

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 419 404**

51 Int. Cl.:

**F03B 13/14** (2006.01)

**F03B 13/18** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.01.2007** **E 07704978 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2013** **EP 1979609**

54 Título: **Convertidor de energía de olas de tubo distensible**

30 Prioridad:

**04.02.2006 GB 0602278**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**20.08.2013**

73 Titular/es:

**FARLEY, FRANCIS JAMES MACDONALD (50.0%)**  
**8 Chemin de Saint Pierre**  
**06620 Le Bar-sur-Loup , FR y**  
**ATKINS LIMITED (50.0%)**

72 Inventor/es:

**RAINEY, RODERICK, CHARLES, TASMAN y**  
**FARLEY, FRANCIS, JAMES, MACDONALD**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 419 404 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**

Convertidor de energía de olas de tubo distensible.

5 CAMPO TÉCNICO

La invención está relacionada con un aparato para extraer energía útil de las olas del mar tal como se define en el preámbulo de la reivindicación 1. Tal aparato se conocido por ejemplo del documento US-A-4 145 882.

ANTECEDENTES DE LA TÉCNICA

10 James Lighthill en la referencia [1] muestra cómo las ondas de presión pueden propagarse a lo largo de un tubo distensible. La presión hace que el tubo se dilate localmente y esto reduce la velocidad de propagación. Cuanto más distensible es el tubo, más lenta es la velocidad de la onda. Es conveniente referirse a estas ondas en el tubo como "ondas de abultamiento". Lighthill aplica su análisis al flujo sanguíneo en las arterias. Esta invención, a una escala mucho mayor, aplica el mismo principio para extraer energía de las olas del océano. Un tubo distensible largo lleno de agua se orienta en la dirección de propagación de las olas y la velocidad de las ondas de abultamiento dentro del tubo es más o menos igual a la velocidad de las olas del océano fuera. En este caso la energía se transfiere desde el océano a LA onda de abultamiento que crece a lo largo de la longitud del tubo. En el extremo del tubo se utiliza un pistón u otros medios para capturar la energía de la onda de abultamiento y generar energía útil.

20 Muchas de las invenciones anteriores de energía de LAS olas usan membranas flexibles y/o tubos orientados en la dirección de desplazamiento de las olas, pero ninguna parece depender de la capacidad de distensión de un tubo hecho (o hecho en parte) de un material elástico, como una forma de almacenar energía de las olas antes de la conversión. La novedad de esta invención es el uso de un tubo con paredes elásticas que lleva ondas de abultamiento coincidentes con la velocidad de las olas del océano.

25 Un ejemplo de un dispositivo anterior de energía de las olas antes que utiliza un tubo orientado en la dirección del desplazamiento de las olas se describe en el documento de patente US 4.145.882. Este documento describe un generador de energía de las olas que tiene una bolsa hecha de un material flexible, impermeable y no elástico que está parcialmente relleno con agua para ocupar por lo menos la mitad, pero menos que la plena capacidad de la bolsa. Unos huecos de aire por encima del agua permiten que se generen olas dentro de la bolsa por el peso de las olas de la superficie del mar que pasan por encima de la bolsa y esto impulsa el flujo de agua a través de un generador eléctrico.

35 DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Definiciones

Elástico: Una sustancia, material u objeto es elástico si que puede ser deformado por una fuerza aplicada y volver a su forma original cuando se quita la fuerza. Un objeto elástico obedece a la ley de Hooke, en la que la tensión producida es sustancialmente proporcional a la tensión aplicada. Los materiales sólidos son más o menos elásticos hasta alguna tensión límite. Por ejemplo, la tensión límite para el acero es aproximadamente del 0,1%, mientras que la tensión límite para el caucho puede ser aproximadamente de un 50%. Por sumamente elástico se entiende una sustancia, material u objeto para el que la tensión límite es superior al 5%. La elasticidad de un objeto depende de su forma, así como del material del que está hecho. De este modo, un resorte helicoidal hecho de acero puede ser sumamente elástico en la dirección de su eje principal, aunque el mismo acero no lo sea.

45 Distensible: Un tubo es distensible si responde a los cambios de presión interna con un cambio proporcional de su área en sección transversal desde su valor sin perturbación. Los tubos distensibles tienen paredes sumamente elásticas, ya sea porque están hechas de material elástico o porque están en cierta manera plegados o corrugados. Para un tubo de área en sección transversal  $S$  con presión interna  $p$ , la capacidad de distensión se define como

$$D = (l/S) dS/dp \quad (1).$$

55 Para esta invención es importante distinguir entre capacidad de distensión y flexibilidad: algunos ejemplos pueden aclarar esto. Un neumático de un coche a motor es flexible pero no distensible: cuando se infla, es elástico para pequeñas deformaciones. La cámara interior del neumático de coche a motor es distensible. Un bote inflable es flexible pero no distensible: su tamaño no varía con la presión de inflado. Esto es porque los botes inflables están hechos de hojas elastoméricas reforzadas que son flexibles pero no sumamente elásticas.

60 Onda de abultamiento: Tal como describe Lighthill en la referencia [1], en un tubo distensible una onda de presión longitudinal, asociada a un cambio de la sección transversal y la velocidad longitudinal del fluido, se puede propagar a lo largo del tubo. Esta onda se denomina una onda de abultamiento. La velocidad de propagación de la onda de abultamiento es  $c$ , donde  $c^2 = l/(\rho D)$ ,  $\rho$  es la densidad del fluido en el interior y  $D$  la capacidad de distensión tal como se ha definido anteriormente en la ecuación (1).

Proa y popa: Para un objeto largo en el mar orientado generalmente en la dirección de la propagación de la onda, el extremo que mira a las olas tendrá la referencia como la proa: el otro extremo que mira en la dirección de propagación tendrá la referencia como la popa.

5 Según la invención, se proporciona un aparato para convertir la energía de las olas superficiales del mar en energía útil, el aparato comprende:

- 10 - un tubo distensible largo, que contiene agua u otro líquido de densidad similar, sumergido o parcialmente sumergido en el mar, dicho tubo tiene unos extremos opuestos;
- unos medios para orientar el tubo de tal manera que en uso, con el tubo sumergido o parcialmente sumergido, el tubo se extiende generalmente en la dirección de propagación de la ola superficial; y
- unos medios de extracción de energía en uno o ambos extremos del tubo;

15 caracterizado porque el tubo tiene unas paredes elásticas o parcialmente elásticas, la elasticidad de las paredes es tal que el tubo distensible responde a los cambios de la presión interna con un cambio proporcional de su área en sección transversal desde su valor sin perturbación, se elige la capacidad de distensión elástica de las paredes del tubo y la longitud del tubo es tal que, en uso, una onda de presión longitudinal, asociada con dicho cambio de área en sección transversal, se puede propagar a lo largo de la longitud del tubo como una onda de abultamiento en dicho agua u otro líquido contenido en el tubo, la velocidad de propagación de dichas ondas de presión a lo largo del tubo tiene como resultado que dichas ondas superficiales son generalmente iguales o cercanas de la velocidad de propagación de dichas ondas superficiales de modo que la energía de dichas ondas superficiales puede ser transferida a dicha onda de abultamiento de la que se puede extraer energía útil mediante los medios de extracción de energía.

20 También según la invención, se proporciona un método para convertir la energía de las olas superficiales del mar en energía útil, utilizando un aparato según se define anteriormente, el tubo de dicho aparato contienen agua u otro líquido de densidad similar, el método comprende las etapas de:

- 30 - sumergir o sumergir parcialmente el tubo en el mar;
- orientar el tubo dentro del mar, de tal manera que el tubo se extiende generalmente en la dirección las olas superficiales del mar; y
- utilizar los medios de extracción de energía para extraer energía útil de las ondas de abultamiento.

