

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 754 819**

51 Int. Cl.:

**F03B 13/14** (2006.01)

**F03B 13/18** (2006.01)

**E02B 9/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.11.2009 PCT/US2009/006184**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.05.2010 WO10059209**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2009 E 09827864 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2019 EP 2347119**

54 Título: **Flotador para convertidor de energía undimotriz (WEC)**

30 Prioridad:

**21.11.2008 US 199881 P**

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

**20.04.2020**

73 Titular/es:

**OCEAN POWER TECHNOLOGIES, INC. (100.0%)  
28 Engelhard Drive, Suite B  
Monroe Township, NJ 08831, US**

72 Inventor/es:

**GERBER, JAMES, S.;  
PHELAN, CHRISTOPHER, T.;  
QIU, WEI y  
SPENCER, DONALD, SMITH**

74 Agente/Representante:

**TOMAS GIL, Tesifonte Enrique**

ES 2 754 819 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

Flotador para convertidor de energía undimotriz (WEC)

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[0001] Esta invención se refiere a un aparato para convertir la energía presente en las olas superficiales de cuerpos de agua en energía eléctrica útil y, en particular, al diseño de flotadores (o carcasas) para su uso en convertidores de energía undimotriz (WEC) para mejorar la eficiencia de generación de energía y la capacidad de supervivencia de los WEC.

[0002] Se conocen varios sistemas de conversión de energía undimotriz (WEC). Por ejemplo, se hace referencia a la patente de EE. UU. 6,921,904 titulada "Wave Energy Converter Utilizing Pressure Difference", a la patente de EE. UU. 6,617,705 titulada "Protector Arrangement For Natural Energy Power Generation Systems" y a la patente de EE. UU. 7,141,888 titulada "Antirrotational Structures For Wave Energy Converters".

[0003] Los sistemas de WEC conocidos generalmente incluyen un "flotador" (o "carcasa") y un "espeque" (o "eje" o "columna" o "pistón") que están diseñados para moverse uno con respecto al otro para convertir la fuerza de las olas en energía mecánica. En estos sistemas, el flotador generalmente se representa o se hace referencia a él como el miembro móvil, y al espeque como miembro no móvil o conectado a tierra mecánicamente. Sin embargo, puede darse lo contrario. Alternativamente, el espeque y el flotador pueden moverse uno con respecto al otro.

[0004] Como se muestra en las figuras 1 y 1A, un WEC generalmente incluye un flotador 10 (también denominado carcasa) y un espeque 20 (también denominado eje o columna), que están destinados a moverse uno con respecto al otro en respuesta a las olas, y un dispositivo de toma de fuerza (PTO) 30 acoplado entre el flotador y el espeque para convertir su movimiento relativo en una forma útil de energía. El dispositivo de PTO puede ser cualquier dispositivo capaz de convertir el movimiento relativo entre el flotador y el espeque en energía eléctrica o energía mecánica (por ejemplo, para realizar algún otro tipo de trabajo útil, como desalinizar agua de mar).

[0005] En general, para obtener el sistema más eficiente de energía, es deseable que el flotador 10 del WEC se diseñe de manera que el volumen desplazado del flotador se ubique preferentemente cerca de la línea de flotación del flotador. La línea de flotación neutral o el plano del agua de un flotador, representada por la línea discontinua 300, puede definirse como el "nivel del agua en calma" del flotador en ausencia de acción por parte de la PTO. El plano de la superficie del agua 301 está destinado a mostrar el nivel instantáneo del agua. Por ejemplo, la figura 1A muestra que la superficie superior 10a y la superficie inferior 10b del flotador 10 se extienden en una dirección horizontal, paralela entre sí, y ambas superficies tienen esencialmente el mismo diámetro y área superficial. Esta estructura de fondo generalmente plana del flotador proporciona una buena eficiencia de generación de energía, ya que la fuerza hidrodinámica inducida por las olas (que puede ser aproximada como el cambio en la fuerza de flotación) es lo que permite la generación de energía. El cambio en la fuerza de flotación sobre un objeto se define como  $\rho g \Delta V$ , donde  $\rho$  es la densidad del agua,  $g$  es la aceleración debida a la gravedad, y  $\Delta V$  es el cambio en el volumen desplazado; donde el volumen desplazado de un cuerpo se define como, y se refiere a, el volumen de la parte de dicho cuerpo que está por debajo de la superficie instantánea del agua 301. Para pequeños desplazamientos de la superficie del agua 301 donde la superficie del agua se desplaza una distancia  $h$  de la línea de flotación, el cambio en el volumen desplazado  $\Delta V$  es  $hA$ , donde  $A$  es el área de la línea de flotación.

[0006] Un problema con los flotadores que se muestran en las figuras 1 y 1A es que su superficie inferior plana ("aplanada") está sujeta a "eventos de golpes de olas" que también pueden denominarse "golpes de agua". Por ejemplo, si el fondo del flotador se eleva por encima de la superficie del agua debido a grandes olas, o por cualquier otra causa, cuando el flotador caiga y golpee la superficie del agua el fondo plano se verá sometido a grandes fuerzas de impacto que amenazan la supervivencia del flotador

[0007] Además, el flotador puede verse sometido a momentos de flexión peligrosos. Por ejemplo, si una gran fuerza (debido al impacto del agua) actúa en el fondo del flotador cerca del borde exterior del flotador, el brazo de palanca efectivo (hasta el punto central del flotador) será el radio del flotador. Una gran fuerza de impacto en el fondo del flotador, que actúa con el radio de flotación completo como un brazo de palanca, puede conducir a un momento de flexión peligroso (fuerza por distancia) en el mecanismo de conexión del flotador-espeque.

[0008] Por lo tanto, para aumentar la capacidad de supervivencia del flotador y mantenerlo a salvo de los golpes de las olas, no es deseable que el flotador presente una gran área de superficie que sea sustancialmente plana o sustancialmente horizontal a la superficie del agua.

[0009] Con referencia a la figura 2, se muestra un flotador 100 que tiene un lado inferior 100b cuya sección transversal tiene forma de triángulo o cono truncado invertido. Una línea 300 indica la línea de flotación del flotador y una línea 301 representa la superficie de una ola. En respuesta a las olas, el flotador 100 se mueve hacia arriba y hacia abajo en relación con un espeque 20 que puede terminar en su extremo inferior sumergido con una placa de arfada 22. [Aunque no se muestra explícitamente en todas las figuras, un espeque 20 utilizado para poner en

práctica la invención generalmente puede estar anclado, como se muestra en la Fig. 1, o conectado a una placa de arfada como se muestra en la Fig. 2. Además, en los WEC que incorporan la invención, una PTO está acoplada entre un flotador y un espeque como se muestra en la Fig. 1, aunque no se muestra en las figuras restantes.] El flotador 100 está diseñado para reducir el problema de los "golpes de las olas". Sin embargo, la única parte en

5

forma de cono invertido truncado del flotador 100 no está optimizada con respecto al requisito para la producción de la máxima potencia. Esto se demuestra en la Fig. 2 al mostrar que el área efectiva del flotador capaz de responder a las olas ha disminuido de  $D_a$  a  $D_b$ . Es decir, el área efectiva de la parte sumergida del flotador dependerá del área superficial en 101 b. Para el cono truncado, el área de superficie sobre la que actuará la ola

10

de superficie 301 (sin tener en cuenta la abertura central para el eje) sería aproximadamente  $\pi \left(\frac{D_b}{2}\right)^2$ , donde  $D_b$  es el diámetro de la parte inferior por debajo de la línea de flotación y a lo largo del frente de la ola. Para el toroide de fondo plano, el área de superficie en 101 a sería aproximadamente  $\pi \left(\frac{D_a}{2}\right)^2$ , donde  $D_a$  es el diámetro en y por encima de la línea de flotación. Por lo tanto, aunque el flotador en forma de cono truncado, que se muestra en la figura 2, funciona para disminuir las cargas asociadas con el impacto, la parte inferior del cono truncado invertido tiene la desventaja de proporcionar una respuesta de menor fuerza de flotación para olas pequeñas y solo una protección limitada contra el impacto de las olas.

