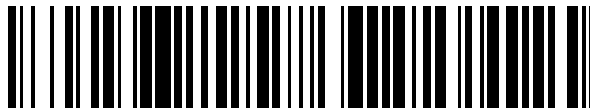


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 727 655**

51 Int. Cl.:

F03B 13/24 (2006.01)

F03B 13/10 (2006.01)

F03B 13/14 (2006.01)

E02B 9/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.08.2009 PCT/AU2009/001128**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.03.2010 WO10022474**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.08.2009 E 09809127 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2019 EP 2318699**

54 Título: **Mejoras en la extracción de energía de olas oceánicas**

30 Prioridad:

01.09.2008 AU 2008904516
23.02.2009 AU 2009900774

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.10.2019

73 Titular/es:

WAVE POWER RENEWABLES LIMITED (100.0%)
Suite 3408, 34th Floor, China Resources Building,
26 Harbour Road
Wanchai, Hong Kong, CN

72 Inventor/es:

DENNISS, TOM y
HUNTER, SCOTT

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 727 655 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

Mejoras en la extracción de energía de olas oceánicas

Campo de la invención

5 Esta invención se refiere a la generación de energía sostenible. Más particularmente, la presente invención se refiere a mejoras en la extracción de energía de olas oceánicas y a sistemas y métodos para ello.

Antecedentes de la invención

Cualquier discusión de la técnica anterior a lo largo de la memoria no debe considerarse de ninguna manera como una admisión de que tal técnica anterior sea ampliamente conocida o que forme parte de conocimientos generales corrientes en este campo.

10 Las preocupaciones medioambientales y la conciencia de los recursos finitos de las fuentes de combustibles de hidrocarburos tradicionales han llevado a la investigación de fuentes de energía no contaminantes sostenibles, tales como olas, viento, mareas, energía geotérmica y energía solar.

15 Se han propuesto numerosos tipos diferentes de sistemas de generación de energía de olas. Un sistema emplea el principio básico de utilizar el movimiento vertical inherente al movimiento de las olas para efectuar un movimiento giratorio de una turbina con el fin de accionar directa o indirectamente un generador para producir electricidad. En tales sistemas, con frecuencia están presentes condiciones de flujo de aire frecuentemente reversibles, causadas por el movimiento oscilatorio de las olas. Se han diseñado varias turbinas unidireccionales especialmente configuradas para permitir que la turbina continúe funcionando en respuesta a tales condiciones de flujo de aire reversible.

20 Los documentos WO2005095790, EP0950812, WO2006011817, US1455718, CA2286545, JP63277868, GB2325964, y US5770893 describen cada uno de ellos aparatos de conversión de energía de las olas con una columna de agua oscilante.

Sin embargo, muchos, si no la totalidad, de estos sistemas anteriores operan con una eficiencia relativamente baja debida a las pérdidas del sistema al convertir el movimiento oscilatorio de las olas en energía mecánica rotacional.

25 Además, muchos sistemas anteriores de generación de energía de las olas son muy dependientes de la dirección de desplazamiento de la ola oceánica predominante. Además, muchos sistemas existentes de generación de energía de las olas están amarrados para estar orientados constantemente en una dirección y, por lo tanto, funcionan por debajo de la eficiencia óptima durante largos períodos debido a los cambios en la dirección de las olas que surgen de los cambios naturales de las mareas.

30 Otra desventaja de muchos sistemas conocidos generación de energía de las olas que funcionan con el principio básico de utilizar el movimiento vertical de olas para efectuar un movimiento giratorio de una turbina que, a su vez, acciona un generador para que produzca electricidad, es que estos sistemas se basan comúnmente en el principio de amplificación resonante inducida por gravedad a asegurar la eficiencia de la operación con el fin de alcanzar los niveles deseados de salida de potencia. En tales sistemas, es necesario convertir el movimiento oscilatorio del agua en un flujo de aire. Es decir, muchos sistemas actualmente conocidos requieren un proceso de conversión de hidráulico a neumático, lo que reduce aún más la eficiencia del proceso de conversión de energía total.

35 Además, muchos sistemas conocidos generación de energía de las olas deben construirse para soportar las grandes fuerzas impredecibles a las que están sometidos por las olas oceánicas. Para garantizar la sostenibilidad de un sistema a lo largo de su vida útil, se requiere incorporar un nivel de redundancia en el sistema. Por ejemplo, se requiere comúnmente que los sistemas de generación de energía oceánica resistan las fuerzas asociadas con las grandes olas de "tormentas que ocurren una vez cada cien años". La magnitud de las fuerzas en estos casos extremos es muchas veces mayor que la de las fuerzas que surgen en la mayoría de las tormentas y, en consecuencia, se incurre en costes adicionales significativos al fabricar, instalar y mantener el sistema. Se ha encontrado que estos costes adicionales son a menudo tan altos que pueden hacer que los sistemas sean inviables comercialmente.