35 Según esta invención en su primera característica, el convertidor de energía de las olas comprende un tubo distensible largo, generalmente horizontal, sumergido o parcialmente sumergido en el mar y orientado generalmente en la dirección de la propagación de las olas, dicho tubo es abierto o cerrado en la proa e incorpora unos medios de extracción de energía en uno o ambos extremos, la capacidad de distensión del tubo se elige de modo que la velocidad de la onda de abultamiento a lo largo del tubo es generalmente igual o cercana a la velocidad de las olas en el mar que lo rodea.

El tubo se llena con agua u otro líquido de densidad similar que con ventaja pueda estar a una presión superior a la del mar que lo rodea.

45 Según la invención la sección transversal del tubo distensible puede tener cualquier forma y la elasticidad de las paredes puede variar alrededor de la circunferencia, en algunas realizaciones parte de la circunferencia es substancialmente no elástica. Por otra parte, la forma, el tamaño y la elasticidad de la sección transversal y, en consecuencia, la capacidad de distensión, puede con ventaja variar a lo largo de la longitud del tubo.

50 Según la invención, en su segunda característica las paredes de dicho tubo pueden estar compuestas de cualquier material sumamente elástico, tal como caucho natural o sintético con o sin refuerzo con fibra o una disposición sumamente elástica de sustancias menos elásticas tales como resortes helicoidales, metal corrugado o una estructura reticular de flexible membranas infladas con aire comprimido o cualquier otro fluido.

55 Según la invención, en su tercera característica, los medios de extracción de energía en los dos extremos del tubo pueden comprender cualquier maquinaria o proceso que sea impulsado por la presión oscilante y la velocidad longitudinal oscilante dentro del tubo, por ejemplo sin limitación una o más turbinas o pistones en un ángulo con la horizontal accionados por la presión del agua dentro de dicho tubo y que impulsan bombas hidráulicas o generadores lineales o rotatorios, o unos medios de rebosamiento que permiten que el agua dentro del tubo sea impulsada sobre una presa o a través de una o varias válvulas de retención adentro de un depósito a presión elevada, una válvula de retención aparte que permite que el agua entre en el tubo desde el mar cuando la presión en el interior es baja, o cualquier combinación de los anteriores.

60 En una realización alternativa los medios de extracción de energía comprenden un tubo vertical que contiene agua con unos medios para ajustar la altura de la superficie del agua y con un pistón que se mueve más o menos

verticalmente. En una alternativa adicional el tubo vertical está cerrado en la parte superior con excepción de un agujero equipado con una válvula de flotador que permite que el aire escape pero no el agua y está equipado además con una válvula de retención que conduce a un acumulador hidráulico, con el efecto de que cuando el agua en el interior del tubo alcanza la parte superior del tubo la válvula de flotador se cierra y el agua es impulsada a alta presión a dicho acumulador hidráulico.

Según la invención en su cuarta característica, el tubo distensible puede estar ubicado en el fondo del mar, fijado en una posición mediante accesorios convencionales según la técnica o con lastre líquido o sólido para hundirlo al fondo del mar. Como alternativa, el tubo puede estar fijado a cierta distancia por debajo de la superficie del mar mediante la conexión a un bastidor de soporte conectado al fondo del mar. En otra realización el tubo distensible puede estar equipado con medios de flotabilidad, el conjunto está lastrado para flotar con dicho tubo sumergido total o parcialmente. En este caso, el tubo se mantiene en su posición con unos amarres según la técnica.

Ahora se describirán algunas realizaciones específicas de la invención, a modo de ejemplo, haciendo referencia a los dibujos acompañantes.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 muestra en alzado lateral y en sección transversal lateral un tubo distensible con cámaras de flotabilidad flotando cerca de la superficie del agua;

La Figura 2 muestra un alzado lateral del tubo distensible lastrado para descansar en el fondo del mar;

La Figura 3 muestra una variedad de posibles secciones transversales del tubo distensible;

La Figura 4 muestra la sección transversal del tubo distensible con las paredes reticulares infladas;

La Figura 5 muestra unos medios de extracción en sección longitudinal lateral que comprenden un pistón que se mueve en horizontal e impulsan una bomba hidráulica;

La Figura 6 muestra unos medios de extracción de energía en sección longitudinal lateral que comprenden un pistón que se mueve en vertical e impulsan una bomba hidráulica;

La Figura 7 muestra unos medios de extracción de energía en sección longitudinal lateral que comprenden una bomba hidráulica de cilindro que impulsa agua a alta presión a un acumulador hidráulico;

La Figura 8 muestra unos medios de extracción de energía en sección longitudinal lateral que comprenden una transición a una tubería rígida estrecha que lleva agua a alta presión hacia la orilla;

La Figura 9 muestra unos medios de extracción de energía en sección longitudinal lateral que comprenden una válvula unidireccional en la popa del tubo y una turbina en la proa que impulsa un generador eléctrico;

La Figura 10 muestra un sistema mejorado de válvula unidireccional en sección longitudinal lateral que se puede utilizar con la turbina y un generador eléctrico ilustrado en la Figura 9;

La Figura 11 muestra una vista lateral parcialmente en sección de un tubo distensible equipado en la popa con válvulas unidireccional vía que se comunican con dos acumuladores distensibles con una turbina entre ellos.

#### MODOS PARA LLEVAR A CABO LA INVENCION

Ahora se describirán unas realizaciones particulares de la invención, a modo de ejemplo, haciendo referencia a las figuras. La Figura 1 ilustra a modo de ejemplo en alzado lateral un tubo distensible largo cerrado 1 con proa rígida 2 equipado con una multiplicidad de cámaras huecas de flotabilidad 4 con el efecto de que el aparato flota con el tubo 1 más o menos horizontal y ligeramente por debajo de la superficie del mar 3. El dispositivo se mantiene en su posición mediante unos amarres 7, según la técnica. Las paredes del tubo 1 son sumamente elásticas y están hechas por ejemplo de caucho natural o sintético, como se ilustra en la vista en sección transversal AA en la Figura 1. La alta elasticidad de las paredes tiene el efecto de hacer que el tubo 1 sea distensible, la mencionada elasticidad se elige de modo que la velocidad de la onda de abultamiento que se propagan dentro del tubo está cerca de la velocidad de las olas del mar fuera. En la popa y/o la proa el tubo está equipado con unos medios 5 de extracción de energía de los que hay muchas realizaciones alternativas que se describen con detalle a continuación.

El funcionamiento del dispositivo es de la siguiente manera. La presión oscilante y el gradiente de presión fuera de la pared del tubo debido a las olas del océano excitan una onda de abultamiento cerca de la proa que se propaga a lo largo del tubo a la velocidad de la onda de abultamiento. Cuando la onda de abultamiento se mueve a lo largo del tubo, la ola del océano se mueve a lo largo del tubo a la misma velocidad y en cada punto contribuye a un aumento adicional de la presión. El resultado es un aumento acumulativo más o menos lineal de la amplitud de la onda de abultamiento, que en efecto absorbe progresivamente energía de la onda. Dependiendo de su longitud, la amplitud de presión interna oscilante en el extremo del tubo puede ser 3-5 veces la amplitud de la presión oscilante en las olas del océano. Entonces se extrae energía útil de la presión oscilante en el extremo del tubo, como se explica con detalle más adelante. En un caso típico la amplitud de la onda de abultamiento en la popa del tubo 1 es de tal manera que el tubo debe expandirse y contraerse en aproximadamente un 50% del área de sección transversal de su valor sin ser perturbado.

En una realización alternativa, ilustrada en alzado lateral en la Figura 2, el tubo distensible 1 está equipado en su superficie inferior con una multiplicidad de bolsas flexibles 8 rellenas con unos medios de lastre, por ejemplo sin limitación arena, grava o barro líquido, con el efecto de que el tubo 1 se mantiene firmemente en el fondo del mar 9.

