

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 654 602**

51 Int. Cl.:

**B63B 1/04** (2006.01)

**F03D 13/25** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.03.2012 PCT/JP2012/055676**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.09.2012 WO12121247**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.03.2012 E 12754705 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.10.2017 EP 2684792**

54 Título: **Estructura flotante de tipo mástil**

30 Prioridad:

**07.03.2011 JP 2011049283**

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

**14.02.2018**

73 Titular/es:

**APAN MARINE UNITED CORPORATION (50.0%)  
36-7, Shiba 5-chome  
Minato-kuTokyo 108-0014, JP y  
THE UNIVERSITY OF TOKYO (50.0%)**

72 Inventor/es:

**YOSHIMOTO, HARUKI;  
AWASHIMA, YUJI y  
SUZUKI, HIDEYUKI**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 654 602 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

Estructura flotante de tipo mástil

La presente invención se refiere a una estructura flotante de tipo mástil, específicamente a una estructura flotante de tipo mástil que tiene estabilidad suficiente y que experimenta movimientos de oscilación reducidos.

### 5 Antecedentes de la invención

En años recientes, desde un punto de vista de la conservación del entorno global y el uso efectivo de la energía natural, la generación de energía eólica costa afuera ha estado suscitando interés. Se han propuesto diversos tipos de estructuras flotantes para la generación de energía eólica costa afuera, incluyendo una de tipo mástil diseñada para tener un centro de gravedad constantemente por debajo de un centro de flotabilidad para asegurar la estabilidad estática; una de tipo TLP (plataforma de patas de tensión) diseñada para amarrarse mediante cables en tensión llamados patas de tensión; y una de tipo semi-sumergible diseñada para tener una cubierta y un casco inferior conectados mediante columnas para reducir el área de flotación (área de sección transversal en la línea de flotación) y para reducir los movimientos de oscilación mediante la utilización de una diferencia de fase entre las fuerzas de ola que actúan sobre la parte sumergida. Entre estos tipos, la de tipo mástil se considera ventajosa con respecto a las otras en términos de costes.

En general, la estructura flotante de tipo mástil comprende un cuerpo flotante alto, delgado y aproximadamente en forma de columna y una parte de lastre dispuesta en la parte inferior del cuerpo flotante, de manera que el peso de la parte de lastre permite al cuerpo flotante, amarrado mediante cables, flotar en posición vertical en el mar (véanse los documentos de patente 1 y 2, por ejemplo).

Por ejemplo, el documento de patente 1 desvela una estructura flotante de tipo mástil que comprende un cuerpo flotante superior con la línea de flotación situada en un cuerpo flotante inferior con un diámetro mayor que el cuerpo flotante superior y un depósito de lastre dispuesto en la parte inferior del cuerpo flotante inferior, y el documento de patente 2 desvela una estructura flotante de tipo mástil que comprende un cuerpo flotante superior con la línea de flotación situada en un cuerpo flotante inferior con un diámetro mayor que el cuerpo flotante superior y un depósito de lastre conectado al lado inferior del cuerpo flotante inferior mediante tubos de acero de conexión. El documento de patente 3 desvela una plataforma flotante para extraer energía eólica con una estructura para soportar la instalación formada por una torre de aerogenerador, una góndola y las palas correspondientes de las mismas. La estructura de soporte comprende un depósito de lastre que está diseñado para controlar el centro de gravedad de la instalación y para ajustar la línea de flotación mediante una distribución de masa.

### 30 Documento de la Técnica Anterior

#### Documento de patente

Documento de patente 1:	JP 2009-18671 A
Documento de patente 2:	JP 2009-248792 A
Documento de patente 3:	WO 2010/106208 A2
Documento de patente 4:	US2003099516
Documento de patente 5:	GB2208830

#### Sumario de la invención

#### Problemas a resolver mediante la invención

La estructura flotante de tipo mástil, que es probable que tenga un calado profundo para asegurar la estabilidad, es difícil de instalar en zonas marinas poco profundas. Además, en comparación con la estructura flotante de tipo TLP, la estructura flotante de tipo mástil experimenta una gran amplitud de movimiento de subida y bajada y cabeceo (o balanceo), lo que hace difícil asegurar la estabilidad de la estructura flotante de tipo mástil. Además, las estructuras flotantes de tipo mástil desveladas en los documentos de patente 1 y 2 presentan problemas como que, debido a la pequeña área de flotación, tienen un corto período de resonancia que hace que sean propensas a resonar con las olas, y que debido al gran cuerpo flotante situado cerca de la línea de flotación, son susceptibles a la influencia de las olas.

Estos inconvenientes de la estructura flotante de tipo mástil son difíciles de superar.

La presente invención se ha realizado en vista de los problemas anteriores. Un objeto de la presente invención es proporcionar una estructura flotante de tipo mástil que tenga suficiente estabilidad, experimente movimientos de oscilación reducidos y a la que se le posibilite tener un calado reducido.

## 5 Medios para resolver los problemas

La presente invención proporciona una estructura flotante de tipo mástil que comprende un cuerpo flotante alto y delgado y una parte de lastre proporcionada al cuerpo flotante, de manera que el peso de la parte de lastre permite que el cuerpo flotante flote en posición vertical, en donde el cuerpo flotante incluye una primera parte extendida que se extiende horizontalmente dispuesta en la parte inferior, una segunda parte extendida que se extiende horizontalmente dispuesta en la parte media y una parte de columna cilíndrica hueca que conecta la primera y segunda partes extendidas y que se extiende hasta la línea de flotación. El cuerpo flotante comprende además una tercera parte extendida cilíndrica hueca, que se extiende de forma horizontal, y dispuesta fijamente en la parte superior de la parte de columna, en donde la primera parte extendida forma la parte de lastre y la segunda parte extendida constituye una parte de flotabilidad que da flotabilidad al cuerpo flotante. La primera, segunda y tercera partes extendidas están configuradas de tal manera que las presiones que actúan sobre las respectivas superficies superior e inferior de la primera y segunda parte extendida y una presión que actúa sobre una superficie inferior de la tercera parte extendida se contrarrestan entre sí con un período de ola específico.

La tercera parte extendida puede tener un área de flotación correspondiente a del 10 al 300 % del área media del cuerpo flotante obtenida dividiendo el volumen desplazado por el calado del cuerpo flotante. Por ejemplo, un elemento en forma de columna con un tamaño horizontal reducido se une a la parte superior de la tercera parte extendida. Un cable de amarre para amarrar el cuerpo flotante puede estar conectado a la tercera parte extendida.