15

[0010] US2007/068153 A1 describe un ejemplo de un convertidor de energía undimotriz (WEC) destinado a ser colocado en un cuerpo de agua sometido a un movimiento de olas de amplitud y frecuencia variable, donde dicho WEC incluye un primer cuerpo que tiende a moverse generalmente en fase con las olas y fuera de fase con respecto a un segundo cuerpo; y en el que dicho primer cuerpo tiene una superficie superior que se extiende radialmente alrededor de una abertura central a lo largo de un plano horizontal generalmente paralelo a la línea de flotación. US 5188550 describe un dispositivo para reducir la evaporación de un cuerpo de fluido, que comprende una pluralidad de flotadores que tienen una parte inferior cónica.

20

25

[0011] Por lo tanto, existe el problema de la producción de un flotador con mayor capacidad de supervivencia y una capacidad de generación de energía satisfactoria. Este problema se aborda de acuerdo con flotadores que incorporan la invención.

### RESUMEN DE LA INVENCION

30

[0012] La presente invención se refiere al diseño de una estructura flotante para un WEC que mejora la protección contra los golpes de las olas y los momentos de flexión excesivos y, al mismo tiempo, que mantiene la capacidad beneficiosa de generación de energía de un flotador "plano".

35

[0013] El perímetro exterior de la parte inferior de un flotador que incorpora la invención es generalmente cónico y está conformado de tal forma que tiene una sección transversal que puede representarse como poseedora de una o más secciones triangulares. La parte inferior del flotador presenta así una o más estructuras triangulares, o "cuñas", de modo que la parte inferior del flotador "corta" a través de la superficie del agua en lugar de caer plana sobre la superficie del agua. Además, esta estructura proporciona flexibilidad de diseño para permitir una generación de energía comparable a un flotador plano.

40

[0014] Un flotador que incorpora la invención puede tener una configuración generalmente toroidal (por ejemplo, en forma de rosquilla) e incluye, durante el uso, una sección por debajo de la línea de flotación que se extiende hasta la base de la sección transversal triangular, donde la sección tiene un espesor  $H_1$ , en donde  $H_1$  es suficientemente grande como para que una proporción sustancial de olas lleve a un desplazamiento vertical relativo entre la superficie instantánea de las olas y la línea de flotación de menos de  $H_1$ , por lo que se mantiene la capacidad de producción de energía del WEC, y la sección transversal triangular gira 360 grados alrededor de un eje vertical central que produce un flotador toroidal que tiene una parte inferior toroidal en forma de cuña para cortar a través del agua subyacente y reducir así las tensiones impartidas a dicho primer cuerpo cuando se somete a los golpes del agua.

50

[0015] Se pueden formar orificios de ventilación que se extiendan verticalmente a través del flotador en puntos generalmente seleccionados cerca de la base de secciones triangulares adyacentes para permitir que los fluidos (por ejemplo, el aire) atrapados debajo del flotador pasen a través del flotador y, por lo tanto, se reduzca el desarrollo de zonas de alta presión que puedan provocar grandes cargas en el flotador.

55

[0016] Para fines especiales, la parte superior del flotador también puede ser troncocónica.

### BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

60

[0017] En las figuras adjuntas, que no están dibujadas a escala, los caracteres de referencia similares denotan componentes similares; y

la figura 1 es un diagrama en sección transversal altamente simplificado de un WEC de la técnica anterior;  
 la figura 1A es un diagrama en sección transversal simplificado de un flotador de la técnica anterior diseñado para la producción de potencia máxima;  
 la figura 2 es un diagrama en sección transversal simplificado de un flotador de la técnica anterior con una parte inferior en forma de cono truncado invertido que proporciona una capacidad de supervivencia limitada con una capacidad de generación de energía disminuida;  
 la figura 3 es un diagrama en sección transversal simplificado de un flotador con una parte inferior en forma de cuña que incorpora la invención.  
 las figuras 4A y 4B son diagramas isométricos que muestran dos vistas diferentes de un flotador toroidal que incorpora la invención correspondiente a un flotador del tipo mostrado en la Fig. 3;  
 la figura 5A es un diagrama en sección transversal de un flotador que incorpora la invención con un espacio de ventilación.  
 la figura 5B es un diagrama en sección transversal de un flotador de "doble cresta" que incorpora la invención con orificios de ventilación y un espacio de ventilación;  
 la figura 6 incluye: (a) un diagrama de sección transversal de una sección A que, cuando se gira 360 grados alrededor de un eje vertical central, recorre la forma de un flotador toroidal con forma aplanada de acuerdo con la técnica anterior; (b) un diagrama en sección transversal de una sección B que, cuando se gira 360 grados alrededor de un eje vertical central, recorre la forma de un flotador toroidal en forma de cono truncado de acuerdo con la técnica anterior; y (c) un diagrama en sección transversal de una sección C que, cuando gira 360 grados alrededor de un eje vertical central, recorre la forma de un flotador toroidal en forma de cuña de acuerdo con la invención;  
 la figura 7 es un diagrama en sección transversal de otro flotador con extensiones en forma de cuña por encima de la superficie superior y por debajo de la parte inferior del flotador de acuerdo con un aspecto de la invención;  
 y  
 las figuras 8A y 8B son diagramas en sección transversal respectivos que ilustran la aplicación de fuerzas a un flotador de la técnica anterior y a un flotador que incorpora la invención, y el efecto de estas fuerzas en los flotadores.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

[0018] Una solución que incorpora la invención, destinada a reducir el impacto de los golpes del agua a la vez que se mantiene la producción de energía, incluye un flotador para un WEC, donde la parte inferior del flotador, destinada a recibir los impactos de las olas, tiene forma de cuña (por ejemplo, es triangular en sección transversal con el vértice del triángulo orientado hacia afuera desde la superficie superior del flotador).