40 Los sistemas construidos para resistir las fuerzas más extremas son necesariamente de tamaño más grande y, en consecuencia, se reduce el atractivo visual de estos sistemas. El atractivo visual o la estética de los sistemas de energía sostenible, tales como los sistemas de extracción de energía de olas oceánicas, es un factor importante, no solo para reducir el impacto visual en el entorno circundante, sino también para obtener la aceptación pública de estos medios alternativos de producción de energía.

45 Un objeto de la presente invención es superar o mejorar una o más de las desventajas de la técnica anterior, o al menos proporcionar una alternativa útil.

Compendio de la invención

Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un sistema de extracción de energía de olas oceánicas que comprende: al menos un conducto para recibir una columna de agua oscilante, teniendo el conducto un primer segmento que, en uso, es totalmente sumergible por debajo del nivel medio de la superficie de una masa de agua, teniendo dicho primer segmento una entrada, en el que la entrada del primer segmento es configurable para orientarse hacia la ola oceánica predominante; un segundo segmento dispuesto transversalmente con respecto al primer segmento y un segmento de control de flujo intermedio a los segmentos primero y segundo, el segmento de control de flujo es operable para provocar un cambio gradual en la dirección del agua que fluye desde el primer segmento hacia el segundo segmento e inhibir así el flujo turbulento de la columna de agua oscilante que fluye dentro del conducto; una turbina en comunicación de fluido con el segundo segmento del conducto, de tal manera que la turbina sea accionable por un flujo de fluido procedente del segundo segmento, siendo generado el flujo de fluido por las oscilaciones de la columna de agua oscilante dentro del conducto; y un generador eléctrico configurado para su rotación por la turbina con el fin de generar energía eléctrica; y caracterizado por que el segmento de control de flujo incluye una porción inclinada dispuesta en la unión de los segmentos primero y segundo del conducto y que se extiende entre ellos.

El segmento de control de flujo incluye una porción inclinada plana y está configurado para producir un cambio suave y gradual en la dirección de la columna de agua oscilante, inhibiendo así la extensión del flujo turbulento dentro del conducto.

El conducto se ubica preferiblemente en una masa de agua, tal como un océano, por lo que la columna de agua oscila en respuesta al aumento y la caída de las olas que pasan por el conducto.

El flujo de fluido es preferiblemente bidireccional. Preferiblemente, el fluido asociado con el flujo de fluido es un gas o un líquido. En ciertas realizaciones, el fluido es aire. En estas realizaciones, la turbina está preferiblemente, pero no necesariamente, situada por encima del nivel medio de la superficie de la masa de agua en la que se encuentra el conducto. En otras realizaciones, el fluido es agua. En estas realizaciones, la turbina puede ser, por ejemplo, una turbina de agua que preferiblemente, pero no necesariamente, está sumergida por debajo del nivel medio de la superficie de la masa de agua. Por consiguiente, se apreciará que la turbina puede ser accionada directa o indirectamente por el flujo de fluido asociado con la columna de agua oscilante.

El primer segmento, el segundo segmento y el segmento de control de flujo del conducto pueden formarse integralmente como una unidad de una sola pieza. Preferiblemente, el conducto es un tubo en forma de L. El conducto está configurado preferiblemente de tal manera que, en uso, el primer segmento está dispuesto en una orientación sustancialmente horizontal y el segundo segmento está dispuesto en una orientación sustancialmente vertical.

En ciertas realizaciones preferidas, la longitud del primer segmento del conducto es mayor que la longitud del segundo segmento del conducto. En otras formas preferidas, la longitud del segundo segmento es mayor que la longitud del primer segmento. En otras realizaciones preferidas, los segmentos primero y segundo son sustancialmente de la misma longitud. La longitud del primer segmento del conducto se determina preferiblemente por la fórmula $L = T^2/4$, donde L es la longitud del primer segmento en metros, y T es el período de las olas de un océano en segundos. En una forma preferida, la longitud del primer segmento es de aproximadamente 25 m. Preferiblemente, la longitud del primer segmento del conducto es variable para sintonizar el conducto con el fin de adaptarlo al período de las olas de un océano. En diversas realizaciones, el primer segmento del conducto tiene una configuración telescópica para variar la longitud del primer segmento. La configuración telescópica del primer segmento puede incluir una pluralidad de porciones, tales como tubos, dispuestos para facilitar el movimiento de deslizamiento relativo de los tubos. Cada par de segmentos telescópicos puede tener unos medios de bloqueo para bloquear los tubos entre ellos con el fin de establecer la longitud deseada del primer segmento del conducto. En otras formas preferidas, la longitud del segundo segmento puede ser sintonizarse de manera similar.