La segunda parte extendida puede tener un volumen interior correspondiente a de un cuarto a tres cuartos del volumen desplazado del cuerpo flotante. Se puede fijar una guía de cable al lado de la segunda parte extendida para guiar el cable de amarre del cuerpo flotante.

La primera y segunda partes extendidas tienen tamaños, por ejemplo, determinados para cumplir con el requisito  $GM = I w / (\Delta x \tan \theta)$ , (en donde GM es la altura metacéntrica, lw el momento de inversión del viento,  $\Delta$  el desplazamiento y  $\theta$  el ángulo máximo admisible de inclinación).

Puede proporcionarse un cuerpo de resistencia para rodear la circunferencia de la primera parte extendida para ajustar la respuesta dinámica del cuerpo flotante. El cuerpo de resistencia puede incluir una protección anular para evitar que el cable de amarre del cuerpo flotante quede atrapado dentro.

## Efectos ventajosos de la invención

En la presente invención se pueden proporcionar fácilmente puntos sin olas formando la primera y segunda partes extendidas al cuerpo flotante, conduciendo a movimientos de oscilación vertical reducidos de la estructura flotante de tipo mástil. Disponer la primera parte extendida en la parte inferior para formar una parte de lastre y la segunda parte extendida en la parte media para constituir una parte de flotabilidad facilita el ajuste del equilibrio entre la altura del centro de gravedad y la altura del centro de flotabilidad para asegurar la estabilidad. Esto contribuye también a reducir la amplitud del cabeceo (o balanceo). De este modo, la estructura flotante de tipo mástil según la presente invención tiene suficiente estabilidad, experimenta movimientos de oscilación reducidos y se posibilita que tenga un calado reducido.

Al proporcionar una tercera parte extendida en la parte superior de la parte de columna se puede garantizar que la línea de flotación esté situada en la tercera parte extendida en olas con alturas de pequeñas a normales y en la parte más pequeña en diámetro que la tercera parte extendida (es decir, la parte de columna o el elemento en forma de columna en la superestructura) en olas con grandes alturas. Esto significa que el período de resonancia de los movimientos de oscilación vertical, que es inversamente proporcional al área de flotación, varía dependiendo del estado de las olas, conduciendo de manera efectiva a la reducción de movimientos de oscilación vertical. Particularmente, en olas con grandes alturas, la estructura flotante de tipo mástil con un largo período de resonancia de movimientos de oscilación vertical puede evitar la resonancia.

## Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es un diagrama que muestra la configuración global de una primera realización de una estructura flotante de tipo mástil según la presente invención,

La Figura 2A es un diagrama que muestra una tercera parte extendida en olas con una altura normal para explicar la

función de la tercera parte extendida,

La Figura 2B es un diagrama que muestra la tercera parte extendida en olas con una gran altura para explicar la función de la tercera parte extendida,

5 La Figura 2C es un diagrama que muestra las curvas características de la fuerza de excitación de la ola para explicar la función de la tercera parte extendida,

La Figura 3A es un diagrama para explicar el principio funcional de una segunda parte extendida,

La Figura 3B es un diagrama que muestra una curva característica de la fuerza de excitación de la ola para explicar la función de la segunda parte extendida,

10 La Figura 4A es un diagrama que muestra una segunda realización de la estructura flotante de tipo mástil de acuerdo con la presente invención,

La Figura 4B es un diagrama que muestra una tercera realización de la estructura flotante de tipo mástil de acuerdo con la presente invención, La Figura 5A es una vista superior explicativa de un cuerpo de resistencia mostrado en la Figura 4B,

15 La Figura 5B es una vista en sección transversal explicativa de una variante del cuerpo de resistencia de la Figura 4B y la Figura 5C es una vista superior explicativa de la variante del cuerpo de resistencia de la Figura 4B.

#### **Modo para realizar la invención**

20 Con referencia a las Figuras 1 a 5 se describirán realizaciones de la estructura flotante de tipo mástil de acuerdo con la presente invención. La Figura 1 es un diagrama que muestra la configuración global de una primera realización de la estructura flotante de tipo mástil de acuerdo con la presente invención. Las Figuras 2A a 2C son diagramas para explicar la función de una tercera parte extendida, específicamente, las Figuras 2A y 2B muestran la tercera parte extendida en olas con una altura normal y en olas con una gran altura, respectivamente, y la Figura 2C muestra curvas características de la fuerza de excitación de la ola. Las Figuras 3A y 3B son diagramas para explicar la función de una segunda parte extendida, específicamente, la Figura 3A es para explicar el principio funcional y la Figura 3B muestra una curva característica de la fuerza de excitación de la ola.

25 Como se ilustra en la FIG. 1, la primera realización de la presente invención es una estructura flotante de tipo mástil 1 que comprende cuerpo flotante 2 alto y delgado y una parte de lastre 3 proporcionada al cuerpo flotante 2, de manera que el peso de la parte de lastre 3 permite que el cuerpo flotante 2 flote en posición vertical. El cuerpo flotante 2 incluye una primera parte extendida 21 que se extiende horizontalmente dispuesta en la parte inferior, una  
30 segunda parte extendida 22 que se extiende horizontalmente dispuesta en la parte media y una parte de columna 23 que conecta la primera y segunda partes extendidas 21, 22 y que se extiende hasta la línea de flotación. La primera parte extendida 21 forma la parte de lastre 3 y la segunda parte extendida forma una parte de flotabilidad que da flotabilidad al cuerpo flotante 2.

35 La estructura flotante de tipo mástil 1 está, por ejemplo, prevista para la generación de energía eólica costa afuera y tiene una superestructura 9 que comprende un soporte en forma de columna 91, una góndola 92 y palas 93. El soporte en forma de columna 91 está montado verticalmente sobre el cuerpo flotante 2 y soporta la góndola 92 y las palas 93. La góndola 92 encierra un generador diseñado para generar electricidad mediante la rotación de las palas 93. Las palas 93 son accionadas por el viento. Se puede conectar un panel solar 94 al soporte en forma de columna 91 para formar un sistema de generación de energía híbrido eólico y solar y, de esta manera, incrementar la redundancia del sistema. El sistema de generación de energía eólica es un ejemplo de la superestructura 9 de la  
40 estructura flotante de tipo mástil 1. Se pueden montar otros sistemas o dispositivos, incluyendo dispositivos de observación eólicos, tales como anemoscopios y anemómetros, dispositivos de generación de energía solar, dispositivos de iluminación y dispositivos de radiocomunicación.