[0019] Las figuras 3, 4A y 4B muestran un flotador 110 que incorpora la invención que tiene una abertura central para que el flotador pueda moverse hacia arriba y hacia abajo en relación con un eje central o espeque 20. Las figuras 4A y 4B son vistas isométricas diferentes de la parte superior e inferior del flotador, cuya sección transversal, como se muestra en la Fig. 3, puede representarse con dos secciones triangulares/en forma de cuña, 120a, 120b. El flotador 110 se extiende radial y simétricamente alrededor del eje 20 que define un eje central de simetría del WEC. El flotador 110 tiene: (a) una sección superior que tiene una configuración toroidal, de altura H1, con el toroide que se extiende a lo largo de la dirección horizontal (x) (la superficie del agua "en calma"); y (b) una sección inferior cuya sección transversal incluye una sección triangular (representada por 120a, 120b), que se extiende desde la parte inferior de la sección superior del flotador. La altitud (altura) de las secciones triangulares se muestra como H2, en la figura 3. La sección triangular toroidal, o secciones, si hay más de una, se encuentra, generalmente, por debajo de la línea de flotación 300.

[0020] Las secciones de forma triangular en la parte inferior del flotador funcionan para romper (y redistribuir) las fuerzas de los golpes de las olas aplicadas al flotador cuando se mueven hacia arriba y hacia abajo en respuesta a las olas. El borde triangular o "cuña" de la parte inferior del flotador tiende a cortar el agua (y la superficie del agua), lo que reduce la resistencia a la entrada del fondo del flotador en el agua. Esta ventaja se obtiene sin reducir significativamente la capacidad de generación de energía del flotador.

[0021] Se debe tener en cuenta que la parte inferior del flotador hecho de acuerdo con la invención también reduce el problema del momento de flexión mencionado anteriormente. A modo de ejemplo, un flotador toroidal 110, que se muestra en la figura 3, puede tener un diámetro (D), que puede variar de menos de 5 metros a más de 15 metros, una primera sección por debajo de la línea de flotación 300 que se extiende hasta la base de sección triangular 120a de altura, H1, que puede variar de menos de 1/2 metro a más de 1 metro y una sección transversal triangular toroidal (120a, 120b) cuya altitud, altura o profundidad (H2) puede variar de menos de 1/2 metro a más de 2 metros. Estas dimensiones son solo para fines ilustrativos y en realidad pueden reducirse o aumentarse sustancialmente.

[0022] Siempre que la altura H1 sea lo suficientemente grande, la capacidad de generación de energía del flotador no se reduce significativamente porque, en las proximidades de la línea de flotación 300, el flotador es un cilindro circular recto con una altura de al menos H1 por debajo de la línea de flotación. Por lo tanto, si la distancia h entre la superficie del agua (ola) 301 y la línea de flotación 300 es menor que H1, el volumen desplazado del flotador es

A\*h, donde A es el área de la línea de flotación del flotador. Por el contrario, al usar un flotador en forma de cono truncado del tipo que se muestra en la Fig. 2, el volumen desplazado en esta situación sería menor y, por lo tanto, la fuerza de flotación y la capacidad de generación de energía serían menores.

5 [0023] Con referencia a la figura 3 (que es un diagrama en sección transversal simplificado de las figuras 4A y 4B), se muestra que el "borde cortante" 121 de la estructura triangular forma un ángulo  $\alpha$  con respecto a la base y que el "borde cortante" 122 forma un ángulo  $\beta$  con respecto a la base, donde los dos bordes de corte se juntan en un punto 123 que define el vértice del triángulo. A modo de ejemplo, hay que tener en cuenta que el ángulo  $\alpha$  (véase la Figura 3) puede variar de un valor de  $90^\circ$  a un valor muy pequeño (con el ángulo  $\beta$  variando según sea necesario para cumplir las restricciones geométricas correspondientes). Si el ángulo  $\alpha$  se hace muy pequeño (es decir, de unos pocos grados), los beneficios de la parte inferior de la cuña para aumentar la capacidad de supervivencia se reducen, ya que el efecto de la cuña se vuelve insignificante. Si el ángulo  $\alpha$  se incrementa sustancialmente (de modo que se aproxima a  $90^\circ$ ), se agrega una cantidad sustancial de material a la estructura, aumentando el peso del flotador sin que haya un beneficio proporcional para el aumento de la producción de energía. Además, la superficie inferior interna de la cuña aumenta de tamaño, lo que da como resultado una superficie inferior indeseablemente grande que es propensa a cargas de impacto.

[0024] Se pueden ilustrar y resumir varios aspectos de la invención mencionados anteriormente con respecto a la Fig. 6, que ilustra que: (a) el giro de la sección A mostrada en la Fig. 6 en  $360^\circ$  alrededor de un eje vertical central produce un flotador toroidal de fondo plano (aplanado); (b) el giro de la sección B mostrada en la Fig. 6 en  $360^\circ$  alrededor de un eje vertical central produce un flotador toroidal truncado en forma de cono; y (c) el giro de la sección C mostrada en la Fig. 6 en  $360^\circ$  alrededor de un eje vertical central produce un flotador toroidal que tiene un lado inferior "en cuña", de acuerdo con la invención.

25 [0025] Para facilitar la comparación, las tres secciones flotantes A, B y C que se muestran en la Fig. 6 han sido dibujadas de modo que tienen volúmenes desplazados iguales de  $89,6 \text{ m}^3$ . Para un movimiento vertical muy pequeño (por ejemplo, de menos de  $0,25 \text{ m}$ ) de una ola en relación con el área de la línea de flotación de los flotadores, el cambio en el volumen desplazado es el mismo para los tres flotadores. Sin embargo, para un movimiento vertical más grande de una ola en relación con el área de la línea de flotación de los flotadores, el cambio en el volumen desplazado es diferente. Para dar un ejemplo específico, si el movimiento vertical de la superficie de la ola en relación con el área del flotador es de  $1 \text{ m}$  (de modo que la superficie del agua está  $1 \text{ m}$  por debajo del área de la línea de flotación), el cambio en el volumen desplazado para los tres flotadores es el siguiente: el cambio en el volumen desplazado para el flotador "aplanado" es de  $89,6 \text{ m}^3$ , el cambio en el volumen desplazado para el flotador en forma de "cono" es de  $70,8 \text{ m}^3$ , y el cambio en el volumen desplazado para la "cuña toroidal" es de  $78,6 \text{ m}^3$ . Este cambio en el volumen desplazado está directamente relacionado con la respuesta de la fuerza. El flotador "aplanado" tiene la mayor respuesta de fuerza para desplazamientos de esta altura. El flotador en forma de "cuña toroidal" tiene una mejor respuesta de fuerza que el flotador en forma de "cono" truncado para desplazamientos de esta altura y mejores características de supervivencia.

40 [0026] Se debe tener en cuenta que la parte inferior del flotador de acuerdo con la invención también reduce el problema del momento de flexión mencionado anteriormente. De la inspección resulta evidente que la cuña toroidal proporciona la superficie más pequeña contra la que puede actuar un impacto. Esto proporciona beneficios, ya que limita la magnitud general de la fuerza de un impacto. Un beneficio adicional es la disminución de momentos sobre el punto de conexión (véase el punto 400 en las figuras 8A y 8B) para la cuña con respecto al caso del flotador de fondo plano.