Preferiblemente, el conducto tiene un área en sección transversal interna constante. El área en sección transversal interna es preferiblemente circular. En otras realizaciones, el área en sección transversal interna puede ser cuadrada o rectangular. Se apreciará que el área en sección transversal interna del conducto puede tener cualquier forma adecuada, incluyendo formas irregulares y puede variar en tamaño y forma a lo largo de la longitud del conducto o segmento. En una forma preferida, el área en sección transversal interna tiene un diámetro de aproximadamente 10 m.

Preferiblemente, la turbina funciona de manera unidireccional en respuesta al flujo de fluido bidireccional. La turbina puede ser una turbina accionada por aire o una turbina accionada por agua.

El sistema de extracción de energía de olas oceánicas puede incluir un sistema de amarre para amarrar el conducto en una ubicación deseada. El sistema de amarre es preferiblemente uno de un sistema de amarre fijo, un sistema de amarre flotante, un sistema de amarre tensado y un sistema de amarre flojo.

El sistema de extracción de energía de olas oceánicas puede incluir un elemento de flotabilidad para facilitar la flotación del conducto o de cada conducto. Preferiblemente, el elemento de flotabilidad está montado lateralmente

en el conducto. El elemento de flotabilidad puede montarse lateralmente en uno o ambos lados del conducto o de cada conducto. Más preferiblemente, el elemento de flotabilidad puede montarse lateralmente en uno o en ambos lados del segundo segmento del conducto.

5 El sistema de extracción de energía de olas oceánicas puede incluir una pluralidad de conductos, cada uno de los cuales está configurado para recibir una columna de agua oscilante asociada. Cada uno de la pluralidad de conductos puede estar dispuesto para orientarse en la misma dirección con respecto a la ola oceánica predominante. Alternativamente, cada conducto de la pluralidad de conductos puede estar dispuesto para orientarse en una dirección diferente respecto de las de los otros y, por lo tanto, con respecto a la ola oceánica predominante. El sistema de extracción de energía de olas oceánicas puede incluir dos conductos dispuestos a 180 grados uno de otro, de tal manera que un conducto se orienta hacia la ola oceánica predominante y el otro conducto se orienta alejado de la ola oceánica. La pluralidad de conductos puede estar dispuesta a lo largo de un eje común. Alternativamente, la pluralidad de conductos puede estar dispuesta alrededor de un eje común. Preferiblemente, la pluralidad de conductos está dispuesta para formar uno de una formación lineal y una formación polar. En algunas realizaciones preferidas, la pluralidad de conductos incluye grupos de conductos, por lo que dos o más grupos están dispuestos para producir la formación de conductos. En ciertas realizaciones, cada grupo de conductos tiene la misma formación. En otras formas preferidas, al menos un grupo de conductos tiene una formación diferente a uno o más de los otros grupos. Preferiblemente, los conductos de cada grupo están dispuestos para ser uno a lo largo o en torno a un eje común.

20 En una forma particularmente preferida, cada conducto se gira con respecto a un eje que se extiende transversalmente al eje común a lo largo, o alrededor del cual, están dispuestos los conductos. Por ejemplo, cada conducto podría rotarse con un ángulo " α " de, por ejemplo, aproximadamente 15 grados con respecto al eje común. Por supuesto, se apreciará que el ángulo " α " no se limita a ningún ángulo en particular y puede seleccionarse para adaptarse al clima particular de las olas de la ubicación donde se ha de instalar el sistema. En ciertas realizaciones, un primer grupo de conductos se gira para extenderse en un primer ángulo con respecto al eje común, y un segundo grupo de conductos se gira para extenderse en un segundo ángulo con respecto al eje común. En una forma preferida, el primer grupo de conductos se gira para extenderse en un ángulo de aproximadamente 15 grados con respecto al eje común, y el segundo grupo de conductos se gira para extenderse en un ángulo de aproximadamente menos 15 grados con respecto al eje común.

30 El sistema de extracción de energía de olas oceánicas está configurado preferiblemente de tal manera que un extremo abierto (o entrada) de cada conducto se encuentra sustancialmente a la misma profundidad por debajo del nivel medio de la superficie de la masa de agua en la que se encuentra, en uso, el sistema.

Preferiblemente, una turbina separada está montada en cada conducto de la pluralidad de conductos de tal manera que cada turbina es accionada independientemente por la columna de agua oscilante del conducto asociado.

