforma 10 de turbina eólica flotante mejorada descrita en este documento variarán con el tamaño de la turbina 16 de soporte y las condiciones ambientales en la ubicación donde la plataforma 10 de turbina eólica flotante mejorada será desplegada.

En un método para ensamblar la plataforma 10 de turbina eólica flotante mejorada, la piedra 24 angular de hormigón reforzado y las vigas 22 inferiores se forman primero en un muelle seco o en un muelle de carenado. Las vigas 22 inferiores se post-tensionan en la piedra angular como se describió anteriormente. El muelle seco o de carenado se inunda entonces de manera que flote el ensamblaje que comprende la piedra 24 angular y las vigas 22 inferiores. El ensamblaje de la piedra 24 angular y las vigas 22 inferiores se mueve a un muelle o área de ensamblaje del lado del embarcadero con suficiente calado para que el ensamblaje permanezca a flote durante el ensamblaje de los componentes restantes de la plataforma 10 de turbina eólica flotante.

La columna 26 central y las columnas 28 exteriores se forman entonces en su lugar en la piedra 24 angular y las vigas 22 inferiores, respectivamente. La columna 26 central y las columnas 28 exteriores pueden formarse en secciones o en una sola operación de formación mediante cualquier método de formación de hormigón deseado. Una vez formada, la columna 26 central y las columnas 28 exteriores se someten a post-tensión a la piedra 24 angular y las vigas 22 inferiores, respectivamente, como se describe anteriormente. Luego se instalan las vigas 30 superiores cargadas axialmente, seguidas de la torre 14 y la turbina 16, definiendo así un ensamblaje de plataforma de turbina eólica flotante.

Una vez completamente ensamblada, la plataforma 10 flotante de turbina eólica, con la torre 14 y la turbina 16 montadas en ella, puede remolcarse fuera del muelle seco o de carenado hasta la ubicación donde se amarrará. Durante el remolque y/o al llegar a su ubicación de amarre, las cámaras 46 y 48 de lastre pueden llenarse con agua. La plataforma 10 de turbina eólica flotante se une luego a sus líneas 18 de amarre, que están previamente aseguradas al lecho S marino. La plataforma 10 de turbina eólica flotante se une a un cable 37 de alimentación submarino, como se describe anteriormente.

En un segundo método para ensamblar la plataforma 10 de turbina eólica flotante mejorada, la piedra 24 angular de hormigón reforzado y las vigas 22 inferiores se forman primero en un muelle seco o en un muelle de carenado. Las vigas 22 inferiores se post-tensan en la piedra angular como se describió anteriormente. La columna 26 central y las

columnas 28 exteriores se forman entonces en su lugar en la piedra 24 angular y las vigas 22 inferiores, respectivamente. La columna 26 central y las columnas 28 exteriores pueden formarse en secciones o en una sola operación de formación mediante cualquier método de formación de hormigón deseado. Una vez formada, la columna 26 central y las columnas 28 exteriores se someten a post-tensión a la piedra 24 angular y las vigas 22 inferiores, respectivamente, como se describe anteriormente. Luego se instalan las vigas 30 superiores cargadas axialmente, seguidas por la torre 14 y la turbina 16.

El muelle seco o de carenado se inunda entonces de manera que flote la plataforma 10 flotante de turbina eólica, con la torre 14 y la turbina 16 montada en ella. La plataforma 10 de turbina eólica flotante, con la torre 14 y la turbina 16 montadas en ella, puede remolcarse fuera del muelle seco o de carenado hasta la ubicación donde se amarrará. Durante el remolque y/o al llegar a su ubicación de amarre, las cámaras 46 y 48 de lastre pueden llenarse con agua. La plataforma 10 de turbina eólica flotante se une entonces a sus líneas 18 de amarre, que están previamente aseguradas al lecho S marino. La plataforma 10 de turbina eólica flotante se une a un cable 37 de alimentación submarino, como se describe anteriormente.

Durante el funcionamiento normal de la plataforma 10 de turbina eólica flotante mejorada y su turbina 16 eólica adjunta, puede ser necesario el mantenimiento del sistema, la reparación de la turbina 16 o el reemplazo de la turbina 16. En un método para mantener, reparar o reemplazar cualquier porción de la plataforma 10 de turbina eólica flotante mejorada y su turbina 16 eólica adjunta, la plataforma 10 de turbina eólica flotante se separa de sus líneas 18 de amarre y su cable 37 de alimentación submarino. La plataforma 10 de turbina eólica flotante puede ser remolcada a un muelle o área de reparación del lado del embarcadero. Durante el remolque, y/o al llegar al muelle o al área de reparación del lado del embarcadero, se retira una cantidad predeterminada de agua de lastre de las cámaras 46 y 48 de lastre. El mantenimiento, la reparación o el reemplazo de las piezas se realizan en el área de reparación del muelle o del lado del embarcadero. La plataforma 10 de turbina eólica flotante puede entonces prepararse y remolcarse nuevamente a un lugar donde se amarrará. Durante el remolque y/o al llegar a su ubicación de amarre, las cámaras 46 y 48 de lastre pueden volver a llenarse con agua. La plataforma 10 de turbina eólica flotante se une entonces a sus líneas 18 de amarre, y se une a un cable 37 de alimentación submarino, como se describió anteriormente.