[0027] Los solicitantes reconocieron la necesidad de tener en cuenta varios factores competitivos para diseñar una cuña de forma óptima. Cuando la altitud, [altura o profundidad, (H2) como se muestra en la figura 3] de la cuña es demasiado pequeña, el flotador resultante puede no estar adecuadamente protegido frente a las cargas de los golpes. Sin embargo, si la altura H2 de esta cuña es demasiado grande, entonces el volumen total desplazado del flotador también puede ser demasiado grande, y el peso adicional necesario para lograr la estructura puede conducir a costos de construcción inaceptablemente altos.

55 [0028] Se puede determinar un valor óptimo para las características de una o más cuñas triangulares equilibrando estos factores de una manera que minimice el costo total de la energía útil producida por el dispositivo. Es deseable que H1 sea lo suficientemente grande como para que una proporción sustancial de olas conduzca a un desplazamiento vertical relativo entre la superficie de la ola instantánea y el área de la línea de flotación de menos de H1, proporcionando así una fuerza de flotabilidad máxima que conduce a un potencial de conversión de potencia máxima. Sin embargo, a medida que H1 aumenta, la masa del flotador también aumenta, lo que conduce a un aumento en los costos de construcción, tanto directos (debido a los materiales del propio flotador) como indirectos (debido a los mayores requisitos en los sistemas de soporte para el flotador, tales como raíles de apoyo y dispositivos de frenado). También hay otros sacrificios al seleccionar la altura H2. Es deseable aumentar H2, porque cuanto más agudo es el ángulo de la cuña, mayor es la disminución de las cargas, lo que lleva a una disminución de los costos de construcción. Sin embargo, a medida que H2 aumenta, la masa del flotador (debido al material estructural adicional) aumenta, lo que lleva a un aumento en los costos de construcción. Para diferentes valores de D, H1 y H2 y de los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$  de las secciones triangulares, se puede simular la respuesta de un

flotador y el sistema WEC correspondiente. También es posible simular la respuesta de un sistema WEC y el costo de construcción, para una variedad de valores de H1 y H2, para determinar la rentabilidad económica de una forma flotante óptima.

5 [0029] La eficacia de los flotadores que incorporan la invención para disminuir la carga de los impactos puede ilustrarse en referencia a las Figuras 8A y 8B. La figura 8A muestra un diagrama de carga para un flotador de fondo plano que impacta contra la superficie del agua. La figura 8B muestra la carga para un flotador que incorpora la invención. Se observa que las fuerzas de impacto debidas a eventos de entrada de agua son, en efecto, causadas por zonas de muy alta presión. Estas fuerzas de presión actúan en una dirección normal (localmente perpendicular) a la superficie de un cuerpo. La figura 8A muestra un flotador 10 en un espeque 20 que se ve impactado por la superficie del agua 301 en un punto de impacto 402a. El punto de conexión flotador-espeque 400 está a una distancia L del punto de impacto 402a. La fórmula para el par T aplicado a la conexión del flotador-espeque 400 debido a una fuerza inducida por impactos es  $T = FL \sin(\theta)$ ; donde: (a) F es la fuerza de impacto; (b) L es la distancia desde el punto de conexión flotador-espeque 400 hasta el punto 402a en el que actúa la fuerza F, y (c)  $\theta_a$  es el ángulo entre la línea de 400 a 402a y una línea perpendicular a la superficie del flotador 110 en el punto de impacto 402a. En comparación, la figura 8B muestra la aplicación de la fuerza de impacto (F) en un punto 402b. Es evidente que el ángulo  $\theta_b$  para la cuña toroidal de la figura 8B es más pequeño que el ángulo  $\theta_a$  que se muestra para el caso de un flotador "aplanado" (de fondo plano) de la Fig. 8A. Como el ángulo  $\theta_b$  es más pequeño, el seno del ángulo  $\theta_b$  es más pequeño que el seno de  $\theta_a$ , y el par resultante T en el punto de conexión flotador-espeque también es menor. Esto demuestra que un flotador con un fondo de cuña según la invención lleva a una disminución de los momentos de carga y de flexión sobre el WEC.

[0030] La figura 5A muestra el flotador 110 y el espeque 20 de la figura 3 con un espacio de ventilación 150A, entre el flotador y el espeque. Una característica importante de la invención es la inclusión de espacios de ventilación 150A entre el flotador y el espeque que permiten que el aire atrapado, o el agua, escapen desde la parte inferior del flotador en el caso de un evento de golpe. El escape de aire o agua tendrá el efecto de disminuir la presión de los golpes, lo que provocará una disminución de las cargas sobre el flotador. También se indican mecanismos de soporte 170. Estos mecanismos de soporte 170 tienen la propiedad de permitir que pase aire o agua para aliviar la presión cuando el flotador se mueve hacia arriba o hacia abajo.

[0031] La figura 5B muestra el flotador 110 con varias cuñas triangulares (120a, 120b, 120c, 120d) unidas a la parte inferior del flotador 110 y/o formadas como parte de la parte inferior del flotador. En la figura 5B se muestra un espacio de ventilación 150A y numerosos orificios de ventilación 150B que se extienden verticalmente a través del flotador (entre las superficies superior e inferior). Los orificios de ventilación generalmente se colocan en el extremo de la base de las estructuras triangulares adyacentes para permitir que el aire y el agua atrapados pasen a través de los orificios de ventilación y se reduzcan las presiones debido a los golpes del agua/de las olas. Una forma de realización en la que hay múltiples anillos concéntricos de formas de cuña presenta otra solución. Tal forma de realización, con múltiples anillos concéntricos, puede tener una pluralidad de salidas de aire (150A, 150B) integradas en el flotador.