35 Según un segundo aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo de aumento de amplitud de ola para un sistema de extracción de energía de olas oceánicas, incluyendo el dispositivo:

una pluralidad de conductos para ampliar una amplitud de una ola oceánica, estando dispuesta la pluralidad de conductos alrededor de un eje común, extendiéndose transversalmente cada conducto se desde el eje común y estando configurado para recibir una columna de agua oscilante de tal manera que la oscilación de cada columna de agua produzca un flujo de fluido correspondiente para accionar una turbina.

40 Cada flujo de fluido producido por la columna de agua puede ser un flujo de líquido tal como un flujo de agua o un flujo de gas, tal como un flujo de aire. Cada flujo de fluido es preferiblemente bidireccional.

En una forma preferida, el dispositivo de aumento de amplitud de ola tiene dos conductos dispuestos alrededor del eje común, de tal manera que la eficiencia del sistema de extracción de energía de olas oceánicas es en gran medida independiente de la dirección de desplazamiento de una ola oceánica.

45 En otra forma particularmente preferida, el dispositivo de aumento de amplitud de ola tiene preferiblemente tres conductos dispuestos alrededor del eje común, de tal manera que la eficiencia del sistema de extracción de energía de olas oceánicas es en gran medida independiente de la dirección de desplazamiento de una ola oceánica. Preferiblemente, los tres conductos están espaciados por igual alrededor del eje común a aproximadamente 120 grados entre ellos. Naturalmente, los expertos en la técnica apreciarán que el número de conductos no está limitado a dos o tres, sino que puede ser cualquier número adecuado para reducir el efecto de la dirección de la ola sobre el rendimiento del sistema.

50 Cada flujo de fluido bidireccional se puede usar para accionar la misma turbina. Alternativamente, cada flujo de fluido puede accionar una turbina independiente separada. Preferiblemente, la o cada turbina gira unidireccionalmente en respuesta a los flujos de fluidos bidireccionales.

55 Preferiblemente, la turbina incluye un rotor que comprende:

un cubo central; y

una pluralidad de álabes rectos de sección aerodinámica que se extienden radialmente, cada uno conectado con el cubo, siendo una sección transversal de cada uno de los álabes aproximadamente simétrica alrededor de una línea que define la altura máxima de combadura y que es generalmente constante a lo largo de su longitud que se extiende radialmente,

- 5 en donde la forma aproximadamente simétrica de los álabes y su orientación con respecto al cubo, facilita la rotación unidireccional del rotor en respuesta a flujos de fluidos axiales reversibles a su través.

Cada conducto tiene preferiblemente un primer segmento, un segundo segmento dispuesto transversalmente al primer segmento y un segmento de control de flujo intermedio entre los segmentos primero y segundo, estando configurado el segmento de control de flujo para inhibir el flujo turbulento de la columna de agua oscilante que fluye dentro del conducto. Preferiblemente, cada primer segmento es un segmento sustancialmente horizontal con un extremo abierto (o entrada) orientado lejos del eje común. Preferiblemente, la pluralidad de conductos está configurada de tal manera que el extremo abierto (o entrada) de cada conducto está sustancialmente a la misma profundidad por debajo del nivel medio de la superficie de la masa de agua en la que se encuentra, en uso, el sistema.

- 15 Según un tercer aspecto de la invención, se proporciona una columna de agua oscilante que recibe un conducto para un sistema de extracción de energía de olas oceánicas, incluyendo el conducto:

un primer segmento;

un segundo segmento dispuesto transversalmente al primer segmento; y

20 un segmento de control de flujo intermedio entre los segmentos primero y segundo, estando dispuesto el segmento de control de flujo para permitir la comunicación de fluido entre los segmentos primero y segundo y estando configurado para inhibir el flujo de fluido turbulento dentro del conducto.

Según un cuarto aspecto de la invención, se proporciona un sistema de extracción de energía de olas oceánicas que incluye:

25 al menos un conducto sumergido por debajo del nivel medio de la superficie de una masa de agua, recibiendo el al menos un conducto una columna de agua que oscila dentro del conducto en respuesta a un diferencial de presión causado por la subida y la caída de las olas que pasan por el al menos un conducto; y

una unidad de conversión de energía en comunicación de fluido con el al menos un conducto para convertir hidráulicamente la energía en la columna de agua oscilante en energía eléctrica.

30 En este aspecto de la invención, el al menos un conducto está completamente sumergido de manera que todo el conducto, incluyendo ambos extremos del conducto y una superficie operativamente superior del conducto, se encuentran completamente por debajo del nivel medio de la superficie de la masa de agua.