Para el control y monitorización operacional, la plataforma 10 de turbina eólica flotante puede incluir un sistema de control activo, tal como un sistema de Control de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA) que reduce uno o más de la carga, la aceleración, los ángulos de inclinación media y de balanceo, y las tensiones por fatiga en toda la plataforma 10 de turbina eólica flotante, la torre 14 y la turbina 16 para optimizar la producción de energía y mantener el funcionamiento si la plataforma 10 de turbina eólica flotante está dañada. La plataforma 10 de turbina eólica flotante incluye una pluralidad de sensores que detectan diversas condiciones ambientales, tales como la variabilidad y la velocidad del viento, y las condiciones operacionales, tales como la inclinación de la plataforma, la deformación de diversos componentes estructurales y la aceleración de la plataforma 10 de turbina eólica flotante. La inclinación de las palas de la turbina se puede ajustar para compensar los diversos parámetros detectados para mitigar la carga indeseable. Por ejemplo, la velocidad de la turbina se puede ajustar y la inclinación de la pala de la turbina se puede controlar para maximizar la potencia. Estos ajustes pueden ser controlados por un controlador, el cual puede incluir un ordenador que tenga un algoritmo.

Los datos ambientales y de rendimiento, que se describen en detalle a continuación, se recopilan en diversas ubicaciones o cajas de datos en la plataforma 10 de turbina eólica flotante, la torre 14 y la turbina 16 y se encaminan a través de una serie de chips, procesadores u ordenadores a un sistema de adquisición de datos (DAS) ubicado en la plataforma 10 de turbina eólica flotante. Alternativamente, el DAS puede ubicarse de forma remota de la plataforma 10 de turbina eólica flotante y puede recibir datos a través de una señal inalámbrica o mediante un cable submarino.

En la realización que se ilustra, las cajas de datos están ubicadas en el repartidor 34, la góndola 38, en la parte superior de la torre 14, en la base de la torre 14, y en la base 12. Se entenderá que la plataforma 10 de turbina eólica flotante puede incluir cajas de datos en una o más de estas ubicaciones. Los datos del repartidor 34 se transmiten a través de anillos deslizantes (no se muestran), pero se ubican entre la turbina 16 y la góndola 38 de manera convencional, a la caja de datos en la góndola 38. Los datos se transmiten además a partir de las cajas de datos en la góndola 38, en la parte superior de la torre 14, y en la base 14, a la caja de datos en la base de la torre 14, y luego al DAS.

Además de los sensores a bordo, los sensores pueden montarse en plataformas 10 de turbina eólica flotante adyacentes, y en boyas B alejadas de la plataforma 10 de turbina eólica flotante. Los datos de estos sensores remotos pueden transmitirse al DAS a través de una señal inalámbrica o a través de un cable submarino. Por lo tanto, el DAS puede recibir información de los sensores de cualquier número deseado de plataformas 10 de turbina eólica flotante y cualquier número de sensores remotos.

Los ejemplos de sensores remotos que se pueden usar con la plataforma 10 de turbina eólica flotante mejorada incluyen una boya equipada con Detección de Luz y Rango (LIDAR) y una boya equipada con una cámara, GPS y una diversidad de sensores meteorológicos y ambientales, tales como para detectar la velocidad del viento, la dirección del viento, la temperatura del revestimiento, la humedad, la presión del aire, la traslación y la rotación de la boya, la altura de la ola, la dirección de la ola, el período de la ola, el perfil actual, la salinidad y la conductividad del agua y la traslación y rotación de la boya.

En un método para operar y controlar una o más plataformas 10 de turbina eólica flotante, la caja de datos en el repartidor 34 recibe datos de un interrogador óptico y/o sensores que detectan la flexión de la pala, la torsión de la pala, la inclinación de la pala y la tensión de accionamiento de la inclinación de la pala.

- 5 La caja de datos en la góndola 38 recibe datos a partir de sensores de góndola, sensores de condición ambiental y sensores de turbina. Los sensores de góndola pueden incluir sensores que detectan la velocidad del rotor, la posición del rotor, el torque del rotor, la potencia real de la turbina, el espacio de aire del generador, la velocidad del generador, la posición de la góndola y la traslación y rotación de la parte superior de la torre. Los sensores de condiciones ambientales pueden incluir sensores los cuales detectan la velocidad del viento de flujo libre, la velocidad del viento de estela, la humedad relativa, la presión, la temperatura, la velocidad del viento y la dirección del viento. Los sensores de turbina pueden incluir sensores que detectan la potencia real, las condiciones de la red, el estado del freno, la inclinación de la pala, la velocidad del viento, la dirección del viento y la posición de la góndola.
- 10

La caja de datos en la parte superior de la torre 14 recibe datos a partir de los sensores que detectan la aceleración de la parte superior de la torre, la flexión de la parte superior de la torre, el torque de la parte superior de la torre y la traslación y rotación de la parte superior de la torre.

- 15 La caja de datos en la base de la torre 14 recibe datos de los sensores que detectan la aceleración de la base de la torre, la flexión de la base de la torre, la traslación y rotación de la base de la torre, la flexión de la mitad de la torre y la tensión de traslación de la base y la base 12 de la torre.

- 20 La caja de datos en la base 12 recibe datos de sensores que detectan uno o más movimientos de traslación y rotación de la base 12, flexión de la base 12, tensión de la línea 18 de amarre, corrosión de la barra de tensión y tensión de la barra de tensión. Además, la caja de datos en la base 12 recibe datos de la condición ambiental, que incluyen el nivel del agua, el perfil del viento, el nivel del agua de lastre, la temperatura y los datos de cualquier cámara a bordo.

- 25 En un segundo método de operación y control de una o más plataformas 10 de turbina eólica flotante, la caja de datos en la góndola 38 puede recibir alternativamente datos de sensores de góndola, sensores de condición ambiental y sensores de turbina, en donde los sensores de góndola pueden incluir sensores que detectan la velocidad del rotor, la posición del rotor, el torque del rotor, el espacio de aire del generador, la velocidad del generador y la posición de la góndola. Los sensores de condiciones ambientales pueden incluir alternativamente sensores que detectan la velocidad del viento de flujo libre, la humedad relativa, la presión, la temperatura, la velocidad del viento y la dirección del viento. Los sensores de turbina pueden incluir sensores que detectan la potencia real, las condiciones de la red, el estado del freno, la inclinación de la pala, la velocidad del viento, la dirección del viento y la posición de la góndola.