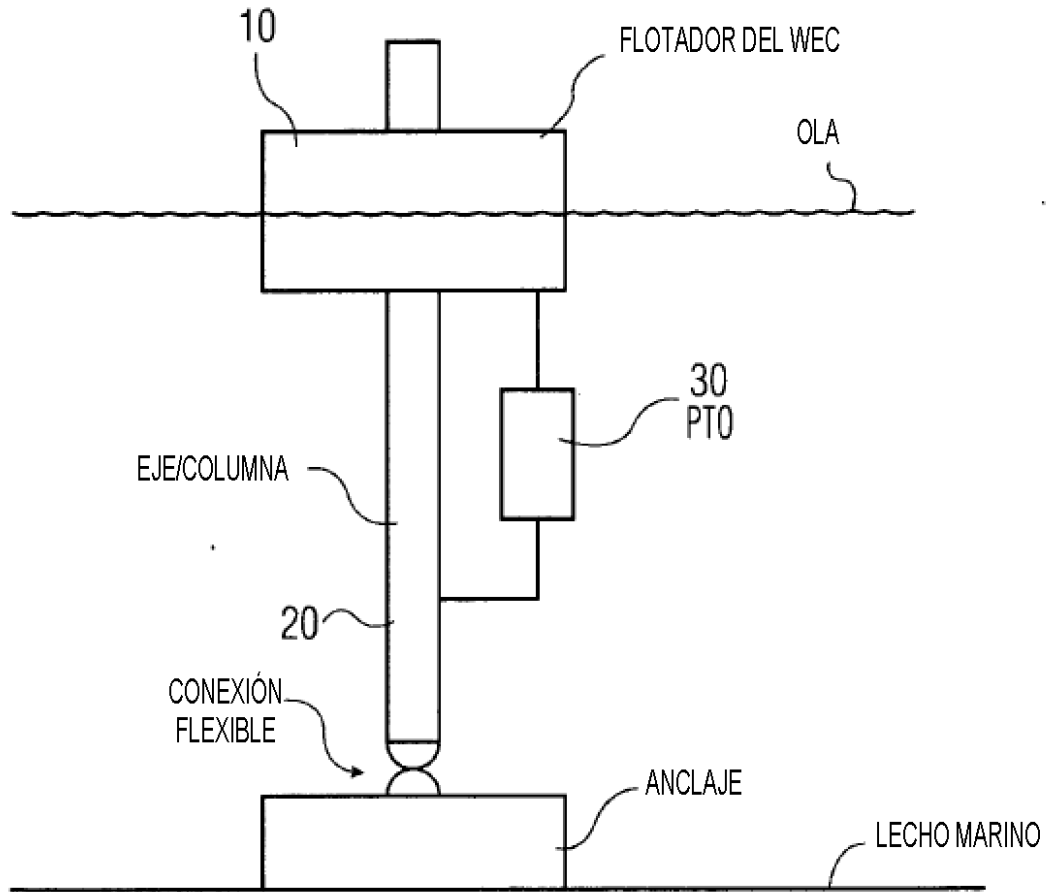
[0032] La figura 7 muestra un diagrama en sección transversal de un flotador que incorpora la invención con una formación en forma de cuña en la superficie superior del flotador, por encima de la línea de flotación 300. Tal forma de realización de la invención puede tener propiedades deseables en situaciones en las que el agua impacta en el lado superior del flotador. Las situaciones en las que el agua puede impactar en la parte superior del flotador incluyen situaciones de ruptura de olas (por ejemplo, si el flotador se ubicara en aguas poco profundas donde las olas pueden romper sobre el flotador) y situaciones en las que el espeque central 20 está orientado en relación con las olas incidentes en de tal manera que las olas puedan impactar en la parte superior del flotador.

[0033] En varias figuras se muestra que el flotador es simétrico (en la dirección vertical) alrededor de la línea de flotación 300. Excepto en las condiciones del tipo mencionado para la Fig. 7, esta no es una condición requerida o necesaria. Para el caso general de proteger el flotador de los eventos de golpes, la parte inferior del flotador es la principal preocupación. Por lo tanto, la preocupación por la forma del flotador por encima de la línea de flotación se limita a las condiciones mencionadas para la figura 7.

[0034] Se ha demostrado que los flotadores descritos anteriormente son de forma toroidal y radialmente simétricos, pero esta no es una condición necesaria. El flotador podría ser de forma elíptica o de cualquier otra forma adecuada.

## REIVINDICACIONES

1. Convertidor de energía undimotriz (WEC) destinado a ser colocado en un cuerpo de agua sometido a un movimiento de olas de amplitud y frecuencia variable, donde dicho WEC incluye un primer cuerpo (110) que tiende a moverse generalmente en fase con las olas y fuera de fase con respecto a un segundo cuerpo (20); y
- 5 en el que dicho primer cuerpo (110) tiene una superficie superior que se extiende radialmente alrededor de una abertura central a lo largo de un plano horizontal generalmente paralelo a la línea de flotación (300) y una parte de fondo, inferior, unida a dicha superficie superior y dependiente de esta, donde dicha parte inferior tiene una sección transversal conformada para formar una estructura triangular invertida, el segundo cuerpo (20) se extiende a lo
- 10 a la superficie de la línea de flotación (300), **caracterizado por el hecho de que** la superficie superior tiene una configuración generalmente toroidal e incluye, durante el uso, una sección por debajo de la línea de flotación (300) que se extiende hasta la base de la sección transversal triangular (120a, 120b), la sección tiene un espesor H1, en donde H1 es suficientemente grande para que una proporción sustancial de las olas lleve a un desplazamiento vertical relativo entre la superficie instantánea de las olas (301) y la línea de flotación (300) de menos de H1, por
- 15 lo que se mantiene la capacidad de producción de energía del WEC y la sección transversal triangular (120a, 120b) gira 360 grados alrededor de un eje vertical central que produce un flotador toroidal que tiene una parte inferior toroidal en forma de cuña para cortar a través del agua subyacente y así reducir las tensiones impartidas a dicho primer cuerpo cuando se somete a los golpes del agua.
- 20 2. WEC según la reivindicación 1, en el que el primer cuerpo (110) es un flotador y el segundo cuerpo (20) es un espeque; y en el que la sección transversal triangular invertida tiene lados primero y segundo que se extienden por debajo de la superficie del agua y que se unen en un punto que define el vértice (123) de la sección transversal triangular y la altitud de la sección transversal triangular.
- 25 3. WEC según la reivindicación 2, en el que se proporcionan orificios de ventilación (150a, 150b) entre las superficies inferior y superior del flotador para permitir que los fluidos atrapados debajo del flotador pasen a través del flotador.
- 30 4. WEC según la reivindicación 2, que incluye un espacio dentro de la abertura central para permitir que escapen los fluidos atrapados debajo del flotador.
5. WEC según la reivindicación 2, en el que la sección transversal triangular forma más de un triángulo generalmente conformado (120a, 120b, 120c, 120d) entre la periferia exterior del flotador y la abertura central.
- 35 6. Método para formar un flotador para un WEC que tiene características mejoradas de supervivencia y producción de energía, que comprende los pasos de:
- 40 formar el flotador para obtener un primer cuerpo (110) diseñado para moverse generalmente en fase con las olas; en donde dicho primer cuerpo tiene una superficie superior que se extiende radialmente alrededor de una abertura central a lo largo de un plano horizontal generalmente paralelo a la línea de flotación; y dar forma a la parte de fondo, inferior, del primer cuerpo (110) para obtener una sección transversal que define una estructura triangular invertida, **caracterizado por** la formación de la superficie superior en una configuración generalmente toroidal que, durante el uso, incluye una sección por debajo de la línea de
- 45 flotación (300) que se extiende hasta la base de la sección transversal triangular (120a, 120b), donde la sección tiene un espesor H1, en donde H1 es suficientemente grande para que una proporción sustancial de olas conduzca a un desplazamiento vertical relativo entre la superficie instantánea de las olas (301) y la línea de flotación (300) menor que H1, por lo que se mantiene la capacidad de producción de energía del WEC y se produce un flotador toroidal que tiene un lado inferior "en forma de cuña" en el que la sección transversal triangular (120a, 120b) gira 360 grados alrededor de un eje vertical central para cortar a través de las olas
- 50 subyacentes y reducir así las tensiones impartidas a dicho primer cuerpo cuando se somete a los golpes del agua.
7. Método según la reivindicación 6, en el que la sección transversal triangular invertida tiene lados primero y segundo que se extienden por debajo de la superficie del agua y que se unen en un punto que define el vértice (123) de la sección transversal triangular y la altitud de la sección transversal triangular.
- 55 8. Método según la reivindicación 7, que incluye el paso de seleccionar los ángulos (121, 122) formados entre el primer y el segundo lado de la sección triangular y un plano horizontal, generalmente paralelo a la superficie del agua en calma (300).
- 60 9. Método según se reivindica en la reivindicación 8, que incluye el paso de dar forma y ángulo a la parte exterior de la sección transversal triangular, orientada hacia afuera desde la abertura central, para disminuir las tensiones de los impactos y aumentar la capacidad de supervivencia a la vez que se mantiene la capacidad de producción de energía.