El conducto del cuarto aspecto de la invención puede ser recto, en forma de L, en forma de U o cualquier otra forma adecuada para sumergirse por debajo del nivel medio de la superficie de la masa de agua.

35 La unidad de conversión de energía incluye preferiblemente una turbina en comunicación hidráulica con la columna de agua oscilante, siendo la turbina accionada hidráulicamente por la columna de agua oscilante; y un generador eléctrico configurado para rotación por la turbina accionada hidráulicamente con el fin de generar la energía eléctrica.

40 Preferiblemente, la turbina es una turbina de agua. La turbina de agua está configurada preferiblemente para funcionar de manera unidireccional en respuesta al flujo bidireccional de la columna de agua oscilante. En diversas realizaciones, la turbina de agua se selecciona del grupo que incluye las turbinas Denniss-Auld, Wells, Setoguchi, Darrieus y Gorlov. Sin embargo, los expertos en la técnica apreciarán que el tipo de turbina utilizada no se limita a las enumeradas aquí y que se puede usar cualquier otra turbina adecuada.

45 En ciertas realizaciones, la turbina está dispuesta de tal manera que su eje de rotación es transversal a un eje longitudinal del conducto. En otras realizaciones, la turbina está dispuesta de tal manera que su eje de rotación es sustancialmente paralelo al eje longitudinal del conducto. En algunas realizaciones, el eje de rotación de la turbina es coaxial con el conducto.

50 En algunas realizaciones, el conducto descansa sobre el fondo de la masa de agua. En otras realizaciones, el conducto se mantiene preferiblemente en una posición y orientación deseadas en la masa de agua mediante un sistema de amarre. El sistema de amarre puede mantener el conducto a una altura predeterminada sobre el fondo de la masa de agua.

Para mantener el conducto sustancialmente a la altura predeterminada, el sistema de amarre puede incluir un elemento de flotabilidad para facilitar la flotación del conducto.

Preferiblemente, el conducto sumergido está dispuesto en una orientación sustancialmente horizontal.

La longitud del conducto se relaciona preferiblemente con el período (y, por lo tanto, con la longitud de ola) de las olas en la masa de agua. En ciertas formas preferidas, la longitud del conducto está en el intervalo de aproximadamente 25% a 45%, de manera más preferible aproximadamente 37%, de la longitud de ola de las olas predominantes.

En algunas realizaciones preferidas, la longitud del conducto es variable para sintonizar el conducto con el fin de adaptarse al período de las olas, y para permitir cambios en el período de la ola predominante a lo largo del tiempo. En diversas realizaciones, el conducto tiene una configuración telescópica para variar la longitud del conducto. La configuración telescópica del conducto puede incluir una pluralidad de porciones discretas; tales como tubos, dispuestos para facilitar el movimiento de deslizamiento relativo de los tubos con el fin de variar la longitud del conducto. Cada par de segmentos telescópicos tiene preferiblemente unos medios de bloqueos asociados para bloquear los tubos entre ellos con el fin de para fijar la longitud deseada del conducto.

Preferiblemente, el conducto tiene un área en sección transversal interna constante. En algunas realizaciones preferidas, el área en sección transversal interna puede ser cuadrada o rectangular. En otras realizaciones, el área en sección transversal interna es circular. Se apreciará que el área en sección transversal interna del conducto puede tener cualquier forma adecuada, incluidas formas irregulares. En algunas realizaciones, el área en sección transversal del conducto varía a lo largo de la longitud del conducto o a lo largo de una o más secciones del conducto.

En diversas realizaciones preferidas, el sistema de extracción de energía de olas oceánicas incluye dos o más conductos dispuestos para producir una formación de conductos, estando dispuesto cada conducto en la formación para recibir una columna de agua oscilante asociada. Los dos o más conductos están dispuestos preferiblemente para orientarse en la misma dirección con respecto a la ola oceánica predominante. En algunas realizaciones preferidas, los dos o más conductos están dispuestos en una relación yuxtapuesta. Sin embargo, en ciertas realizaciones es ventajoso tener una formación de conductos en la que los dos o más conductos están orientados en diferentes direcciones entre ellos y, por lo tanto, con respecto a la ola oceánica predominante. En ciertas realizaciones, los conductos pueden alinearse transversalmente entre ellos. En una forma preferida, los dos o más conductos son sustancialmente perpendiculares entre ellos.

En ciertas realizaciones, cada conducto en la formación de conductos tiene sustancialmente la misma longitud que los otros conductos. En otras formas preferidas, la formación de conductos puede incluir conductos de diferentes longitudes para tener en cuenta olas de diferentes longitudes de ola.