45 La parte de columna 23 es un cilindro hueco con un calado D y forma parte de la parte de flotabilidad que da flotabilidad al cuerpo flotante 2. La parte de columna 23 forma un eje del cuerpo flotante 2. En comparación con la primera y segunda partes extendidas 21, 22, la parte de columna 23 tiene un tamaño horizontal o diámetro reducido. La parte de columna 23 alta y delgada con el tamaño horizontal reducido experimenta fuerzas externas reducidas de olas o mareas. La parte de columna 23 puede incluir un depósito de lastre para ajustar el peso del cuerpo flotante 2 poniendo el agua de lastre dentro o fuera del depósito de lastre 2.

50 El cuerpo flotante 2 incluye además una tercera parte extendida 24 que se extiende horizontalmente dispuesta en la parte superior de la parte de columna 23. La tercera parte extendida 24 es por tanto mayor en diámetro que la parte de columna 23. La tercera parte extendida 24 es un cilindro hueco y forma parte de la parte de flotabilidad que da

flotabilidad al cuerpo flotante 2. En olas con alturas normales, la línea de flotación está en la tercera parte extendida 24. La tercera parte extendida 24 es también una base a la que se une el soporte en forma de columna 91 en la superestructura 9. El elemento en forma de columna (soporte 91) con un tamaño horizontal reducido se une a la parte superior de la tercera parte extendida 24. El lado inferior de la tercera parte extendida 24 puede estar diseñado para permitir el acoplamiento de pinzas de una grúa u otros, instalados en un buque de trabajo durante el trabajo de instalación del cuerpo flotante 2.

El lado superior de la tercera parte extendida 24 sirve también como plataforma de trabajo sobre la cual el personal lleva a cabo el trabajo, como la instalación de la superestructura 9 y el mantenimiento del cuerpo flotante 2. Los cables de amarre 25 para el amarre del cuerpo flotante 2 están conectados, por ejemplo a la tercera parte extendida 24, en cuyo caso el personal del lado superior de la tercera parte extendida 24 puede llevar a cabo fácilmente el trabajo de conexión.

Con referencia a las Figuras 2A-2C, se explicará la función de la tercera parte extendida 24. Tal y como se muestra en la Figura 2A, el cuerpo flotante 2 está diseñado de manera que en olas con alturas normales la línea de flotación está situada en la cara circunferencial de la tercera parte extendida 24. También en el agua calma con alturas de las olas más pequeñas que las alturas de las olas normales, la línea de flotación está situada en la cara circunferencial de la tercera parte extendida 24. Tal y como se muestra en la Figura 2B, el cuerpo flotante 2 está diseñado de tal manera que en olas con grandes alturas, la línea de flotación 91 correspondiente a la cresta de la ola está situada en la cara circunferencial del soporte en forma de columna 91, por encima de la tercera parte extendida 24, y la línea de flotación correspondiente a la depresión de la ola está situada en la cara circunferencial de la parte de columna 23, debajo de la tercera parte extendida 24. De este modo, como se muestra en las Figuras 2A y 2B, el área de flotación Sa en olas de altura normal es mayor que el área de flotación Sb en olas de gran altura.

El período de resonancia de los movimientos de oscilación vertical del cuerpo flotante 2 se determina exclusivamente por la estructura del cuerpo flotante 2. Cuando el período de resonancia coincide con el período de las olas, el cuerpo flotante 2 resuena y, por lo tanto, experimenta una gran amplitud de movimientos de oscilación verticales. La Figura 2C muestra las curvas características de la fuerza de excitación de la ola, donde el período de ola T(s) y la fuerza de excitación de la ola F se representan en la abscisa y la ordenada, respectivamente. La fuerza de excitación de la ola F es una fuerza de excitación vertical que actúa a partir de las olas, que se representa como cantidad adimensional. Específicamente, la fuerza de excitación de la ola F está representada por  $F = |F_t| / \rho g \zeta \nabla^{2/3}$ , donde Ft es una fuerza de excitación que actúa a partir de olas con un cierto período t, ρ es la densidad del líquido, g es la aceleración debida a la gravedad, ζ la amplitud de las olas incidentes y ∇ el volumen desplazado. La Figura 2C muestra que las olas con un período T1 o T2 no producen una fuerza de excitación F. Los puntos de la curva característica de la fuerza de excitación de la ola que representa los períodos que no producen ninguna fuerza de excitación de la ola se denominan "puntos sin olas". En general, las olas con alturas normales tienen períodos entre T1 y T2. Las olas con períodos que exceden T2 tienen grandes alturas. Considerando que el cuerpo flotante 2 tiene una curva característica de la fuerza de excitación de la ola representada por una línea continua, T3 es el período de resonancia o período con el que resuena el cuerpo flotante 2.

Para suprimir la resonancia del cuerpo flotante 2, el cuerpo flotante debe tener un período de resonancia lejos de los períodos de la ola. En comparación con las olas de altura normal, las olas de pequeña altura tienen períodos cortos y las olas de gran altura tienen largos períodos. En general, las olas de gran altura se generan con menos frecuencia que las olas de pequeña altura. Considerando esto en su conjunto, para suprimir la resonancia del cuerpo flotante 2 se desea que el cuerpo flotante 2 tenga un período de resonancia T4 en una curva de línea de cadena en la Figura 2C, que es mayor y está más alejado de los períodos T1 a T2 de las olas de altura normal que el período T3 de resonancia.

Se sabe que el período de resonancia es inversamente proporcional al área de flotación y, de esta manera, un área de flotación más pequeña proporciona un período de resonancia más largo. Sin embargo, la reducción del área del flotación en consideración de las olas de gran altura conduce desventajosamente a una mayor amplitud de los movimientos de oscilación vertical en las olas de altura normal (con períodos T1 a T2, como se indica por una curva de línea discontinua en la Figura 2C. Dadas olas de altura normal, es deseable un área de flotación mayor.

Para abordar este problema, la tercera parte extendida 24 se proporciona en la parte superior de la parte de columna 23 para garantizar que la línea de flotación esté situada en la tercera parte extendida 24 en olas de altura normal y sobre el soporte en forma de columna 91 o la parte de columna 23 en olas de gran altura, de manera que el cuerpo flotante 2 tiene una gran área de flotación Sa en olas de altura normal y una pequeña área de flotación Sb en olas de gran altura, como se ve en las Figuras 1, 2A y 2B. Esto da como resultado movimientos de oscilación vertical reducidos en olas de altura normal y resonancia suprimida en olas de gran altura.