Puede situarse además por medio de amarres 7. En una realización preferida las bolsas flexibles 8 pueden unirse juntas para comprender una bolsa larga con el mismo efecto. Esta realización es útil en aguas poco profundas, de tal manera que las olas del océano en la superficie del mar 3 producen una significativa oscilación de presión a la profundidad del tubo distensible 1, excitando una onda un abultamiento como se explicó anteriormente. El tubo está equipado en la popa con unos medios 5 de extracción de energía de los que hay muchas realizaciones alternativas que se describen con detalle más adelante. El funcionamiento del dispositivo es similar al descrito anteriormente.

La Figura 3 ilustra en sección transversal a modo de ejemplo de una serie de construcciones que pueden adoptarse para el tubo distensible. La sección transversal puede tener cualquier forma. Para lograr grandes cambios en el área en sección transversal antes mencionados, la totalidad o parte de la circunferencia del tubo debe ser sumamente elástica. La Figura 3a ilustra una realización en la que las paredes del tubo 10 están hechas de caucho natural o sintético, la elasticidad de las paredes se elige para conseguir la correcta capacidad de distensión como se ha indicado anteriormente. La elasticidad de las paredes no tiene por qué ser la misma en todos los puntos de la circunferencia. La Figura 3b ilustra a modo de ejemplo una realización en la que el lado inferior del tubo es una placa sustancialmente no elástica 11, mientras que el resto de la circunferencia 10 es sumamente elástico. La Figura 3c ilustra una construcción en la que los lados del tubo 10 son elásticos, pero la parte superior e inferior 11 comprenden unas placas no elásticas. La Figura 3d ilustra una realización en la que la sección transversal es normalmente elíptica, pero se puede ampliar hacia una forma más circular con una mayor área en sección transversal por la curvatura de las paredes, que son efectivamente corrugadas, pero con sólo dos ondulaciones.

En una realización preferida ilustrada en sección transversal en la Figura 4a las paredes del tubo comprenden una estructura reticular de membranas flexibles, infladas con aire comprimido o cualquier otro fluido, según la técnica de las estructuras infladas. Dichas membranas pueden ser en sí mismas sumamente elásticas o como alternativa unas hojas elastoméricas reforzadas con fibra con escasa elasticidad. Aunque las membranas flexibles que comprenden una estructura pueden ser en sí mismas sustancialmente no elásticas, una estructura inflada puede ser sumamente elástica: ejemplos bien conocidos son unos neumáticos de coches con motor y un balón de fútbol. Los principios se ilustran en las Figuras 4b y 4c, que muestran parte de su estructura inflada que comprende una multiplicidad de celdas similares unidas juntas en una distribución lineal. Cuando las celdas son infladas con aire comprimido las membranas de la parte superior e inferior adoptarán la forma que maximiza el volumen de la celda, esto se consigue cuando las membranas de la parte superior e inferior se encuentran en el círculo que circunscribe los puntos de esquina 16, 17, 18 y 19. Este círculo se muestra con líneas punteadas en la Figura 4b. Se puede ver que en la Figura 4b, las membranas de la parte superior e inferior se hacen más bien planas, con el resultado de que en este caso la estructura no es significativamente elástica en la dirección horizontal. En la Figura 4c sin embargo las membranas verticales internas son más cortas, con el efecto de que las membranas de la parte superior e inferior, que de nuevo siguen la forma del círculo que circunscribe, son sustancialmente curvas. Resulta que la estructura es sumamente elástica en la dirección horizontal. El módulo de elasticidad efectivo de la estructura se puede variar cambiando la presión dentro de las celdas.

En la realización del tubo distensible ilustrado en sección transversal en la Figura 4a, las dimensiones de las celdas se eligen de manera que la membrana interior y exterior son sumamente curvadas, con el efecto de que la pared del tubo hueco encerrado es sumamente elástica en el sentido circunferencial y la capacidad de distensión del tubo es grande. La capacidad de distensión del tubo se puede variar cambiando la presión de inflado de la pared con el efecto de que la velocidad de la onda de abultamiento dentro del tubo se puede ajustar fácilmente de vez en cuando para que coincida con las condiciones predominantes de las olas. Esta es una de las principales ventajas de esta realización para la conversión de la energía de las olas. En algunas realizaciones las paredes del tubo distensible pueden hacerse de un material sumamente elástico, tal como caucho natural o sintético, dichas paredes comprenden además unos espacios internos que pueden ser inflados con aire u otro fluido con el efecto de que la capacidad de distensión del tubo se puede ajustar de vez en cuando.

En todas las realizaciones ilustradas en las Figuras 3 y 4, la sección transversal del tubo puede ser igual en todas las posiciones a lo largo de la longitud del tubo. O con ventaja las dimensiones o la elasticidad circunferencial de la sección transversal pueden variar a lo largo del tubo.

A continuación se describen unas realizaciones particulares de los medios de extracción de energía montados en la popa del tubo distensible haciendo referencia a las Figuras 5 a 10. En la realización ilustrada a modo de ejemplo en la Figura 5 hay un tubo cilíndrico rígido 20 conectado al tubo distensible 1 en su extremo de popa. El pistón 21 se desliza dentro del tubo rígido 20 y a través de una biela 23 impulsa una bomba hidráulica convencional 25 que suministra fluido hidráulico que puede ser aceite, aire o agua a una salida útil a través de las tuberías de conexión 26. El espacio detrás del pistón 21 se rellena con ventaja de aire y se descarga a la atmósfera a través del tubo 22. En funcionamiento, la onda de abultamiento que se propaga a lo largo del tubo distensible 1 se acumula a una gran amplitud a medida que llega a la popa. La presión oscilante en la onda de abultamiento impulsa el pistón hacia delante y hacia atrás con el efecto de que dicho fluido hidráulico es bombeado bajo presión a una salida útil.

Otra realización de los medios de extracción de energía se ilustra a modo de ejemplo en la Figura 6. En esta realización el tubo distensible 1 termina en la popa con un tubo doblado 29 conectado a un cilindro rígido 30 con

pistón 31. Hay una bomba hidráulica 33 soportada por ejemplo en una estructura abierta 34 y conectada al pistón por medio de la biela 32. Un depósito 35 contiene agua 36 y el nivel de agua se mantiene por encima del nivel medio del mar mediante unas bombas auxiliares (no se ilustran). Este depósito se conecta a los medios de extracción de energía mediante una tubería estrecha con el efecto de que el nivel medio de agua en el cilindro 30 se mantiene substancialmente por encima del nivel del mar, pero la tubería es demasiado estrecha para que las oscilaciones de presión de la onda de abultamiento pasen al depósito. El pistón 31 es flotante y en promedio flota en el agua en el cilindro 30. La subida y bajada del nivel del agua en el cilindro 30 bajo la acción de la onda de abultamiento impulsa el pistón de aquí para allá verticalmente con el efecto de que se genera energía hidráulica útil mediante la bomba hidráulica 33 y se pasa a una salida útil a través de unas tuberías de conexión (no se ilustran) según la técnica. En esta realización, si la energía de las olas es muy alta, de modo que la onda de abultamiento es excepcionalmente grande, el pistón 31 se elevará por encima del extremo del cilindro 30 y saldrá agua del cilindro al mar que lo rodea con el efecto de aliviar el exceso de presión en el sistema y protegerlo de daños. El pistón vuelve a caer en el cilindro y el agua perdida será sustituida por agua desde el depósito a través de la tubería 37. Si la oscilación de la onda de abultamiento es de gran amplitud, la presión interior del tubo distensible puede caer por debajo de la presión del agua del mar fuera, con el efecto de que las paredes del tubo distensible podrían aplastarse hacia adentro. Para evitar esto, el tubo puede con ventaja estar equipado con una válvula unidireccional 38 que permite al agua del mar entrar al tubo si la presión interior es menor que la exterior.