En algunas realizaciones, la formación de conductos está configurada de tal manera que cada una de las columnas de agua oscilantes asociadas accionan una sola turbina. En otras realizaciones, cada columna de agua oscilante, o un grupo de columnas de agua oscilante, desde el conducto respectivo, o grupo de conductos, acciona una turbina asociada. En otras realizaciones, la formación de conductos puede estar producida por grupos discretos de conductos, por lo que cada grupo tiene una turbina asociada que el grupo está configurado para accionar.

Preferiblemente, el sistema incluye un bastidor de soporte para mantener los conductos en una relación espaciada relativa entre ellos.

Según un quinto aspecto de la invención, se proporciona un método para extraer energía de una ola oceánica, incluyendo el método:

colocar al menos un conducto dentro de una masa de agua de tal manera que el conducto reciba una columna de agua, oscilando la columna de agua dentro del conducto en respuesta a un diferencial de presión causado por la subida y la caída de las olas que pasan por el al menos un conducto; y

convertir hidráulicamente la energía de la columna de agua oscilante en energía eléctrica.

Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones preferidas de la invención se describirán ahora, sólo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una vista esquemática de una realización de un sistema de extracción de energía de olas oceánicas según la invención;

La figura 2 es una vista lateral de una realización de un segmento telescópico de un conducto para el sistema actual de extracción de energía de olas oceánicas;

La figura 3 es una vista en planta de una realización de una pluralidad de conductos dispuestos alrededor de un eje común;

La figura 4 es una vista esquemática de otra realización de un sistema de extracción de energía de olas oceánicas según la invención;

La figura 5 es una vista esquemática de otra realización de un sistema de extracción de energía de olas oceánicas según la invención;

5 La figura 6 es una vista en perspectiva de una formación de conductos dispuestos sustancialmente perpendiculares entre ellos;

La figura 7 es una vista en perspectiva de una realización adicional de un sistema de extracción de energía de olas oceánicas según la invención;

La figura 8 es una vista en planta desde arriba del sistema de extracción de energía de olas oceánicas de la figura 7;

10 La figura 9 es una vista lateral izquierda del sistema de extracción de energía de olas oceánicas de la figura 7; y

La figura 10 es una vista por un extremo del sistema de extracción de energía de olas oceánicas de la figura 7.

Descripción detallada de los dibujos

15 Con referencia a los dibujos, un sistema 1 de extracción de energía de olas oceánicas está ubicado en una masa de agua, tal como un océano 2. El sistema 1 de extracción de energía de olas oceánicas incluye un conducto 3 para recibir el agua del océano con el fin de formar una columna de agua 4. Como se describirá con mayor detalle más adelante, la columna de agua 4 oscila dentro del conducto 3 en respuesta a la subida y la caída de las olas oceánicas que pasan por el sistema 1 de extracción de energía de olas oceánicas.

20 El conducto 3 tiene un primer segmento 5, un segundo segmento 6 dispuesto transversalmente al primer segmento y un segmento de control de flujo 7 entre los segmentos primero y segundo. Como se muestra en la figura 1, el conducto 3 tiene forma sustancialmente de L y está construido de tal manera que el primer segmento 5, el segundo segmento 6 y el segmento de control de flujo 7 forman una unidad de una sola pieza. Cada segmento del conducto 3 está abierto en sus extremos para formar un taladro pasante continuo a lo largo del conducto. En la realización ilustrada en los dibujos, el taladro del conducto tiene un área en sección transversal circular. Sin embargo, se apreciará, por supuesto, que en otras realizaciones, la sección transversal puede tener cualquier forma adecuada, y
25 puede ser un área constante o variable.

El conducto 3 amplifica la amplitud de cada ola oceánica que pasa por el sistema 1 de extracción de energía de olas oceánicas, de tal manera que la amplitud de las oscilaciones de la columna de agua oscilante 4 dentro del conducto es mayor que la amplitud de las olas oceánicas que pasan.

30 La longitud L_1 del primer segmento 5 del conducto 3 tiene más influencia en el rendimiento del sistema 1 que la longitud L_2 del segundo segmento 6. En particular, la longitud L_1 del primer segmento 5 influye en la medida en que se amplifica la amplitud de las olas oceánicas por parte del conducto 3. Es preferible que la longitud L_1 del primer segmento 5 del conducto sea mayor que la longitud L_2 del segundo segmento 6 del conducto.

35 Se ha encontrado que el nivel de amplificación producido por el conducto 3 es ventajoso cuando la longitud del primer segmento 5 está relacionada con el período de las olas oceánicas por la fórmula $L = T^2/4$, donde L_1 es la longitud del primer segmento en metros, y T es el período de las olas oceánicas en segundos. Por ejemplo, para un período de ola de 10 segundos, la longitud preferida L_1 del primer segmento 5 del conducto 3 es de aproximadamente 25 m.