**FIG. 1**  
ESTADO DE LA TÉCNICA



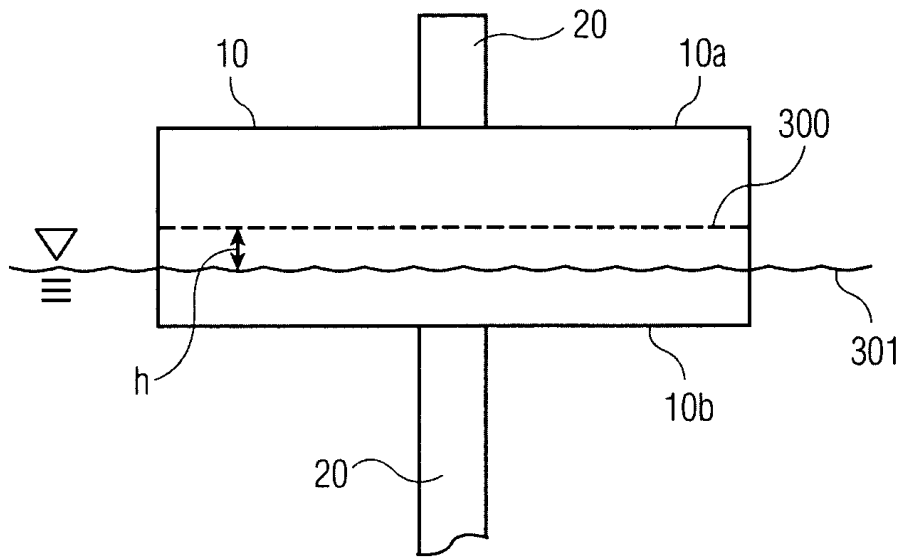


FIG. 1A

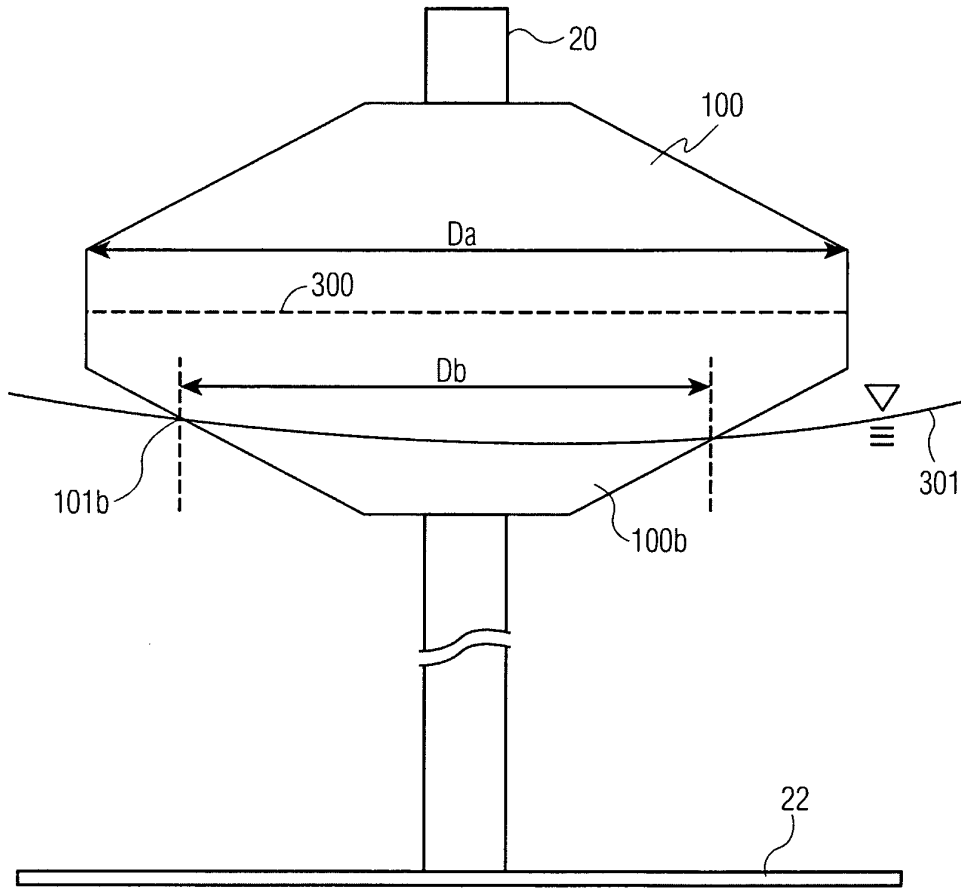


FIG. 2

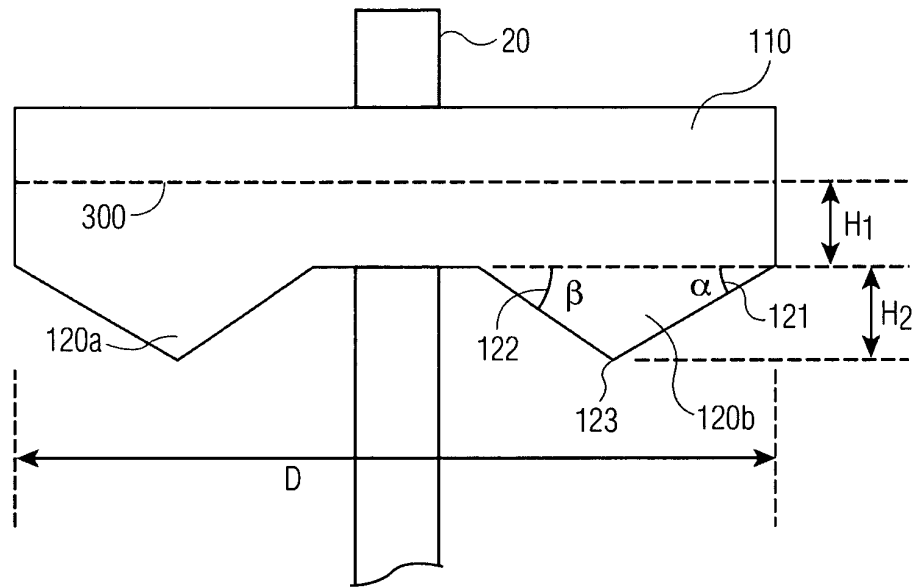