Otra realización de los medios de extracción de energía se ilustra a modo de ejemplo en la Figura 7. En esta realización el tubo distensible 1 termina en la popa mediante una curva conectada a un tubo vertical 42. Que está cerrado en la parte superior cerca del nivel del mar mediante un mamparo 43. Dicho mamparo está equipado con un agujero 44 que incluye una válvula de flotador 45 con el efecto de que el aire puede fluir libremente adentro y afuera del tubo 42 pero el agua no puede escapar. El mamparo está equipado además con una válvula unidireccional 46 que conduce a un acumulador hidráulico 47 que contiene agua a presión según la técnica. En esta realización la superficie del agua 41 dentro del tubo vertical 42 es en promedio más o menos la misma que en el mar fuera pero es impulsada hacia arriba y hacia abajo a través de una gran amplitud por la onda de abultamiento dentro del tubo. Cuando la superficie del agua 42 se eleva, el aire que tiene encima se descarga a la atmósfera a través del agujero 44; pero cuando el agua alcanza el mamparo la válvula de flotación se cierra y se genera un impacto de alta presión. Esto fuerza un poco de agua a través de la válvula unidireccional 46 adentro del acumulador hidráulico 47 con el efecto de que se captura energía en el acumulador hidráulico. Desde el acumulador el agua de mar a presión puede ser dirigida a través de la tubería 48 para realizar un trabajo útil según la técnica. El agua perdida de este modo desde el tubo 42 es sustituida desde el mar cuando la presión en la onda de abultamiento se vuelve negativa a través de la válvula unidireccional 38 sustancialmente como se ha descrito anteriormente. El efecto global de esta realización es que la onda de abultamiento hace que el agua del mar sea bombeada a alta presión a una salida útil sin piezas móviles (aparte de la válvula de flotador y las válvulas unidireccionales). En esta realización el tubo distensible 1 puede abrirse opcionalmente al mar por la proa.

Otra realización de los medios de extracción de energía se ilustra a modo de ejemplo en la Figura 8. En esta realización el tubo distensible 1 está conectado a una tubería larga rígida de salida 51 por medio de una sección intermedia de transición y coincidente 50. Dicha sección de transición y coincidente 50 puede comprender varias fases (no se ilustran) con cambios de sección transversal y de capacidad de distensión con el efecto de que la onda de abultamiento con oscilaciones de presión relativamente pequeñas y con grandes oscilaciones de velocidad longitudinal se convierte sin sustancial pérdida o reflexión en una onda con altas oscilaciones de presión y bajas velocidades, siendo esto último más adecuado para transmitir energía a la costa a través de una tubería relativamente estrecha.

En la realización ilustrada a modo de ejemplo en alzado lateral longitudinal en la Figura 9 el tubo distensible 1 está equipado en la popa con una tubería de extremo parcialmente distensible 60 equipada con una o varias válvulas unidireccionales 61 que permiten al agua de mar entrar en la tubería pero no salir. El tubo está equipado además en la proa con una tubería rígida 62 abierta al mar y que incorpora un bastidor interno 63, que soporta un generador eléctrico 65 y una turbina de agua 64. El funcionamiento del sistema es de la siguiente manera. La presión en el interior del tubo distensible 1 generalmente es mayor que la presión exterior. Pero durante la fase de baja presión la onda de abultamiento que llega a la popa, la presión en la tubería extrema 60 es menor que la presión en el mar con el efecto de que el agua es succionada adentro de dicha tubería extrema a través de la válvula o las válvulas unidireccionales 61. Durante la fase de alta presión de la onda de abultamiento, la válvula unidireccional está cerrada y el agua no puede salir del tubo. El resultado es un ingreso neto de agua en la popa que mantiene la alta presión media en el tubo distensible 1 y el resultado es un flujo de agua más o menos uniforme a lo largo del tubo de popa a proa. Dicho agua fluye saliendo al mar por la proa a través de la turbina 64 generando electricidad según la técnica. Un amarre 7 sirve para sostener el dispositivo en su posición. Con ventaja la tubería extrema 60 puede estar equipada con una o más cámaras laterales 66 que pueden ser distensibles y rígidas, y pueden contener aire. Dichas cámaras laterales tienen el efecto de mejorar la coincidencia de la onda de abultamiento y suavizar el flujo de agua a la turbina. En esta realización el tubo distensible 1 puede además estar equipado con una multiplicidad de válvulas unidireccionales 68 dispersas a lo largo de la longitud del tubo con el efecto de permitir la entrada de más agua al tubo en estas posiciones y aumentar el flujo a través de la turbina 64.

La Figura 10 muestra a modo de ejemplo en sección transversal lateral longitudinal otra realización del sistema de válvula unidireccional que puede conectarse a la popa del tubo distensible o en alguna otra posición a lo largo de la longitud del tubo y se utiliza en combinación con una turbina en la proa como se describe con referencia a la Figura 9. El objetivo de esta realización es aumentar la presión en el interior del tubo distensible 1, con el fin de evitar cualquier tendencia del tubo a aplastarse hacia dentro. Haciendo referencia a la Figura 10, en esta realización el tubo distensible 1 está equipado en la popa con un tubo rígido 70 con pistón deslizante 71 que comprime y expande el fuelle corrugado 73. La elevada presión en el interior del tubo 1 es equilibrada por el resorte helicoidal 74. El espacio 78 dentro del fuelle se comunica con el interior del tubo distensible 1 a través de la válvula unidireccional 72 y con el mar a través de una válvula unidireccional 75, mientras que el espacio entre el fuelle y el tubo rígido 70 puede con ventaja ser descargado a la atmósfera a través del tubo 76. En funcionamiento la presión oscilante en la onda de abultamiento interior al tubo distensible 1 impulsa el pistón 71 de aquí para allá. Cuando se mueve a la izquierda en la Figura 10 succiona agua del mar a través de una válvula unidireccional 75 al espacio 78. Cuando se mueve a la derecha, impulsa el agua desde el espacio 78 a través de la válvula unidireccional 72 al tubo distensible 1. En esta realización el tubo distensible 1 está equipado en la proa con una turbina y un generador eléctrico sustancialmente como se ilustra y se describe en relación con la Figura 9 con el efecto de que la energía de las olas hace que el agua sea bombeada a través de la turbina generando energía eléctrica útil. Se pueden adoptar muchas otras disposiciones de los pistones según la técnica, con el efecto de bombeo de agua a presión elevada al tubo distensible 1. En particular, puede haber con ventaja un cierto número de cámaras 78, que pueden ponerse en funcionamiento en número variable, mediante trabado de las válvulas unidireccionales. De esta manera, puede variarse la mínima presión de onda de abultamiento necesaria para mover el pistón, para adaptarse a las condiciones de las olas, y se pueden adoptar otras estrategias de control más complejas.

En una realización alternativa similar a la de la Figura 9, pero que no se ilustra, la válvula unidireccional 61 puede invertirse en la popa, lo que permite al agua dejar la tubería extrema 60 pero no entrar y puede colocarse una turbina en esta corriente de agua en la popa. En otra alternativa en lugar de pasar a través de una turbina, el flujo de agua puede ser dirigido a un depósito elevado ya sea en el mar o en tierra con el efecto de que el agua es bombeada desde el mar hasta el depósito. Esto puede utilizarse, por ejemplo, para el lavado de estuarios o suministrar a piscifactorías.