- 30 En el segundo método de operación y control de una o más plataformas 10 de turbina eólica flotante, la caja de datos en la base 12 puede recibir alternativamente datos de la condición ambiental, que incluyen el nivel de agua, el nivel del agua de lastre, la temperatura y los datos de cualquiera de las cámaras a bordo.

- 35 Como se describe, el sistema de control activo reduce uno o más de la carga, la aceleración, los ángulos medios de inclinación y de balanceo, y las tensiones por fatiga en toda la plataforma 10 de turbina eólica flotante, la torre 14 y la turbina 16 para optimizar la salida de energía y mantener la operación si la plataforma 10 de turbina eólica flotante está dañada. Además, los tubos 102, las bombas 104 y las cámaras 46 y 48 de lastre se pueden usar para mantener los ángulos de inclinación y balanceo de la plataforma 10 de turbina eólica flotante dentro de los límites de diseño predeterminados durante todas las condiciones operacionales y ambientales y cuando cualquier componente de la plataforma 10 de turbina eólica flotante o la turbina 16 eólica esté dañado. Específicamente, los tubos 102, las bombas 104 y las cámaras 46 y 48 de lastre se pueden usar para mover el agua de lastre para mantener la plataforma 10 de turbina eólica flotante, la torre 14 y la turbina 16 en posición vertical.
- 40

Además, el sistema de control activo se puede usar con el control de inclinación de la turbina y la velocidad del generador de turbina, para minimizar la fatiga y la aceleración en todo el sistema.

- 45 Se han descrito el principio y el modo de funcionamiento de la invención. Sin embargo, debe observarse que la invención descrita en este documento puede ponerse en práctica de manera diferente a la que se ilustra y describe específicamente sin apartarse de su alcance como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Una plataforma (10) de turbina eólica semisumergible capaz de flotar en una masa de agua y soportar una turbina (16) eólica, la plataforma (10) de turbina eólica semisumergible que comprende:
una piedra (24) angular;
5 al menos tres vigas (22) inferiores que se extienden radialmente hacia afuera de la piedra (24) angular, teniendo cada viga (22) inferior una pared (22a) superior, una pared (22c) inferior y paredes (22d) laterales opuestas, definiendo las paredes una cámara (46) hueca dentro de cada viga inferior, definiendo cada viga inferior un miembro flotante;
una columna (26) central que se extiende perpendicularmente a partir de una superficie superior de la piedra (24) angular, un primer extremo axial de la columna central unido a la piedra (24) angular, la columna central configurada para tener una torre (14) unida a un segundo extremo axial de la misma;
10 columnas (28) exteriores, una de las cuales se extiende perpendicularmente a partir de una superficie (22a) superior de cada viga (22) inferior, primeros extremos axiales de las columnas (28) exteriores unidas a un extremo distal de cada viga (22) inferior; y
vigas (30) superiores, una de las cuales se extiende entre un segundo extremo axial de cada columna (28) exterior y un segundo extremo axial de la columna (26) central, caracterizada porque las vigas (30) superiores son miembros cargados sustancialmente de manera axial que se extienden de manera sustancialmente horizontal entre el segundo extremo axial de la columna (26) central y el segundo extremo axial de cada columna (28) exterior, están configurados sustancialmente para no resistir el momento de flexión de una base de una torre (14) unida a la columna (26) central y además están configurados para recibir y aplicar fuerzas de tracción y compresión entre la columna (26) central y las columnas (28) exteriores.
15 2. La plataforma de turbina eólica semisumergible de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las vigas (30) superiores están formadas por hormigón reforzado pretensado o polímero reforzado con fibra.
3. La plataforma de turbina eólica semisumergible de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la piedra (24) angular, las vigas (22) inferiores, la columna (26) central y las columnas (28) exteriores están formadas por hormigón reforzado pretensado.
25 4. La plataforma de turbina eólica semisumergible de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la piedra (24) angular, las vigas (22) inferiores, la columna (26) central, las columnas (28) exteriores y las vigas (30) superiores definen una base (12), y en donde los materiales utilizados para formar la base (12) tienen relaciones de resistencia a peso del material sustancialmente de manera sucesiva más altas a partir de la parte inferior de la base hasta la parte superior de la base.
30 5. La plataforma de turbina eólica semisumergible de acuerdo con la reivindicación 1, que incluye además una torre (14) montada coaxialmente en la columna (26) central, la torre (14) formada de polímero reforzado con fibra y está configurada para soportar una turbina (16) eólica.
6. La plataforma de turbina eólica semisumergible de acuerdo con la reivindicación 5, en donde la piedra (24) angular, las vigas (22) inferiores, la columna (26) central y las columnas (28) exteriores están formadas por hormigón reforzado y las vigas (30) superiores están formadas de acero, de modo que el material con la mayor relación resistencia a peso está en la parte superior de la torre (14), y la base (12) tiene un centro de gravedad relativamente bajo.
35 7. La plataforma de turbina eólica semisumergible de acuerdo con la reivindicación 6, en donde la piedra (24) angular y las vigas (22) inferiores se forman a partir de un hormigón de densidad relativamente más alta, y se forman las columnas central (26) y exterior (28) de hormigón de densidad relativamente baja.
40 8. La plataforma de turbina eólica semisumergible de acuerdo con la reivindicación 1, en donde cada viga (22) inferior está post-tensada longitudinalmente a la piedra (24) angular.
9. La plataforma de turbina eólica semisumergible de acuerdo con la reivindicación 1, en donde cada columna (28) exterior está post-tensada longitudinalmente a la viga (22) inferior a la cual está unida.
45 10. La plataforma de turbina eólica semisumergible de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la columna (28) central está post-tensada longitudinalmente a la piedra (24) angular.
11. La plataforma de turbina eólica semisumergible de acuerdo con la reivindicación 1, que incluye además:
una turbina (16) eólica unida a la torre (14); y
un sistema de control activo que tiene un sistema de adquisición de datos (DAS);