FIG. 3

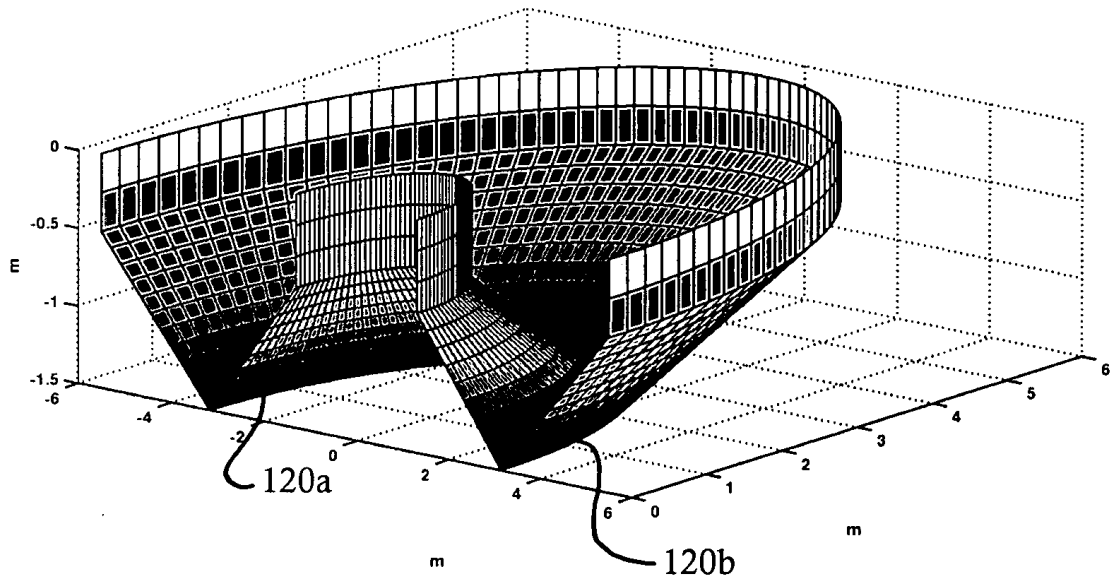


FIG. 4A

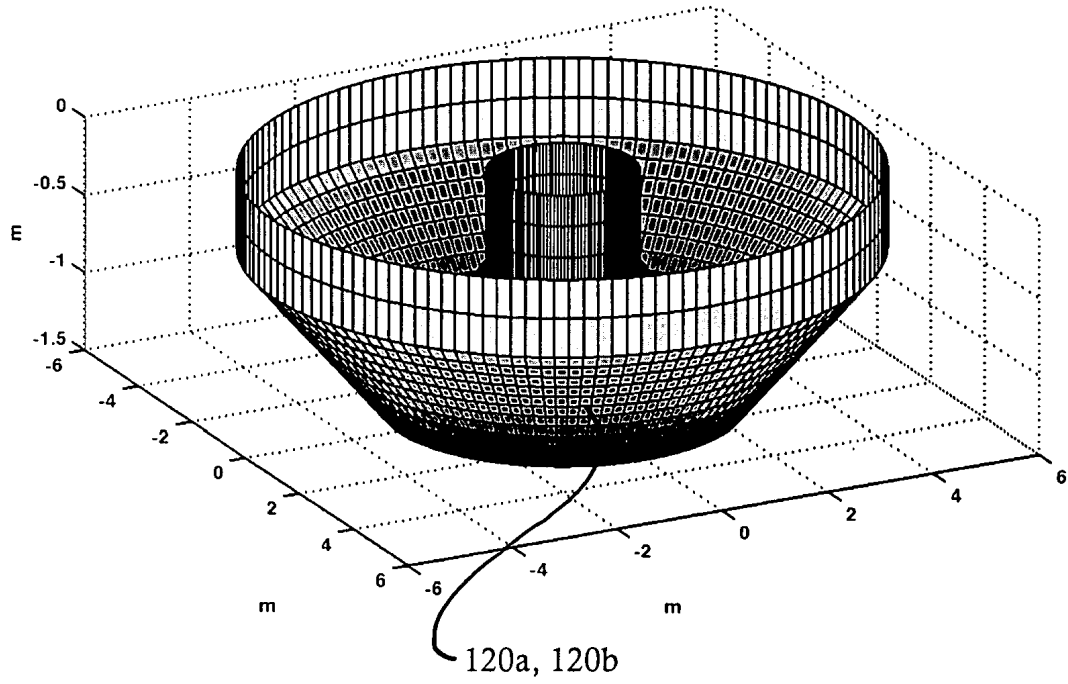


FIG. 4B

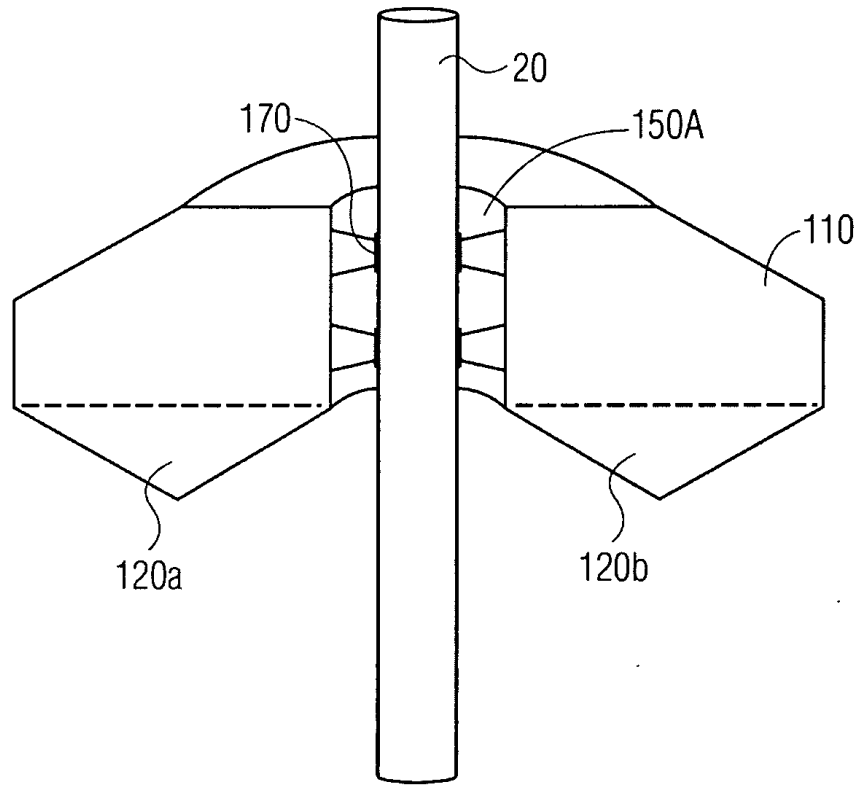