La tercera parte extendida 24 tiene un área de flotación Sa correspondiente a, por ejemplo, del 10 al 300 % del área media SaV del cuerpo flotante 2 obtenida mediante la división del volumen desplazado ∇ por el calado D. La tercera parte extendida 24 que tiene un área de flotación Sa en este intervalo es capaz de cumplir con la función descrita anteriormente de manera eficaz. Cuando el cuerpo flotante 2 se considera como una columna con un diámetro

uniforme, el área media  $S_{av}$  (= volumen desplazado  $\nabla$  dividido entre el calado  $D$ ) es el área en sección transversal. Supóngase que el desplazamiento  $\Delta$  es 8500 toneladas, el calado  $D$  50 m y la densidad específica 1. El área media  $S_{av}$  obtenida como área de sección transversal es de 170 m<sup>2</sup>. De este modo, el área de flotación  $S_a$  se debe determinar dentro del intervalo de 17 a 170 m<sup>2</sup>, que cumple con el requisito de que el área de flotación  $S_a$  es mayor que el área de flotación  $S_b$ . La proporción o tamaño real del área de flotación  $S_a$  se determina tomando en consideración el desplazamiento  $\Delta$  del cuerpo flotante 2, el equilibrio entre las áreas de flotación  $S_a$  y  $S_b$  y los factores ambientales (incluyendo variaciones en el período de la ola y amplitud de ola) del área marina en la que se instala el cuerpo flotante.

Como se ilustra en la FIG. 1, la primera parte extendida 21 se proporciona en la parte inferior de la parte de columna 23 para formar una parte de lastre 3. La parte de lastre 3 formada por la primera parte extendida 21 puede ser una parte de lastre fija que aplica un peso fijo al cuerpo flotante 2 o un depósito de lastre capaz de ajustar el peso del cuerpo flotante 2 al tomar o descargar agua de lastre o una combinación de lastre fijo y depósito de lastre.

La segunda parte extendida 22 se proporciona a la parte de columna 23 entre la primera y segunda partes extendidas 21, 24. Como resultado de proporcionar una segunda parte extendida 22 en la parte media de la parte de columna 23 para que se extienda horizontalmente desde la parte de columna 23 y, por tanto, con un diámetro mayor que la parte de columna 23, existe un número de superficies que resisten los movimientos de oscilación vertical de las olas. Esto hace posible proporcionar de manera efectiva puntos sin olas, o puntos que no producen ninguna fuerza de excitación de la ola, con lo que es posible reducir eficazmente los movimientos de oscilación vertical del cuerpo flotante 2.

Tal y como se muestra en la Figura 3A, el cuerpo flotante 2 tiene cinco superficies de resistencia: la superficie inferior 21a (del área  $S_1$ ) y la superficie superior 21b (del área  $S_2$ ) de la primera parte extendida 21, la superficie inferior 22a (del área  $S_3$ ) y la superficie superior 22b (del área  $S_4$ ) de la segunda parte extendida 22 y la superficie inferior 24a (del área  $S_5$ ) de la tercera parte extendida 24. Las superficies inferiores 21a, 22a, 24a sirven como superficies que resisten las fuerzas de excitación ascendentes de las olas, mientras que las superficies superiores 21b, 22b sirven como superficies que resisten las fuerzas de excitación descendentes de las olas.

Tal y como se muestra en la Figura 3A, en general, la fuerza de excitación de la ola  $F$  es mayor a una profundidad menor e inferior a una mayor profundidad. Aquí, las fuerzas de excitación de la ola en las profundidades de la superficie inferior 21a de la primera parte extendida 21, la superficie superior 21b de la misma, la superficie inferior 22a de la segunda parte extendida 22, la superficie superior 22b de la misma y la superficie inferior 24a de la tercera parte extendida 24 están representadas por  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $F_4$ ,  $F_5$ , respectivamente. Con respecto a las superficies inclinadas (superficies superiores 21a, 22b, por ejemplo), las fuerzas de excitación en las profundidades medias se indican por razones de conveniencia.

De este modo, la presión que actúa sobre la superficie inferior 21a de la primera parte extendida 21 es  $S_1 \times F_1$ , la presión que actúa sobre la superficie inferior 22a de la segunda parte extendida 22 es  $S_3 \times F_3$  y la presión que actúa sobre la superficie inferior 24a de la tercera parte extendida 24 es  $S_5 \times F_5$ , mientras que la presión que actúa sobre la superficie superior 21b de la primera parte extendida 21 es  $S_2 \times F_2$  y la presión que actúa sobre la superficie superior 22b de la segunda parte extendida 22 es  $S_4 \times F_4$ . Como resultado de proporcionar la segunda parte extendida 22 además de la primera y tercera partes extendidas 21, 24, el cuerpo flotante 2 tiene un número de superficies receptoras de presión que permiten que las presiones se contrarresten entre sí. Esto da como resultado puntos sin olas  $Z_1$ ,  $Z_2$  o, en otras palabras, períodos de ola que no producen fuerza de excitación de la ola  $F$  (períodos de ola  $T_1$ ,  $T_2$ , por ejemplo), como se muestra en la Figura 3B. En la Figura 3B que muestra una curva característica de la fuerza de excitación de la ola, el período de la ola y la fuerza de excitación de la ola se representan en la abscisa y la ordenada, respectivamente, como en la Figura 2C.

Los tamaños (capacidades o volúmenes internos) de la primera y segunda partes extendidas 21, 22 se determinan para cumplir con el requerimiento  $GM = l w / (\Delta x \tan \theta)$  (en donde  $GM$  es la altura metacéntrica,  $l w$  el momento de inversión del viento,  $\Delta$  el desplazamiento y  $\theta$  el ángulo máximo admisible de inclinación). La altura metacéntrica  $GM$  se obtiene mediante  $GM = KB + BM - KG$ , en donde  $KB$  es la altura del centro de flotabilidad (véase la Figura 1),  $BM$  el radio metacéntrico y  $KG$  la altura del centro de gravedad (véase la Figura 1). El radio metacéntrico  $BM$  se obtiene mediante  $BM = I x / \nabla$  (donde  $\nabla$  es el volumen desplazado) y  $I x$  es el momento de inercia del área de flotación alrededor del eje central del cuerpo flotante. En el cuerpo flotante 2 mostrado en la Figura 1, el radio metacéntrico  $BM$  es aproximadamente cero, lo que permite la aproximación  $GM = KB - KG$ .