en donde el DAS recibe datos ambientales detectados, y recibe datos de condiciones operacionales detectados de los componentes la base (12), la torre (14) y la turbina (16) eólica;

en donde los datos ambientales detectados y los datos de condición operacional detectados se reciben de sensores a bordo y remotos, y

- 5 en donde el DAS cambia los parámetros operacionales de cualquiera de la base (12), la torre (14) y la turbina (16) eólica con base en los datos ambientales y datos de condición operacional recibidos.

- 10 12. La plataforma de turbina eólica semisumergible de acuerdo con la reivindicación 11, en donde el DAS recibe datos de las condiciones operacionales detectadas de los procesadores de datos a bordo ubicados en uno o más de un repartidor (34), una góndola (28), una parte superior de la torre (14), una parte inferior de la torre (14), y la base (12), y en donde el DAS procesa los datos detectados para ajustar los parámetros operacionales a al menos uno de entre optimizar la salida de potencia de la turbina, reducir la carga estructural y cambiar los volúmenes de lastre para cambiar la inclinación de la base y los ángulos de balanceo.

- 15 13. La plataforma de turbina eólica semisumergible de acuerdo con la reivindicación 11, en donde el DAS recibe datos ambientales detectados y datos de condición operacional detectados de los componentes de la base (12), la torre (14) y la turbina (16) eólica de una o más plataformas de turbinas eólicas ubicadas remotamente; y en donde el DAS procesa los datos de una o más plataformas de turbinas eólicas ubicadas remotamente para ajustar los parámetros operacionales a al menos uno de optimizar la salida de potencia de la turbina, reducir la carga estructural y cambiar los volúmenes de lastre para cambiar la inclinación de la base y los ángulos de balanceo.

- 20 14. La plataforma de turbina eólica semisumergible de acuerdo con la reivindicación 11, en donde los datos ambientales detectados incluyen la velocidad del viento de flujo libre y la velocidad del viento de estela, lo que permite al DAS anticipar la velocidad del viento con base en la velocidad del viento de flujo libre y los datos de velocidad del viento de estela detectados.

15. Un método para ensamblar una plataforma (10) de turbina eólica semisumergible, que comprende:

- 25 formar una piedra (24) angular de hormigón reforzado y una pluralidad de vigas (22) inferiores de hormigón reforzado en un muelle seco, en donde cada viga (22) inferior tiene una pared superior, una pared inferior y paredes laterales opuestas, las paredes que definen una cámara hueca dentro de cada viga (22) inferior, cada viga (22) inferior que define un miembro flotante;

post-tensionar las vigas (22) inferiores en la piedra (24) angular para definir un ensamblaje de viga;

inundar el muelle seco para que el ensamblaje de viga flote;

- 30 mover el ensamblaje de viga flotante a un área de montaje;

formar una columna (26) central a partir de hormigón reforzado en la piedra (24) angular;

formar una columna (28) exterior de hormigón reforzado en cada viga (22) inferior;

post-tensionar la columna (26) central a la piedra (24) angular;

post-tensionar una columna (28) exterior a cada viga (22) inferior;

- 35 unir vigas (30) superiores cargadas axialmente entre cada columna (28) exterior y la columna (26) central;

- 40 unir una torre (14) a la columna (26) central, en donde las vigas (30) superiores se extienden sustancialmente de manera horizontal entre los extremos superiores de la columna (26) central y cada columna (28) exterior, están configuradas sustancialmente para no resistir el momento de flexión de una base de la torre (14) unida a la columna (26) central, y además están configuradas para recibir y aplicar fuerzas de tracción y compresión entre la columna (26) central y las columnas (28) exteriores;