FIG. 5A

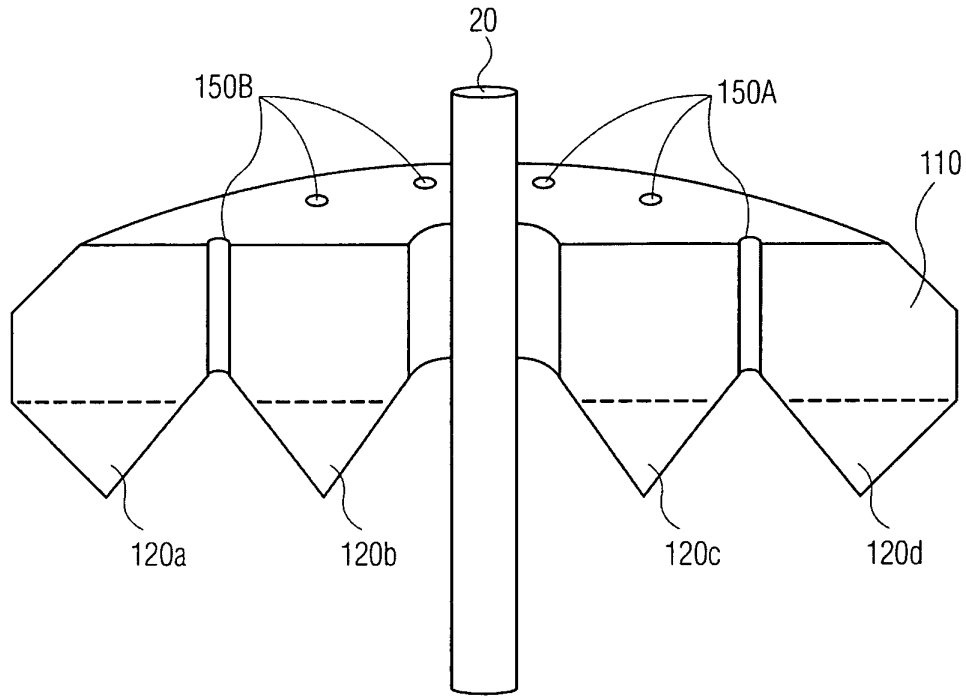
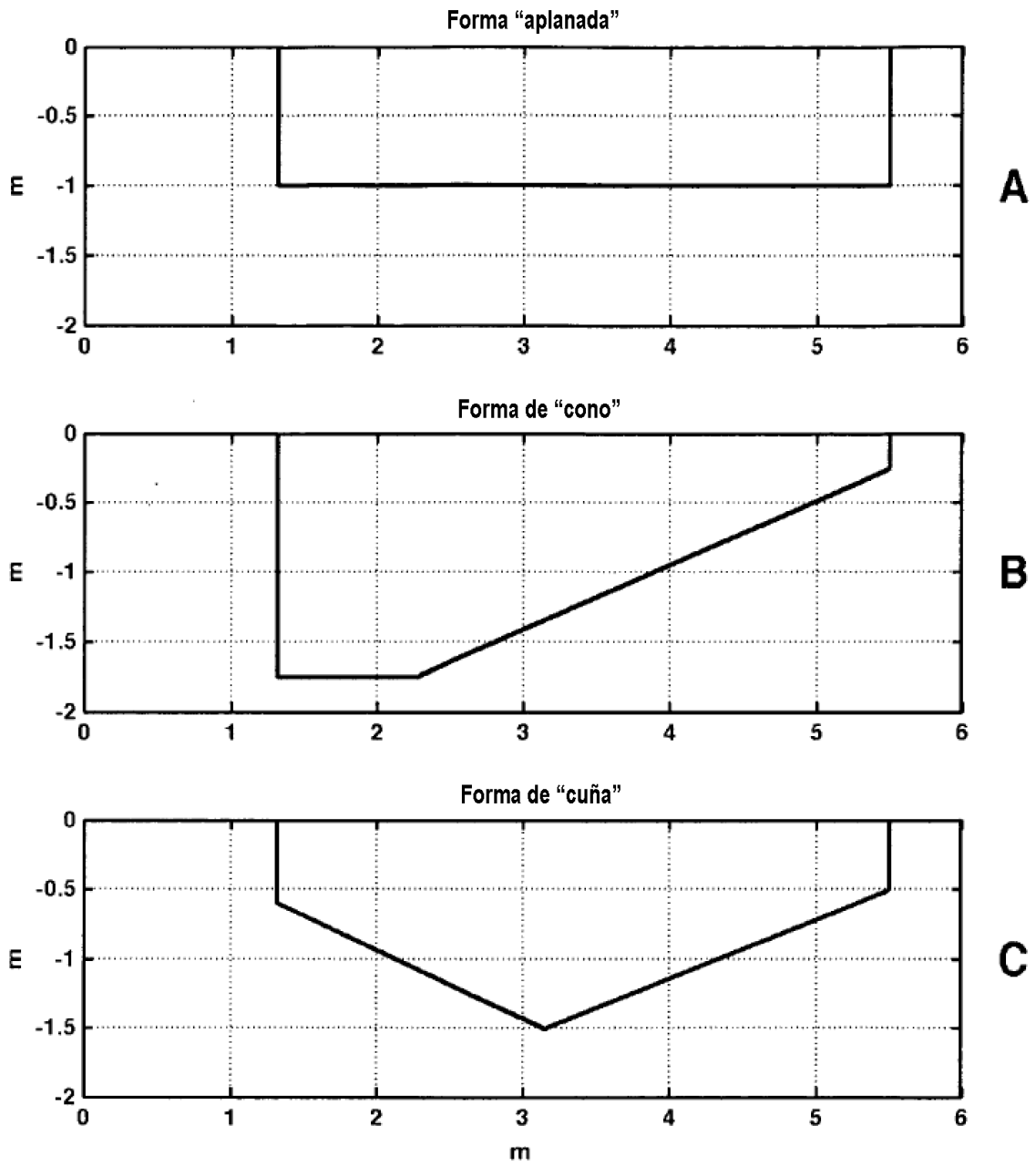


FIG. 5B



**FIG. 6**



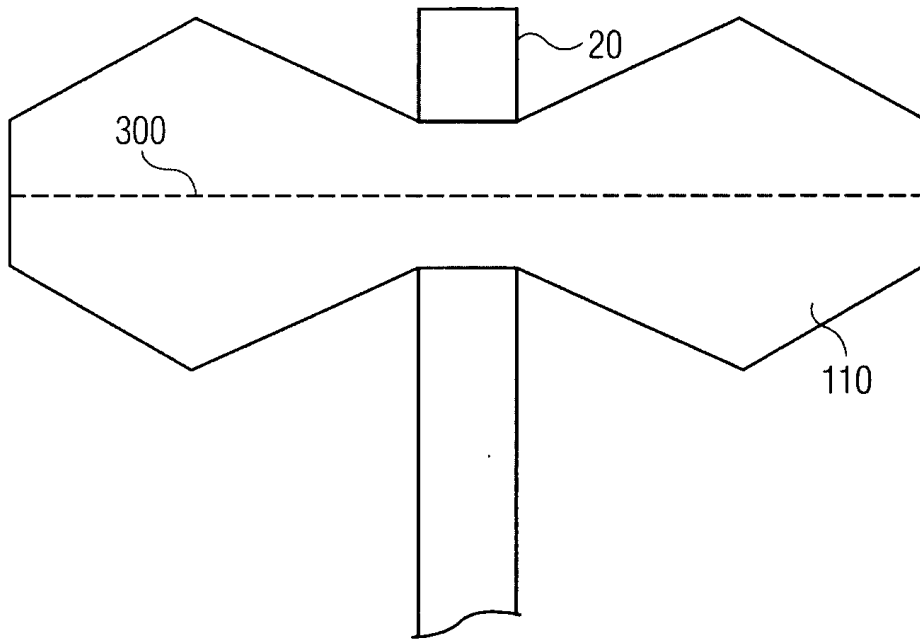


FIG. 7