La altura metacéntrica  $GM$  es uno de los parámetros que indican la estabilidad. Con una  $GM$  mayor es menos probable que la estructura flotante de tipo mástil 1 se incline y vuelve más rápidamente a la posición vertical y con una  $GM$  menor es más probable que se incline y vuelva más lentamente a la posición vertical. El momento de enderezamiento  $l r$  en el ángulo de inclinación  $\theta$  máximo admisible se obtiene por  $l r = GM x (\Delta x \tan \theta)$ . Equilibrando este momento de enderezamiento  $l r$  con el momento de inversión del viento  $l w$  en el área marina en la que se instala la estructura flotante de tipo mástil 1, se puede mantener la estabilidad de la estructura flotante de tipo mástil 1. En otras palabras, es deseable satisfacer la ecuación  $l w = l r = GM x (\Delta x \tan \theta)$ , que se reconfigura a  $GM = l w / (\Delta x \tan \theta)$ . Esto

implica que una GM mayor proporciona resistencia contra un mayor momento de inversión del viento  $I_w$  y, de esta manera, asegura una mayor estabilidad de la estructura flotante de tipo mástil 1.

Puesto que la altura metacéntrica GM es aproximada por  $GM = KB - KG$ , es deseable incrementar la altura KB del centro de flotación y disminuir la altura KG del centro de gravedad. Sin embargo, una altura metacéntrica GM demasiado elevada conduce a cabeceo y balanceo con un corto período y, por tanto, rápidos movimientos de oscilación. Además, con la segunda parte extendida 22 de gran volumen situada más cerca de la superficie del agua, la estructura flotante de tipo mástil es más susceptible a la fuerza de excitación de la ola. De este modo, teniendo en cuenta que es deseable una mayor altura KB del centro de flotación y menor altura KG del centro de gravedad para la estabilidad, la altura KB del centro de flotación y la altura KG del centro de gravedad se determinan para reducir el desplazamiento  $\Delta$  del cuerpo flotante 2 mientras se garantiza la estabilidad superior o igual a la de la estructura convencional.

Específicamente, se pueden obtener las alturas óptimas KB, KG del centro de flotación y del centro de gravedad para reducir los movimientos de oscilación, por ejemplo, realizando una simulación en la estructura flotante de tipo mástil 1 deseada en la que la segunda parte extendida 22 se mueve gradualmente de forma ascendente desde el nivel próximo a la primera parte extendida 21. A través de dicha simulación, la segunda parte extendida 22 está dispuesta aproximadamente en la parte media del calado D para incluir el centro de flotación KB o el centro de gravedad KG, por ejemplo.

La segunda parte extendida 22 tiene un volumen interior correspondiente a del 20 al 80 % del volumen desplazado V del cuerpo flotante 2, de manera deseable de un cuarto a tres cuartos de la misma. La segunda parte extendida 22 de tal tamaño (capacidad o volumen interior) da efectivamente flotabilidad al cuerpo flotante 2. La segunda parte extendida 2 se forma con una geometría que no interfiere con los cables de amarre 25 para evitar que la segunda parte extendida 22 desgaste y/o corte los cables de amarre 25. El tamaño horizontal (diámetro o radio si la segunda parte extendida tiene forma de columna) y la altura (tamaño vertical) de la segunda parte extendida 22 puede determinarse después de determinar el volumen y la posición de la segunda parte extendida 22 para satisfacer los requisitos anteriormente mencionados.

Al lado de la segunda parte extendida 22 se fijan guías de cable 26 para guiar los cables de amarre 25 de cuerpo flotante 2. Cada guía de cable 26 comprende, por ejemplo, un par de brazos unidos al lado de la segunda parte extendida 22 y un rodillo soportado de manera giratoria por los brazos. El cable de amarre 25 pasa entre el rodillo y el lado de la segunda parte extendida 22. Las guías de cable 26 están fijadas al lado de la segunda parte extendida 22 aproximadamente en la parte media del calado D, por ejemplo. En general, las corrientes marinas y las corrientes de mareas actúan sobre el cuerpo flotante 2 aproximadamente a la mitad del calado D. De esta manera, las guías de cable 26 dispuestas aproximadamente en el punto de acción permiten que los cables de amarre 25 soporten eficazmente el cuerpo flotante 2, minimizando la influencia de las corrientes marinas y de las corrientes de mareas. Las guías de cable 26 de la figura se presentan solo a modo de ejemplo; se pueden aplicar guías de cable de diferente configuración.

A continuación, se describirán otras realizaciones de la estructura flotante de tipo mástil 1 de acuerdo con la presente invención. La Figura 4A muestra una segunda realización y la Figura 4B una tercera realización de la estructura flotante de tipo mástil de acuerdo con la presente invención. Las Figuras 5A a 5C son diagramas para explicar un cuerpo de resistencia. Específicamente, la Figura 5A es una vista superior de un cuerpo de resistencia mostrado en la Figura 4B, la figura 5B es una vista en sección transversal de una variante del cuerpo de resistencia y la Figura 5C es una vista superior de la variante. En cada dibujo, a los componentes similares a los de la primera realización se les asigna los mismos caracteres de referencia para omitir la descripción repetitiva de esos componentes.

Una estructura flotante de tipo mástil 1 mostrada en la Figura 4A difiere de la primera realización en que se omite la tercera parte extendida 24. Incluso sin la tercera parte extendida 24, el cuerpo flotante 2 equipado con la primera y segunda partes extendidas 21, 22 puede mostrar al menos el efecto de la segunda parte extendida 22. Específicamente, la estructura flotante de tipo mástil 1 que comprende este tipo de cuerpo flotante tiene estabilidad suficiente y experimenta movimientos de oscilación reducidos en comparación con la estructura flotante convencional y se posibilita que tenga un calado reducido.

Una tercera realización de estructura flotante de tipo mástil 1 mostrada en la Figura 4B difiere de la primera realización en que se proporciona un cuerpo de resistencia 27 para rodear la circunferencia de la primera parte extendida 21 para ajustar la respuesta dinámica del cuerpo flotante 2. Como se observa en las Figuras 4B y 5A, el cuerpo de resistencia 27 comprende por ejemplo una pluralidad de aletas 271 que se extienden radialmente desde el lado de la primera parte extendida 21, una quilla de balance anular 272 que se proyecta horizontalmente dispuesta en la parte inferior de la primera parte extendida 21 y una protección anular 273 provista para evitar que los cables de amarre 25 de cuerpo flotante 2 queden atrapados dentro.