40 El segmento de control de flujo 7 está curvado de manera que inhibe el flujo turbulento de la columna de agua oscilante 4 que fluye dentro del conducto 3. En particular, la curva del segmento de control de flujo 7 está configurada para proporcionar un cambio suave y gradual de la dirección a medida que el agua fluye desde el primer segmento 5 hasta el segundo segmento 6. Este cambio gradual en la dirección reduce la cantidad de flujo turbulento en la columna de agua oscilante 4 a medida que la columna fluye a través del conducto. Se apreciará que todavía habrá un grado de flujo turbulento a medida que la columna de agua 4 se mueve a través del conducto 3 desde el primer segmento 5 hasta el segundo segmento 6 a través del segmento de control de flujo curvo 7, y viceversa. Sin embargo, el segmento de control de flujo 7 reduce el nivel de flujo turbulento a través del conducto 3 hasta tal punto que hay un impacto positivo en la amplificación de la amplitud de las olas oceánicas, como lo demuestra el aumento de las oscilaciones de la columna de agua dentro del conducto. Se apreciará que esta reducción en el flujo turbulento conduce a un aumento correspondiente en la eficiencia global de conversión de energía por el sistema 1.

45 En la realización ilustrada en la figura 1, la columna de agua oscilante 4 no llena todo el conducto 3 y, por lo tanto, no se extiende hasta el final del segundo segmento 6 del conducto. En consecuencia, como se muestra más claramente en la figura 1, el segundo segmento 6 define una cámara de aire 8 ubicada sobre la columna de agua oscilante 4. A medida que se eleva una ola oceánica, hay una correspondiente oscilación ascendente de la columna de agua oscilante 4 dentro del conducto 3. Esta oscilación ascendente fuerza el volumen de aire de la cámara de aire 8 del segundo segmento 6 del conducto 3 con el fin de crear un flujo de aire ascendente. Este flujo de aire hacia
50

ascendente se indica en la figura 1 por la flecha 9. De manera similar, se genera un flujo de aire descendente en respuesta a una oscilación descendente de la columna de agua 4 cuando cae una ola oceánica.

5 Sin embargo, se apreciará que, en otras formas, la columna de agua oscilante llena el segundo segmento de tal manera que la turbina es accionada directamente por el flujo de agua. En tales realizaciones, una línea de salida puede conectar el segundo segmento del conducto a la turbina.

10 Volviendo a la figura 1, una turbina unidireccional 10 está dispuesta sobre el segundo segmento 6 del conducto 3 para estar en comunicación de fluido con el segundo segmento 6. La turbina 10 es accionada o hecha girar por los flujos de aire ascendente y descendente. Aunque el flujo de aire es bidireccional debido a la subida y la caída de las olas oceánicas, la turbina 10 está configurada para girar de manera unidireccional en respuesta al flujo de aire bidireccional.

Un generador eléctrico 11 está acoplado con la turbina 10, de tal manera que la rotación de la turbina provoca una rotación correspondiente del generador. El generador se utiliza para generar energía eléctrica.

15 En uso, el primer segmento 5 del conducto 3 está sumergido en el océano 2 en una orientación sustancialmente horizontal como se muestra en la figura 1. La longitud L_2 del segundo segmento 6 es mayor que la profundidad D a la cual el primer segmento está sumergido por debajo de la superficie del océano. Como consecuencia, el segundo segmento 6 se extiende y se yergue orgulloso sobre la superficie del océano para facilitar el montaje de la turbina 10 y el generador 11.

20 Con referencia a la figura 2, se apreciará que el período de olas oceánicas no es constante, sino que varía de una ola a otra y, a lo largo del tiempo, también puede variar el período de ola medio de una región. Para tener en cuenta tales variaciones, en ciertas realizaciones, el primer segmento 5 del conducto 3 está configurado para ser telescópico, de tal modo que la longitud L_1 es variable para permitir que el conducto 3 se ajuste con el fin de adaptarse al período T de las olas oceánicas predominantes. El segmento telescópico 5 mostrado en la figura 2 incluye una serie de tubos 12 encajados unos dentro de otros para permitir un movimiento de deslizamiento relativo entre los tubos 12. Se proporcionan unos medios de bloqueo 13 para bloquear los tubos entre ellos con el fin de fijar la longitud deseada del primer segmento 5 del conducto 3.