La Figura 11 ilustra a modo de ejemplo el mejor modo de realizar la invención. En esta realización el tubo distensible 1 está equipado en la popa con dos o más acumuladores distensibles 80 y 81 que pueden tener cualquier forma. La válvula unidireccional 82, que podría con ventaja ser una válvula de pico de pato, permite que el fluido pase desde el tubo distensible 1 al acumulador 80, mientras que la válvula unidireccional 83 permite que el fluido pase del acumulador 81 al tubo distensible. El fluido puede fluir del acumulador 80 al acumulador 81 a través de la turbina 84 que impulsa el generador eléctrico 85. En funcionamiento, la onda de abultamiento que llega a la popa del tubo 1, en su fase de alta presión impulsa fluido a través de la válvula 82 al acumulador 80, y en su fase de baja presión succiona fluido del acumulador 81 al tubo 1. Esto mantiene una diferencia de presión entre los acumuladores y da lugar a un flujo de fluido más o menos constante a través de la turbina 84 que impulsa el generador eléctrico 85. La capacidad de distensión de los acumuladores, que pueden hacerse con ventaja de caucho, suaviza el flujo. El fluido, que puede ser agua u otro fluido hidráulico, circula de este modo desde el tubo distensible 1 a través de los acumuladores 80 y 81 pasando a través de la turbina 84 y de regreso al tubo en un circuito cerrado, con la ventaja de que se evita la contaminación por suciedad u organismos marinos. En esta realización la inercia del fluido contenido en los acumuladores reduce el movimiento de la popa del tubo distensible 1 con el efecto de que se mejora la producción de potencia. Los acumuladores en lugar de tener paredes distensibles pueden comprender unos tanques de agua no elásticos, abiertos al aire en la parte superior o tanques cerrados que contienen vejigas compresibles infladas con aire a presión. En esta realización, como se ilustra en la Figura 11, las paredes del tubo distensible 1 pueden con ventaja comprender una bandas longitudinales paralelas alternas de elastómero 86 intercaladas con unas bandas paralelas de material flexible pero no elástico tal como tela revestida de polímero 87, todos unidos para hacer un tubo estanco al agua, la proporción de elastómero a tela en la circunferencia se elige para conseguir la capacidad de distensión óptima. El convertidor de energía de las olas en conjunto, lastrado para flotar en la superficie del mar o cerca, se mantiene en su posición mediante el cable de amarre 7 conectado a la proa según la técnica.

#### APLICABILIDAD INDUSTRIAL

La invención está destinada a ser utilizada para extraer energía útil de las olas del océano, ya sea como energía eléctrica generada por un juego de turbina-alternador montado a bordo o en las cercanías, o como energía hidráulica que lleva un fluido a alta presión bombeado por la invención. Si el fluido es agua de mar bombeada a alta presión, puede utilizarse directamente para desalinización por ósmosis inversa según la técnica.

#### Referencias

[1] James Lighthill, *Waves in Fluids* (Ondas en los fluidos), Cambridge University Press (1978), p. 96 y siguientes.

**REIVINDICACIONES**

1. Aparato para convertir la energía de las olas superficiales del mar en energía útil, el aparato comprende:

- un tubo distensible largo (1), que contiene agua u otro líquido de densidad similar, sumergido o parcialmente sumergido en el mar, dicho tubo tiene unos extremos opuestos;
- unos medios (7) para orientar el tubo (1) de tal manera que en uso, con el tubo sumergido o parcialmente sumergido, el tubo se extiende generalmente en la dirección de propagación de la ola superficial; y
- unos medios (5) de extracción de energía en uno o ambos extremos del tubo;

**caracterizado porque** el tubo (1) tiene unas paredes elásticas o parcialmente elásticas (10), la elasticidad de las paredes es tal que el tubo distensible responde a los cambios de la presión interna con un cambio proporcional de su área en sección transversal desde su valor sin perturbación, se elige la capacidad de distensión elástica de las paredes del tubo y la longitud del tubo es tal que, en uso, una onda de presión longitudinal, asociada con dicho cambio de área en sección transversal, se puede propagar a lo largo de la longitud del tubo como una onda de abultamiento en dicho agua u otro líquido contenido en el tubo, la velocidad de propagación de dichas ondas de presión a lo largo del tubo tiene como resultado que dichas ondas superficiales son generalmente iguales o cercanas de la velocidad de propagación de dichas ondas superficiales de modo que la energía de dichas ondas superficiales puede ser transferida a dicha onda de abultamiento de la que se puede extraer energía útil mediante los medios de extracción de energía (5).

2. Aparato según la reivindicación 1, en donde el tubo (1) tiene una o más paredes que se extienden alrededor de una circunferencia del tubo, dicha(s) pared(es) es elástica en una parte de la circunferencia, (10) y en otra parte de la circunferencia es flexible pero no elástica (12).

3. Aparato según la reivindicación 2, en donde la pared del tubo (1) comprende unas bandas longitudinales paralelas de caucho (86) intercaladas con unas bandas longitudinales paralelas de material flexible no elástico (87).

4. Aparato según cualquier reivindicación anterior, en donde el tubo (1) tiene unas paredes corrugadas (13) o elípticas.

5. Aparato según la reivindicación 1, en donde el tubo (1) tiene unas paredes (10), dichas paredes comprenden una estructura reticular (14) de material flexible o elástico que rodea unos espacios que están inflados con aire comprimido o cualquier otro fluido.

6. Aparato según la reivindicación 1, en donde el tubo (1) tiene unas paredes, dichas paredes comprenden unos espacios internos que pueden ser inflados con aire u otro fluido con el efecto de que se puede ajustar la capacidad de distensión del tubo.

7. Aparato según cualquier reivindicación anterior, en donde la capacidad de distensión del tubo (1) varía a lo largo de la longitud del tubo.

8. Aparato según la reivindicación 7, en donde la forma en sección transversal o tamaño en sección transversal del tubo (1), y, en consecuencia, la capacidad de distensión del tubo, varían a lo largo de la longitud del tubo.

9. Aparato según cualquier reivindicación anterior, que comprende además unos medios de flotación (4) de tal manera que el tubo (1) flotará cerca de la superficie del mar (3).

10. Aparato según cualquier reivindicación anterior, en donde los medios (5) de extracción de energía comprenden un pistón (21, 31) que se mueve en un cilindro (20, 30).

11. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde los medios (5) de extracción de energía comprenden una o más válvulas unidireccionales (38, 61) en el tronco del tubo (1) y una turbina de agua conectada al tubo en la proa o popa que impulsa directa o indirectamente un generador eléctrico.

12. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde los medios de extracción de energía comprenden dos o más válvulas unidireccionales (82, 83) en la popa del tubo (1) que se comunican con dos o más acumuladores distensibles (80, 81) con una turbina de agua (84) entre los acumuladores que impulsa directa o indirectamente un generador eléctrico (85).

13. Un método para convertir la energía de las olas superficiales del mar en energía útil, utilizar un aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, el tubo de dicho aparato contiene agua u otro líquido de densidad similar, el método comprende las etapas de:

- sumergir o sumergir parcialmente el tubo (1) en el mar;



- orientar (7) el tubo dentro del mar, de tal manera que el tubo se extiende generalmente en la dirección las olas superficiales del mar; y
- utilizar los medios (5) de extracción de energía para extraer energía útil de las ondas de abultamiento.

5 14. Un método según la reivindicación 13, en donde el tubo (1) está completamente lleno con dicho agua u otro líquido.