5 Las aletas 271 pueden suprimir la guiñada (rotación) del cuerpo flotante 2. Cada aleta 271 comprende, por ejemplo, un cuerpo de aleta 271a unido al lado de la primera parte extendida 21 con su cara vertical y un reborde exterior 271b unido para rodear el cuerpo de aleta 271a. El reborde formado de barras para rodear el cuerpo de aleta 271 proporciona un rebaje a cada lado del cuerpo de aleta 271a, permitiendo de este modo que el fluido permanezca en el rebaje. Esto aumenta eficazmente la resistencia del cuerpo flotante 2 a la guiñada (rotación). Además, la quilla de balance 272 proporciona superficies de resistencia para suprimir los movimientos de oscilación vertical del cuerpo flotante 2. Sin embargo, la quilla de balance 272 puede omitirse según las circunstancias. El protector 273 dispuesto en la parte superior de las aletas para conectar los extremos exteriores de las aletas impide que los cables de amarre 25 se introduzcan entre las aletas 271.

10 La variante del cuerpo de resistencia 27 mostrada en las Figuras 5B y 5C consiste solamente en una quilla de balance 272. La quilla de balance 272 o la variante de cuerpo de resistencia es una placa conformada para tener una superficie cónica que se ensancha desde la parte inferior de la primera parte extendida 21 de forma descendente. La quilla de balance 272 con la superficie cónica proporciona un rebaje en el interior, que permite que el fluido permanezca, incrementando así de manera efectiva la resistencia del cuerpo flotante 2 a los movimientos de oscilación vertical.

15 La presente invención no se limita a las realizaciones descritas, que pueden verse modificadas de diversas maneras sin apartarse del alcance de la invención que se define por las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, la geometría de la primera, segunda y tercera partes extendidas 21, 22, 24 se pueden modificar según sea apropiado, siempre que se cumplan los requisitos antes mencionados.

## 20 Explicación de los signos de referencia

- 1 Estructura flotante de tipo mástil
- 2 Cuerpo flotante
- 3 Parte de lastre
- 21 Primera parte extendida
- 22 Segunda parte extendida
- 23 Parte de columna
- 24 Tercera parte extendida
- 25 Cable de amarre
- 26 Guía de cable
- 27 Cuerpo de resistencia
- 91 Soporte en forma de columna (elemento en forma de columna)
- 273 Protección



**REIVINDICACIONES**

1. Una estructura flotante de tipo mástil (1) que comprende un cuerpo flotante (2) alto y delgado y una porción de lastre (3) proporcionada al cuerpo flotante (2), de manera que el peso de la parte de lastre (3) permite que el cuerpo flotante (2) flote en posición vertical, en donde
- 5 el cuerpo flotante (2) incluye una primera parte extendida (21) que se extiende horizontalmente dispuesta en la parte inferior, una segunda parte extendida (22) que se extiende horizontalmente dispuesta en la parte media, una parte de columna cilíndrica hueca (23) que conecta la primera y segunda partes extendidas (21, 22) y que se extiende hasta la línea de flotación, en donde la primera parte extendida (21) forma la parte de lastre (3), la segunda parte extendida (22) constituye una parte de flotabilidad que da flotabilidad al cuerpo flotante (2),
- 10 caracterizada por que dicho cuerpo flotante (2) incluye además una tercera parte extendida (24) cilíndrica hueca que se extiende horizontalmente y dispuesta fijamente en la parte superior de la parte de columna (23), y por que
- 15 la primera, segunda y tercera partes extendidas (21, 22, 24) están configuradas de manera que las presiones que actúan sobre las superficies superior e inferior de la primera porción extendida (21), las presiones que actúan sobre las superficies superior e inferior de la segunda parte extendida (22) y una presión que actúa sobre una superficie inferior de la tercera parte extendida (24) se contrarrestan entre sí con un periodo de ola específico.
2. La estructura flotante de tipo mástil (1) según la reivindicación 1, en la que la tercera parte extendida (24) tiene un área de flotación correspondiente a del 10 al 300 % del área media del cuerpo flotante (2) obtenida dividiendo el volumen desplazado por el calado del cuerpo flotante (2).
- 20 3. La estructura flotante de tipo mástil (1) según la reivindicación 1 o 2, en la que un elemento en forma de columna (91) con un tamaño horizontal reducido se une a la parte superior de la tercera parte extendida (24).
4. La estructura flotante de tipo mástil (1) según la reivindicación 1 o 2, en la que un cable de amarre (25) para amarrar el cuerpo flotante (2) está conectado a la tercera parte extendida (24).
- 25 5. La estructura flotante de tipo mástil (1) según la reivindicación 1, en la que la segunda parte extendida (22) tiene un volumen interior que corresponde a de un cuarto a tres cuartos del volumen desplazado del cuerpo flotante (2).
6. La estructura flotante de tipo mástil (1) según la reivindicación 4 o 5, en la que una guía de cable (26) se proporciona al lado de la segunda parte extendida (22) para guiar el cable de amarre (25) del cuerpo flotante (2).
- 30 7. La estructura flotante de tipo mástil (1) según la reivindicación 1, en la que la primera y segunda partes extendidas (21, 22) tienen tamaños determinados para cumplir con el requisito  $GM = lw/(\Delta \times \tan\theta)$  (donde GM es la altura metacéntrica, lw el momento de inversión del viento,  $\Delta$  el desplazamiento,  $\theta$  el ángulo máximo admisible de inclinación).
8. La estructura flotante de tipo mástil (1) según la reivindicación 1, en la que un cuerpo de resistencia (27) se proporciona para rodear la circunferencia de la primera parte extendida (21) para ajustar la respuesta dinámica del cuerpo flotante (2).
- 35 9. La estructura flotante de tipo mástil (1) según la reivindicación 7 u 8, en la que el cuerpo de resistencia (27) incluye una protección anular (273) para evitar que el cable de amarre (25) del cuerpo flotante quede atrapado dentro.