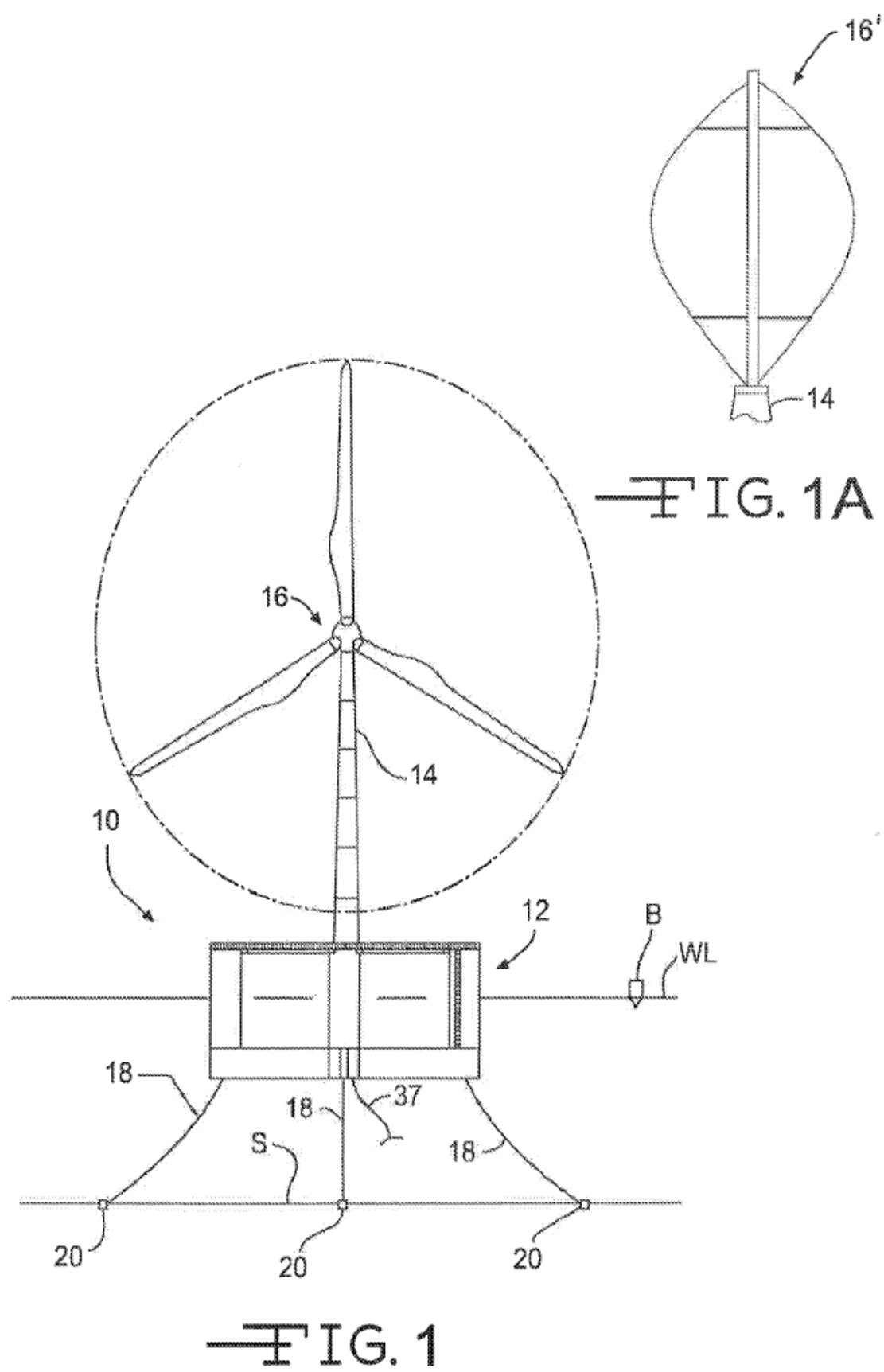
unir una turbina (16) eólica a la torre (14), definiendo así un ensamblaje de plataforma de turbina eólica flotante;

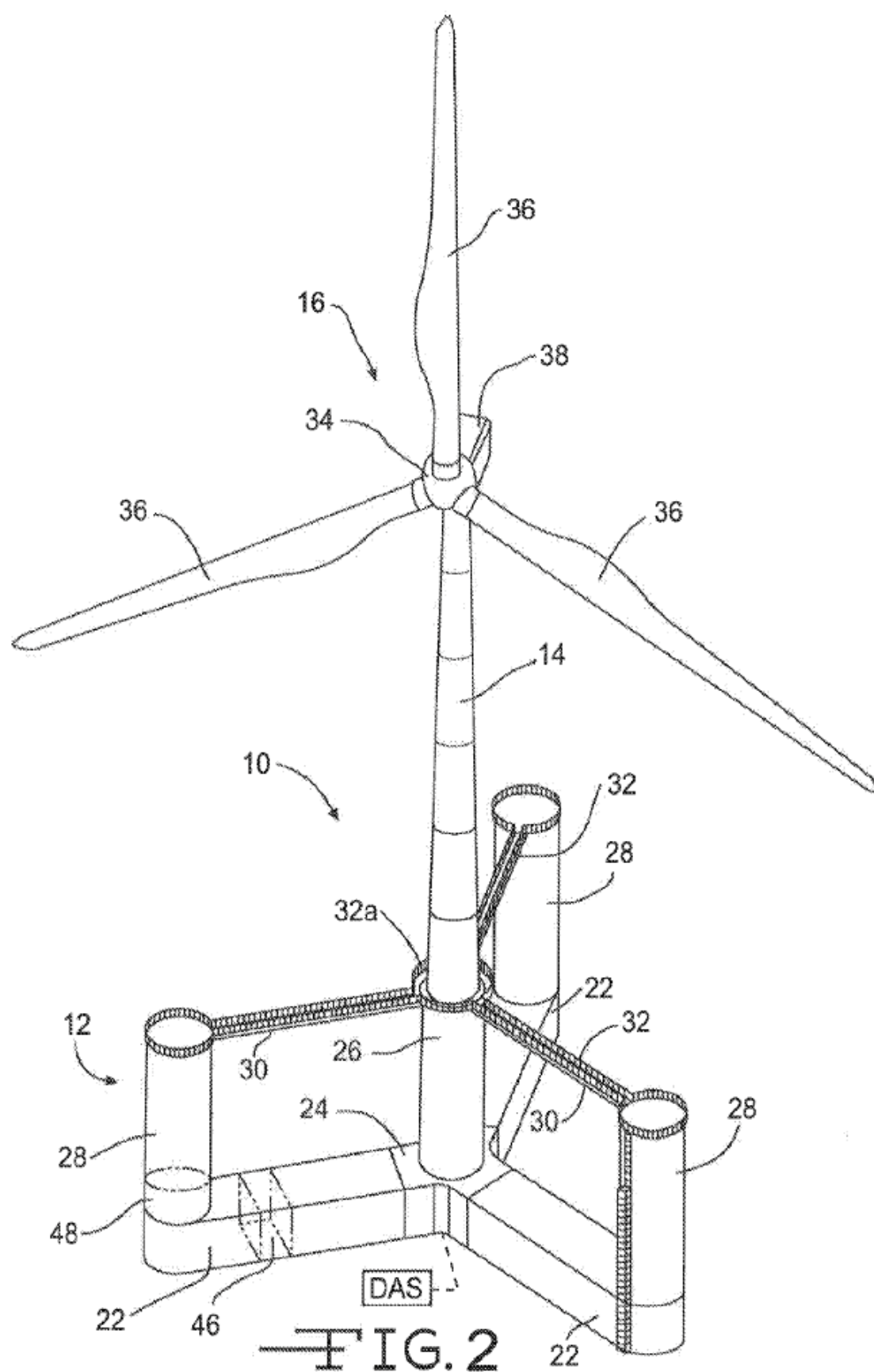
remolcar el ensamblaje de plataforma de turbina eólica flotante a partir del muelle seco hasta un lugar donde se amarrará;