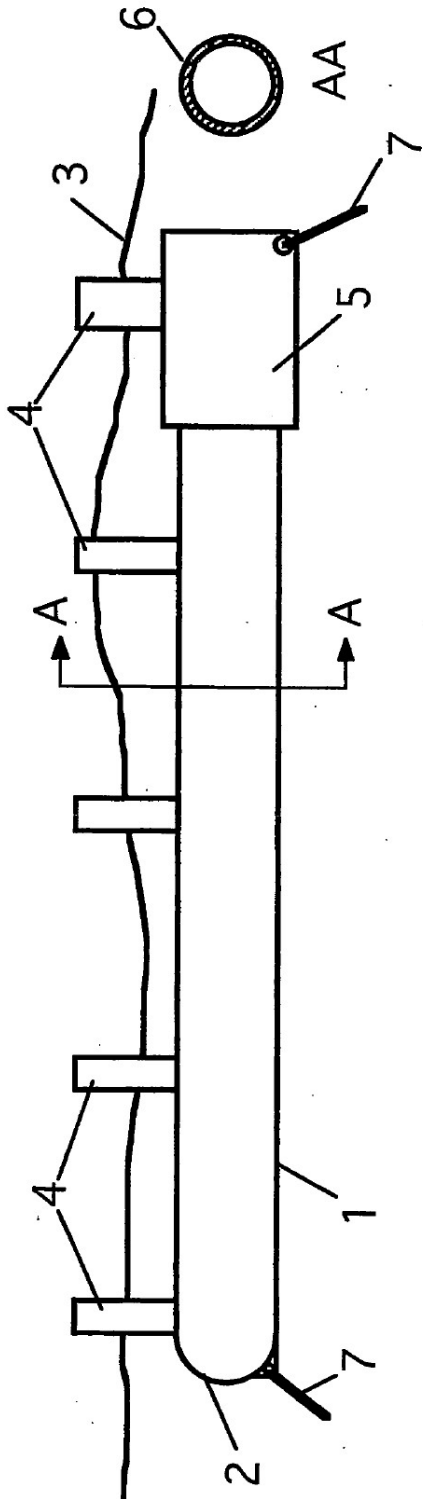


Figura 1

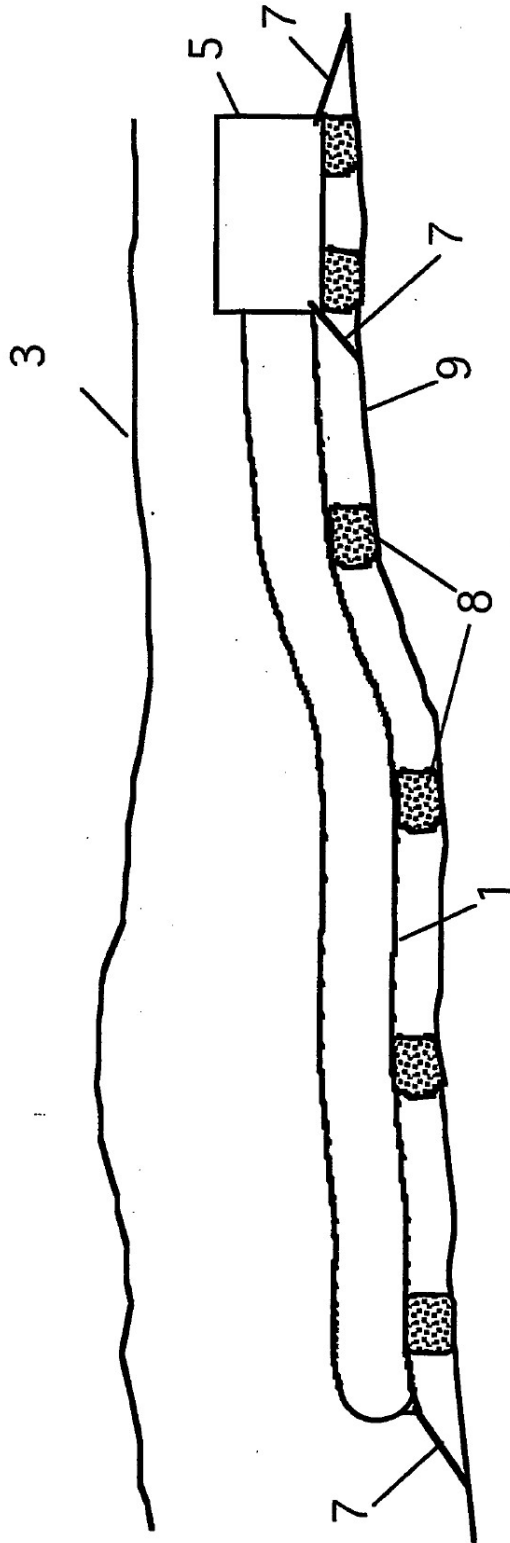
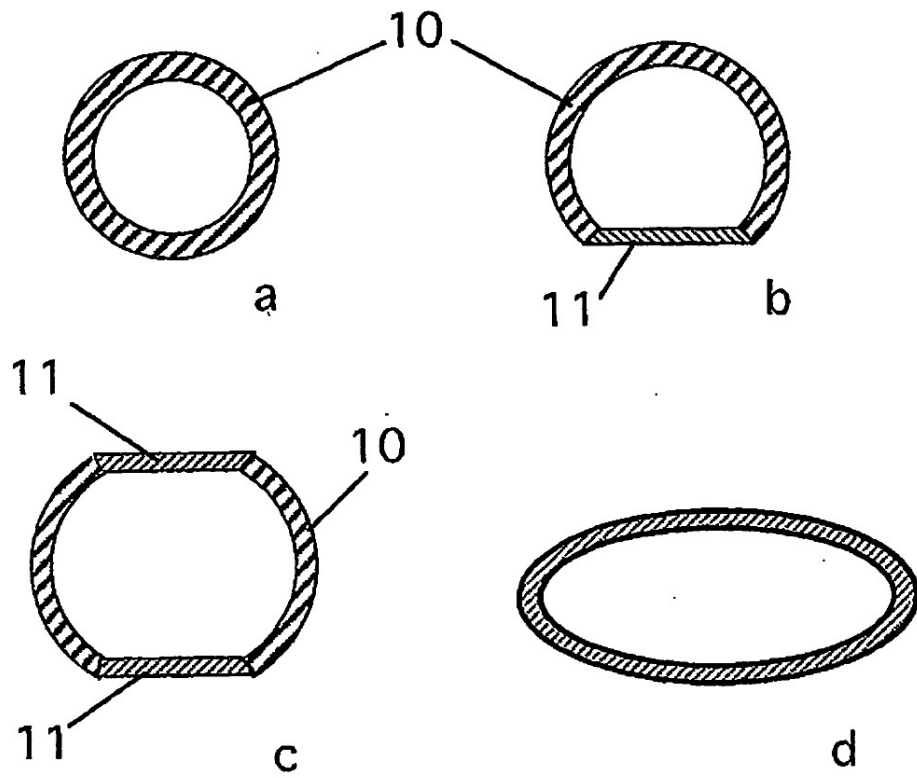
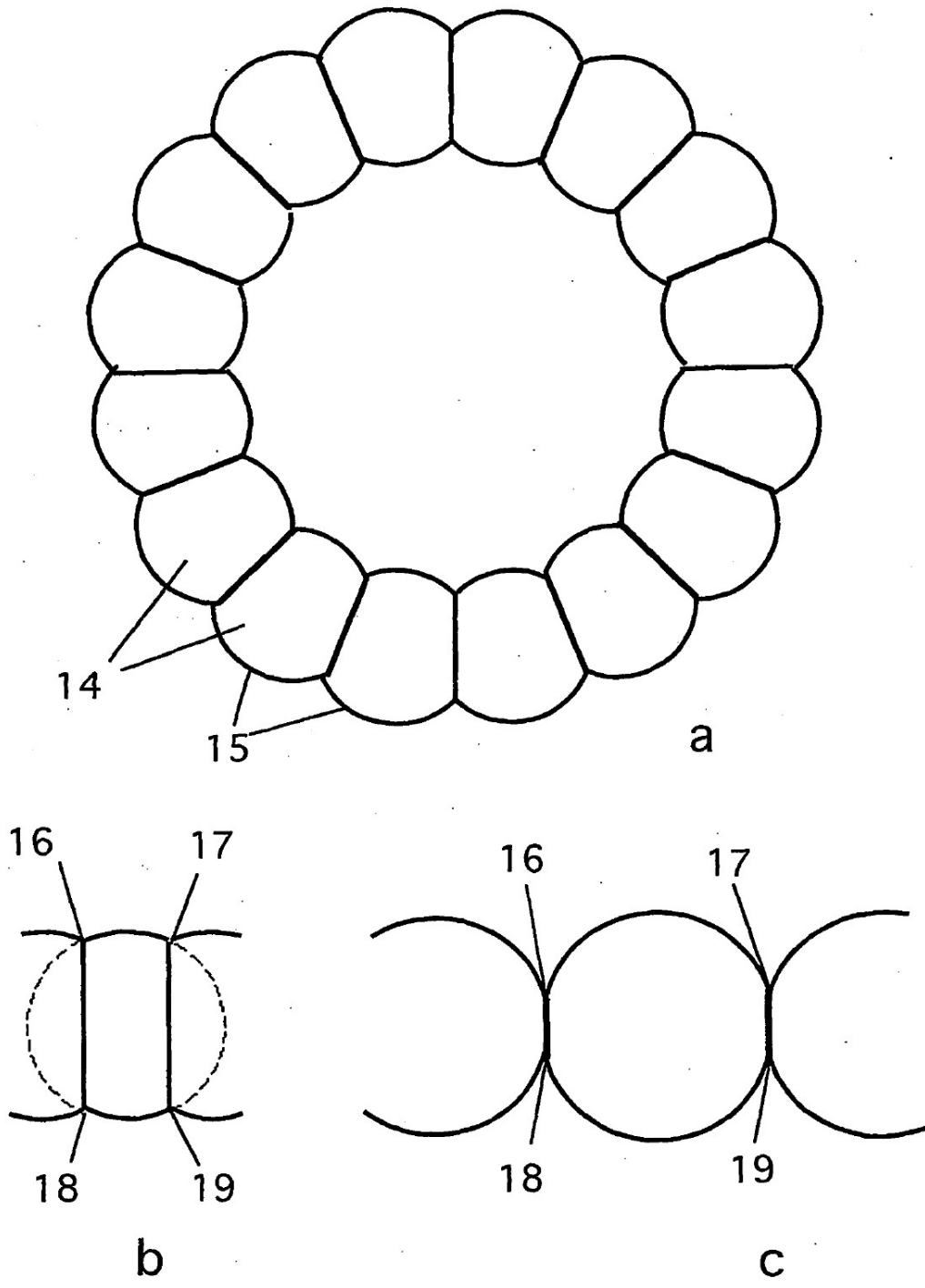