FIG. 2A

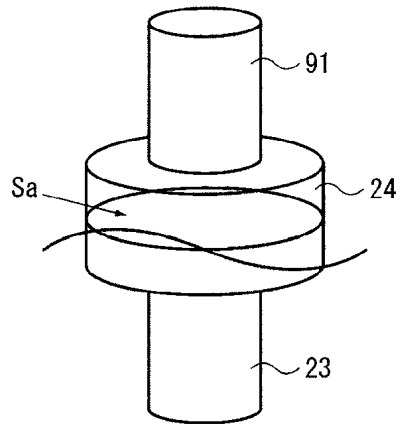


FIG. 2B

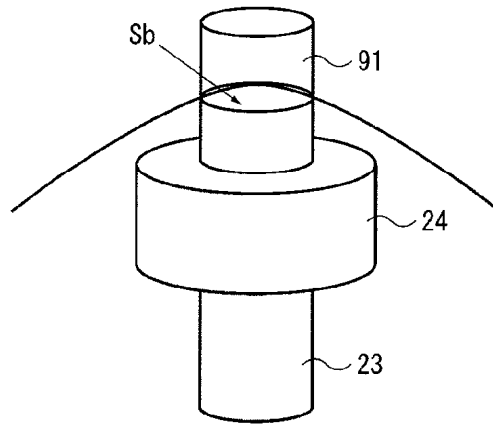


FIG. 2C

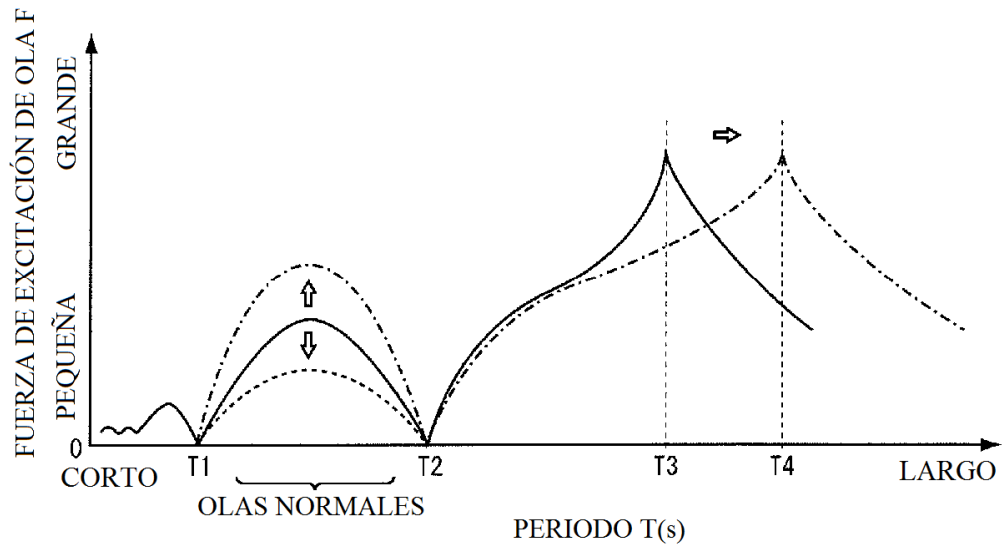


FIG. 3A

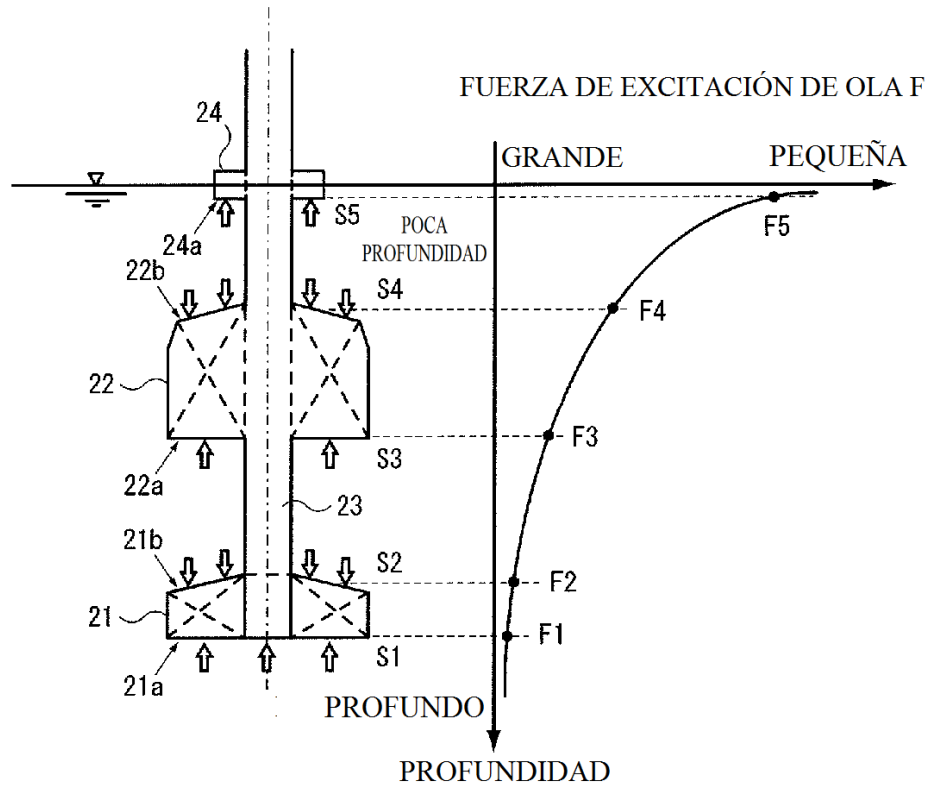


FIG. 3B

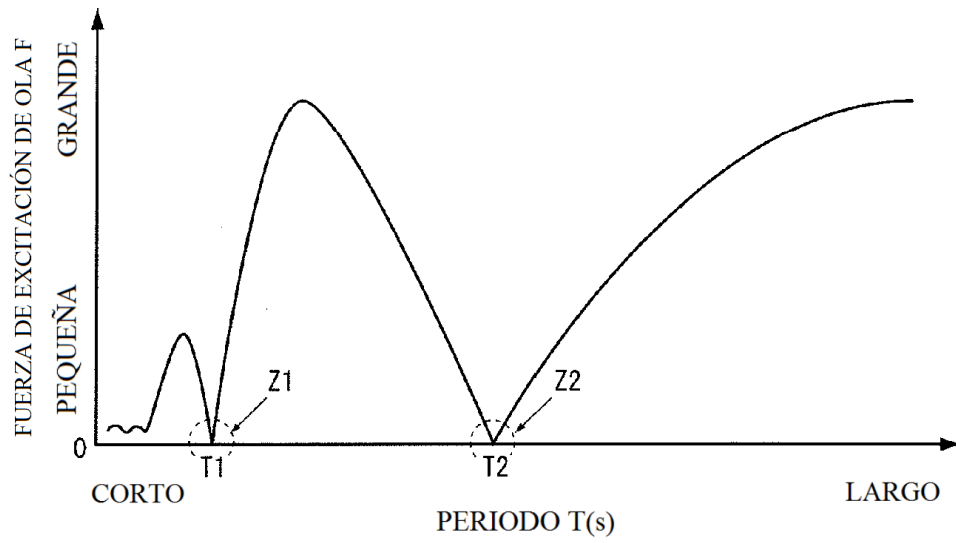