llenar la cámara (46, 48) de lastre en una o ambas columnas (28) exteriores y las vigas (22) inferiores;

- 45 al llegar a su ubicación de amarre, unir el ensamblaje de plataforma de turbina eólica flotante a las líneas (18) de amarre que están previamente aseguradas al lecho marino; y

unir el ensamblaje de la plataforma de turbina eólica flotante a un cable (37) de alimentación submarino.





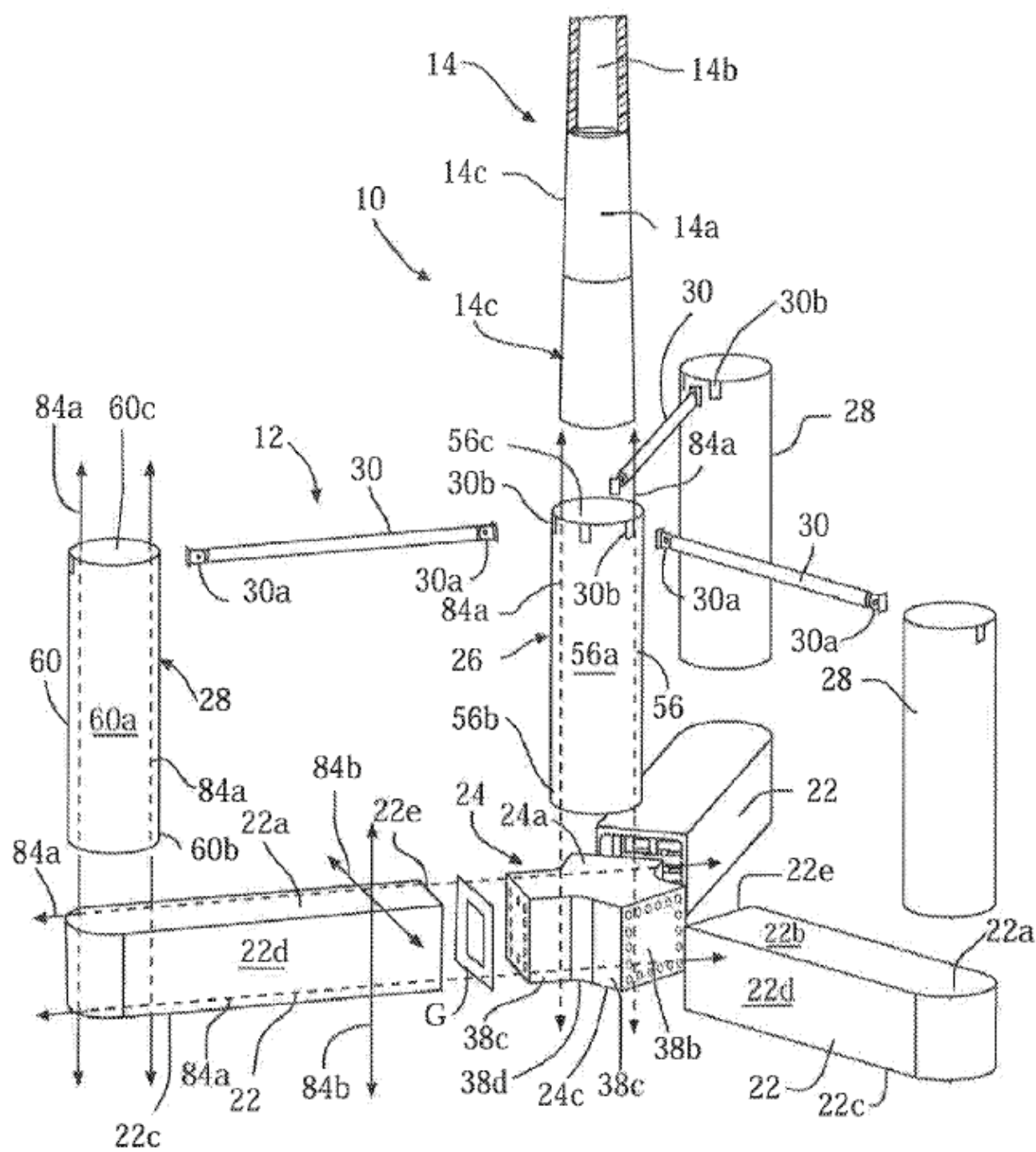


FIG. 3

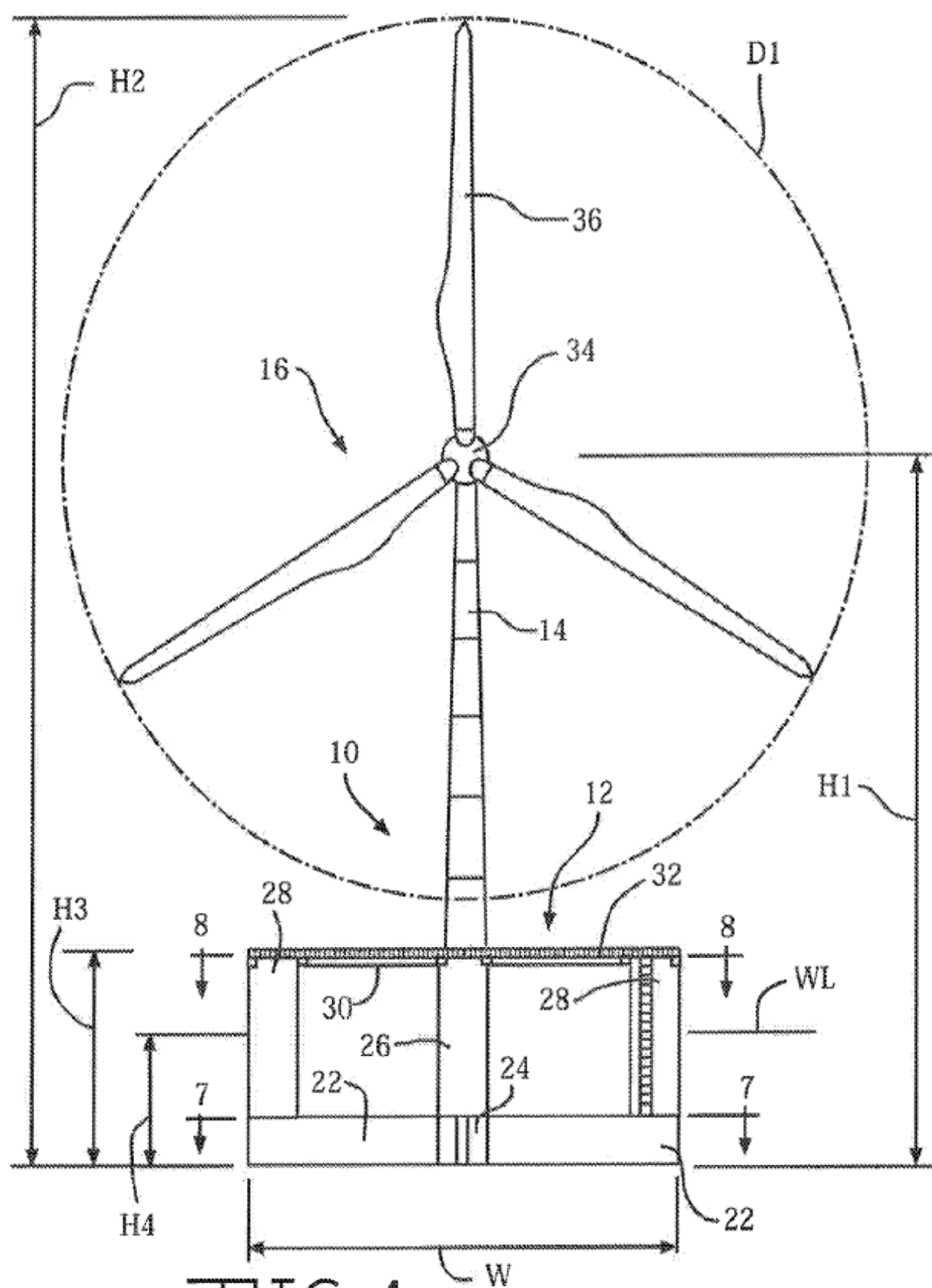
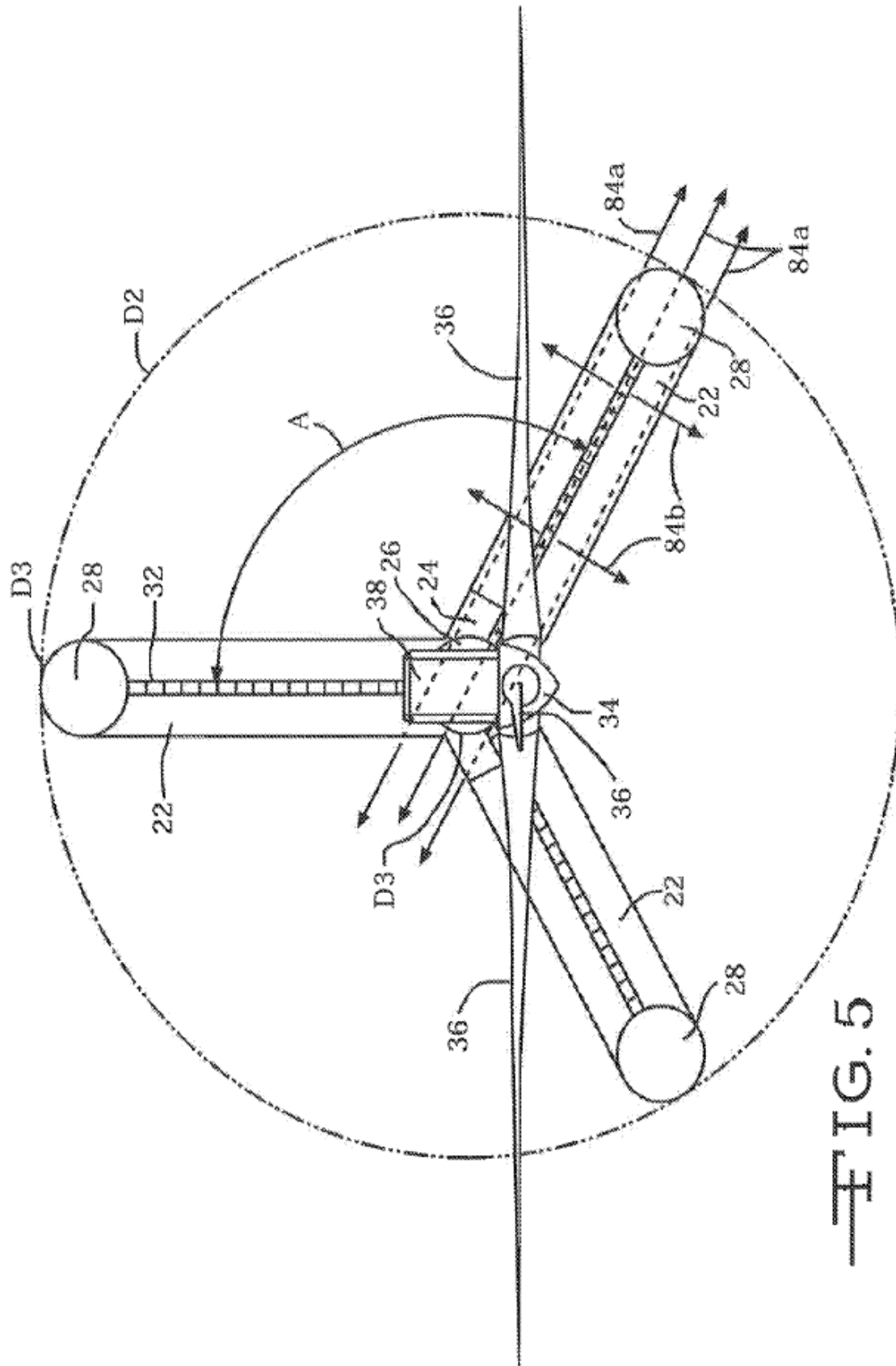