Figura 2



**Figura 3**



**Figura 4**

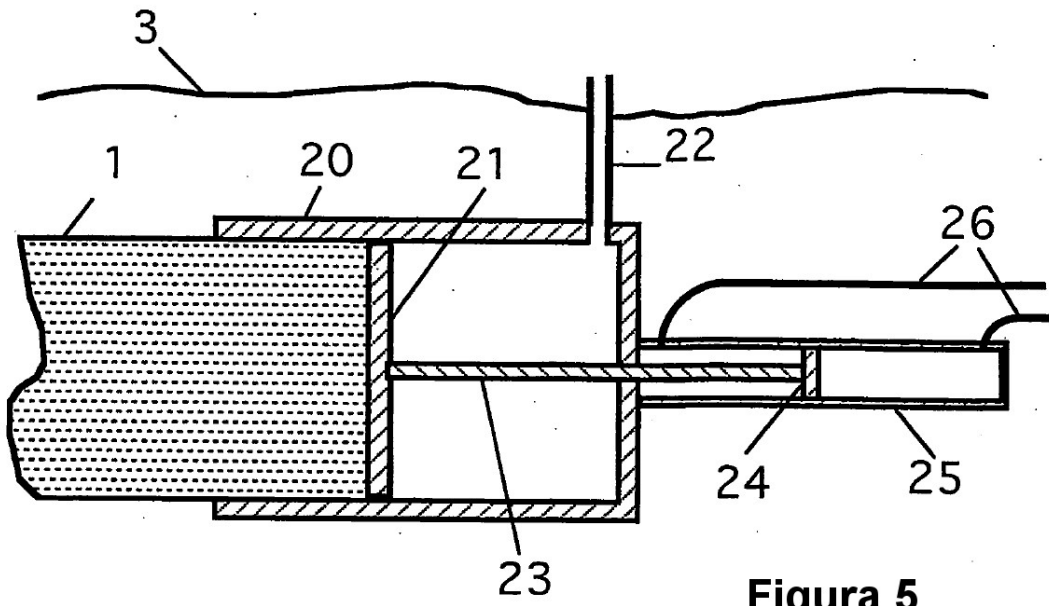


Figura 5

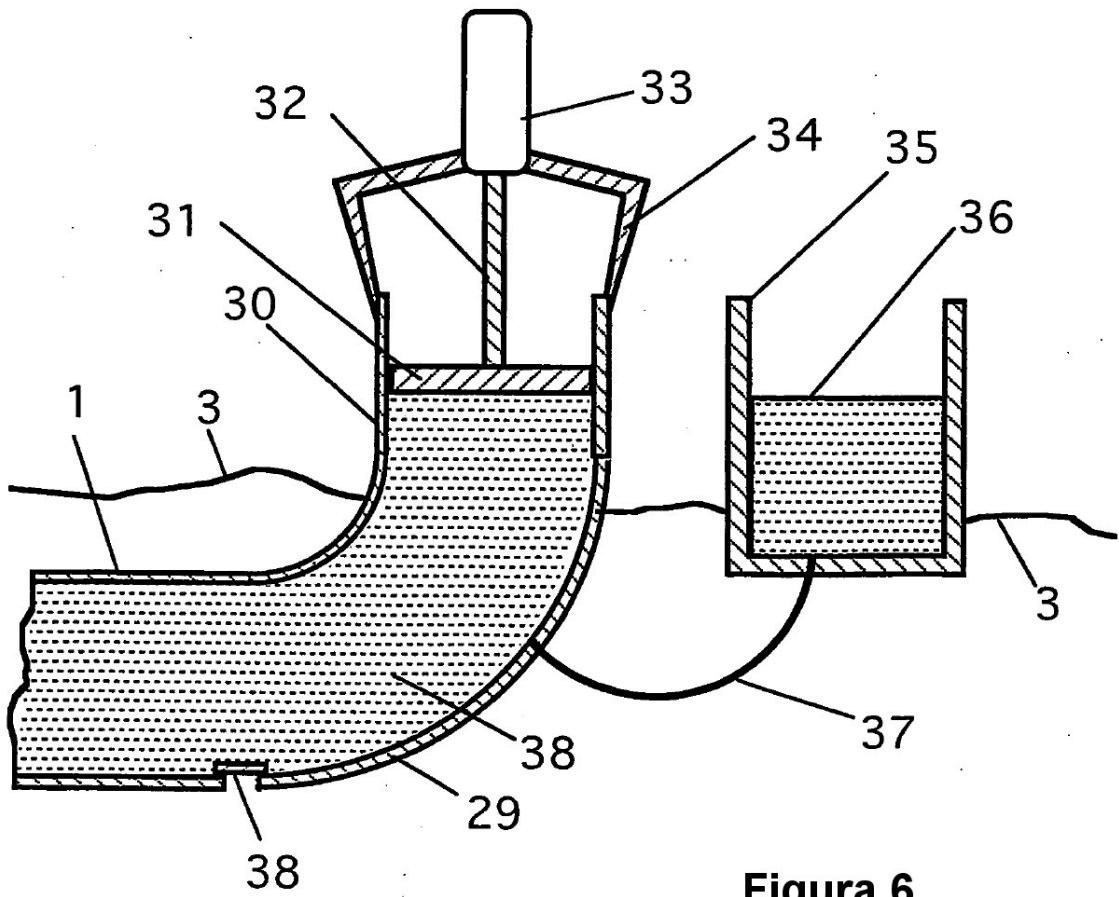


Figura 6

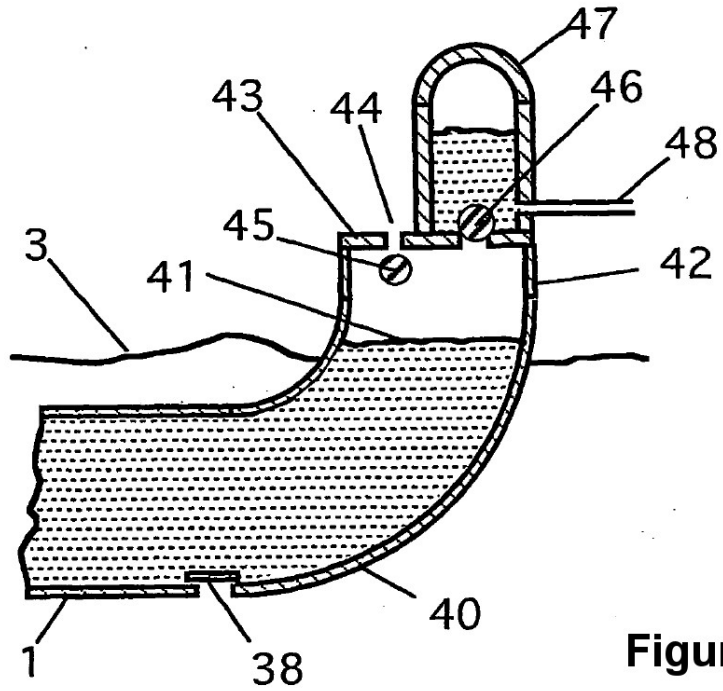


Figura 7