FIG. 4A

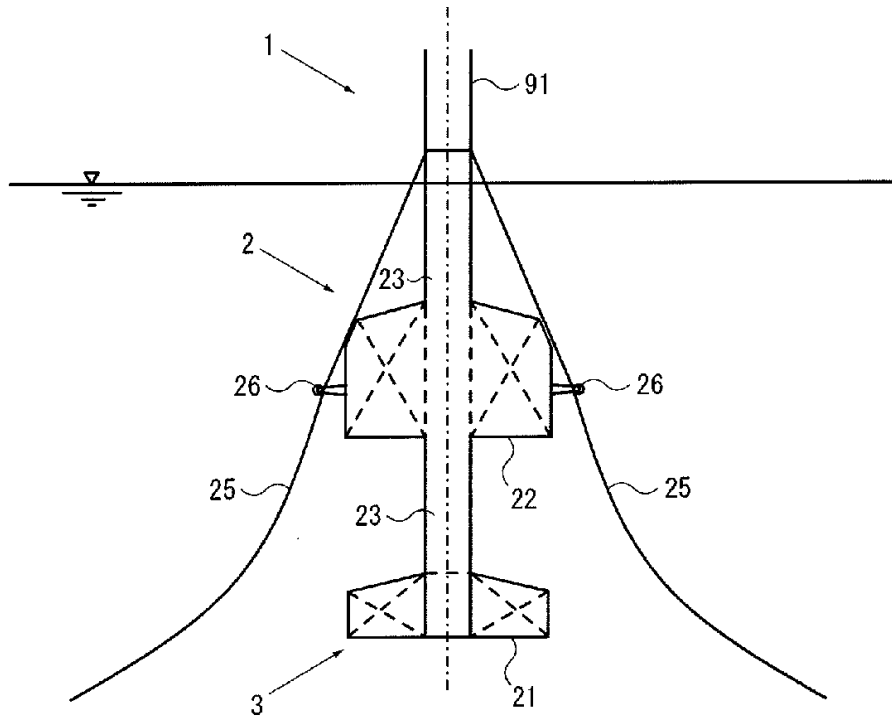




FIG. 4B

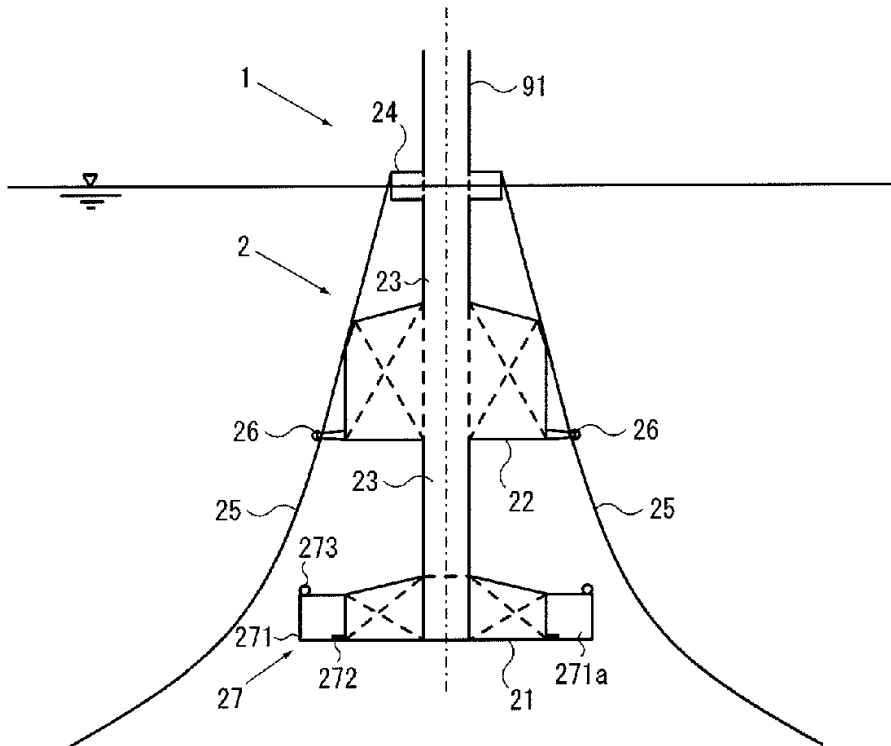


FIG. 5A

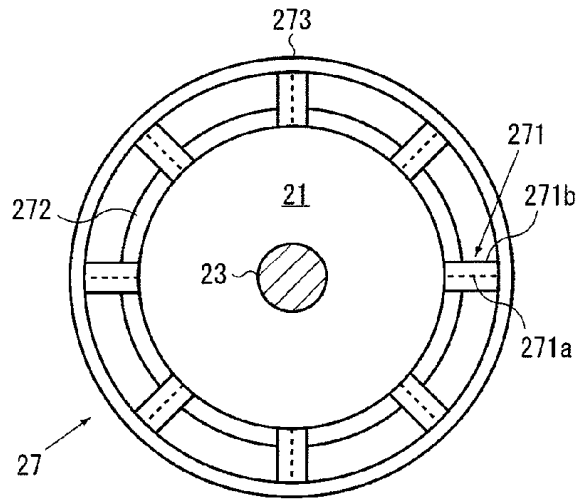


FIG. 5B

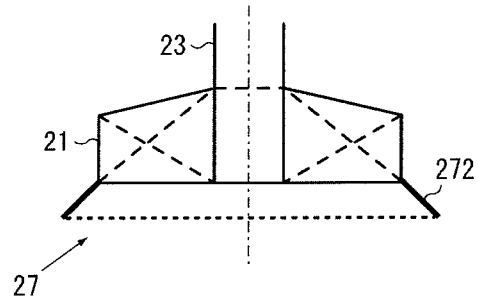


FIG. 5C