FIG. 4



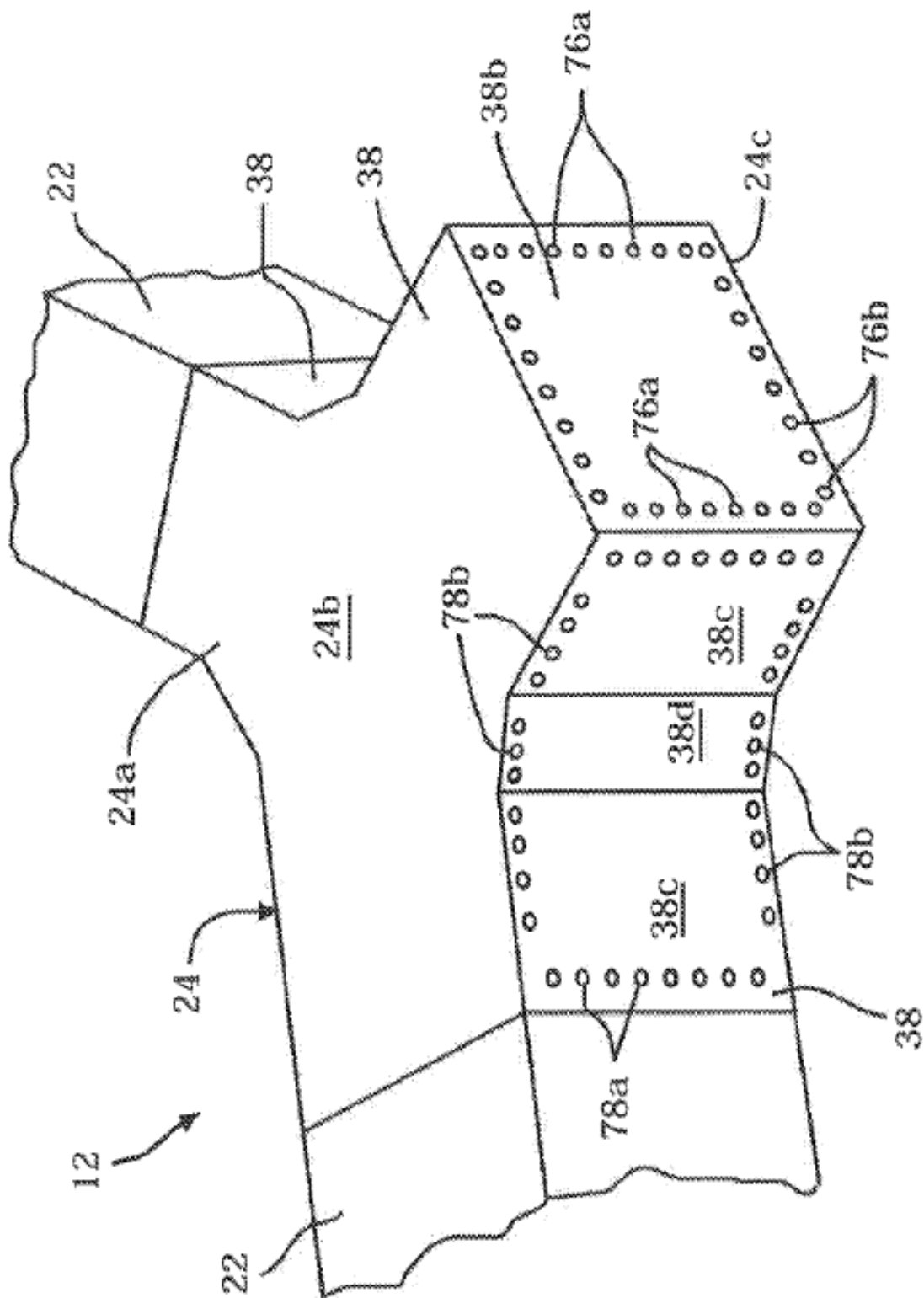


FIG. 6