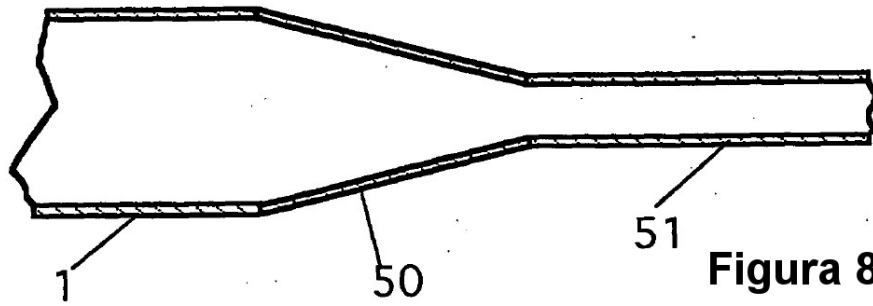


Figura 8

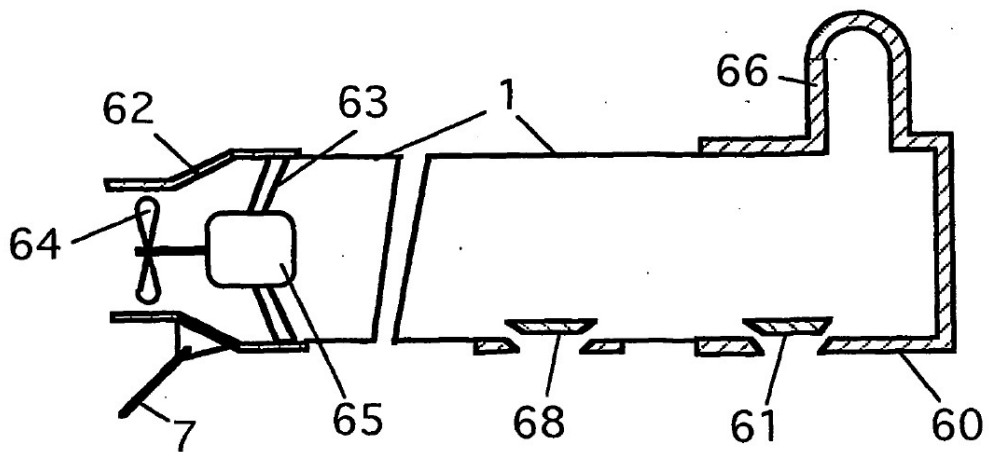


Figura 9

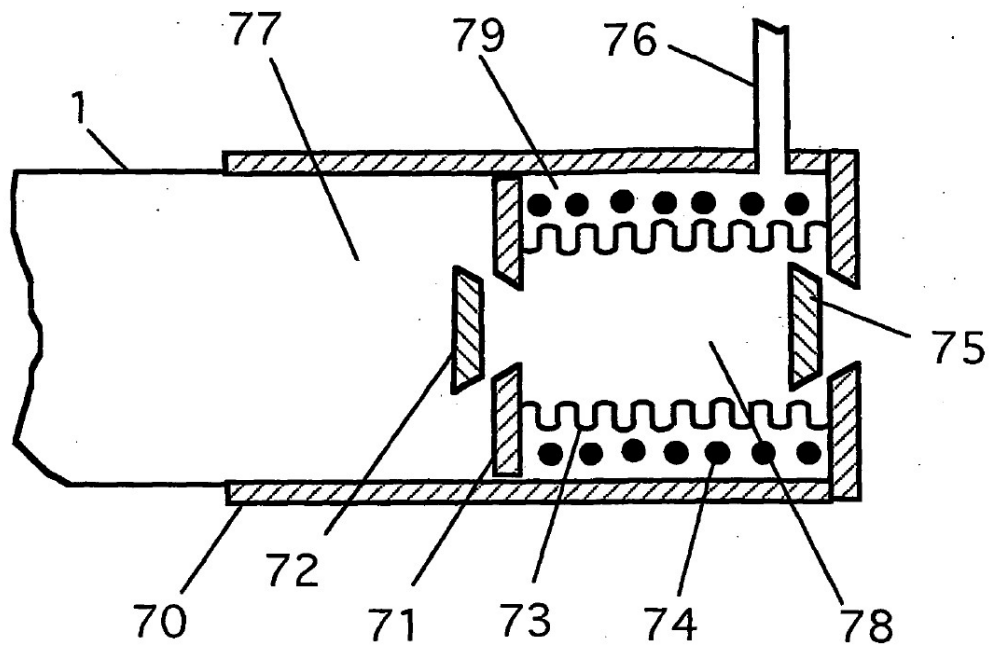


Figura 10

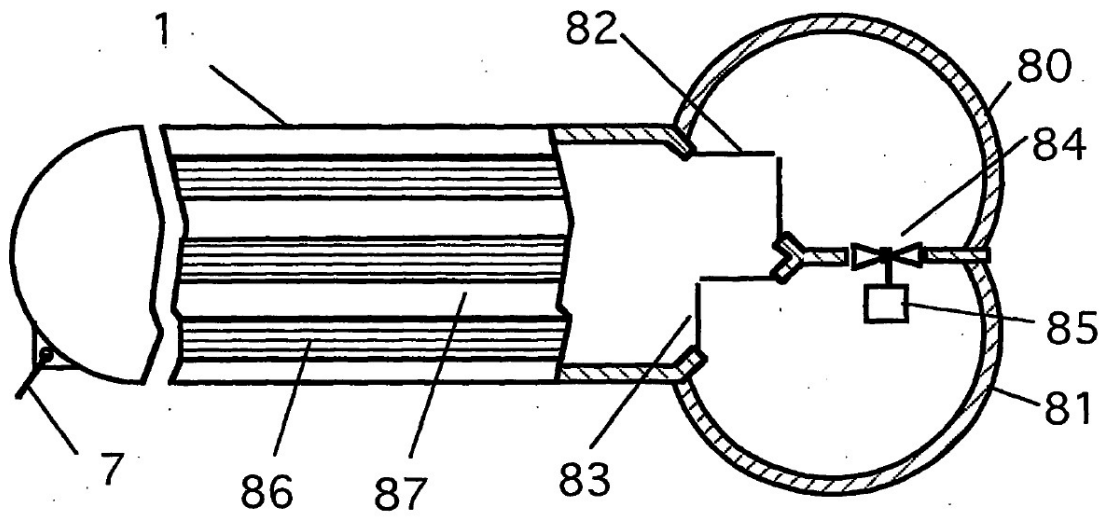


Figura 11