25 Con referencia a la figura 3, se muestra una realización de un dispositivo de aumento de amplitud de ola 14 para un sistema 1 de extracción de energía de olas oceánicas. El dispositivo de aumento de amplitud de ola 14 incluye tres conductos 3 para aumentar la amplitud de las olas oceánicas. Los conductos 3 están dispuestos alrededor de un eje común X-X a aproximadamente 120 grados unos con respecto a otros, de tal modo que la eficiencia del sistema 1 de extracción de energía de olas oceánicas es en gran medida independiente de la dirección de las olas oceánicas predominantes.

Cada conducto 3 está configurado para recibir independientemente un volumen de agua oceánica para formar una columna de agua oscilante 4. Cada columna de agua 4 produce un flujo de aire bidireccional correspondiente para accionar una turbina 10 del sistema 1 de extracción de energía de olas oceánicas.

35 En la realización de la figura 3, el dispositivo de aumento de amplitud de ola 14 producirá tres flujos de aire de fuerza variable. Los tres flujos de aire se dirigen para accionar la misma turbina 10. Se apreciará que a medida que cambia la dirección de desplazamiento de las olas oceánicas, cambiará en consecuencia el flujo de aire dominante. Es decir, para una cierta dirección de ola, uno de los tres conductos 3 proporcionará el flujo de aire dominante para accionar la turbina 10. Los otros dos conductos 3 también producirán un flujo de aire para accionar la turbina, pero estos flujos de aire no accionarán la turbina en la medida en que lo hace el flujo de aire dominante. Sin embargo, se apreciará que la combinación de los tres flujos de aire aumenta el trabajo realizado sobre la turbina y da como resultado un aumento correspondiente en la cantidad de energía eléctrica producida por el generador. A medida que cambia la dirección de la ola, el flujo de aire de los conductos también cambiará de tal manera que un conducto diferente 3 producirá el flujo de aire dominante.

40 Con referencia ahora a las figuras 4, 5 y 6, se ilustra otra realización de un sistema 100 de extracción de energía de olas oceánicas según la invención. El sistema 100 se ubica nuevamente en una masa de agua, tal como un océano 102, e incluye un conducto 103 para recibir agua del océano con el fin de formar una columna de agua 104. El conducto 103 está completamente sumergido por debajo del nivel medio de la superficie del océano 102.

50 La columna de agua 104 oscila dentro del conducto sumergido 103 en respuesta a un diferencial de presión causado por la subida y la caída de las olas oceánicas que pasan por el sistema 100 de extracción de energía de olas oceánicas, más particularmente, que se mueven a lo largo de la longitud del conducto 103. Se apreciará que el diferencial de presión es el resultado de variaciones en la altura del agua a lo largo del conducto.

55 Se ha encontrado que, para lograr una conversión de energía ventajosa y una salida de potencia del sistema 100 de extracción de energía de olas oceánicas, la longitud del conducto 103 debe ser aproximadamente el 37% de la longitud de ola de las olas oceánicas predominantes. Sin embargo, el conducto 103 no está limitado a esta relación preferida de la longitud del conducto a la longitud de ola y, se apreciará, que la longitud del conducto 103 se

determinará para adaptarse a las condiciones particulares y la ubicación en la que se ha de instalar el sistema 100 de extracción de energía de olas oceánicas.

En la realización de la figura 4, el conducto sumergido 103 descansa en una posición sustancialmente horizontal sobre el fondo 105 del océano 102.

5 En otras realizaciones, tal como la que se muestra en la figura 5, se utiliza un sistema de amarre 106 para mantener el conducto sumergido 103 en una posición sustancialmente horizontal a una altura predeterminada "H" sobre el fondo del océano 105.

10 Debe apreciarse que, aunque el conducto 103 está completamente sumergido por debajo del nivel medio de la superficie del océano 102, es posible que haya casos en los que las olas inusualmente grandes provoquen que el nivel del agua caiga hasta tal punto que la parte superior del conducto 103 no esté sumergida durante una parte del tiempo. Esto tiene el efecto de producir un paso de aire y/o bolsas de aire dentro del conducto 103. Sin embargo, se ha encontrado que el sistema 100 continúa operando en tales circunstancias, aunque con una eficiencia reducida y menor rendimiento. Una vez que regresan las condiciones de ola normales, la eficiencia y la salida del sistema 100 también volverán a la normalidad. Esta es una característica particularmente ventajosa del sistema actual de extracción de energía de olas oceánicas 100.

Una unidad de conversión de energía 107 que tiene una turbina de agua 108 y un generador eléctrico 109 está en comunicación de fluido con el conducto sumergido 103.

20 La turbina de agua 108 está dispuesta para que esté en comunicación hidráulica con el conducto 103 de tal manera que la turbina 108 sea accionada hidráulicamente por la columna de agua oscilante 104. En las realizaciones de la figura 4 y la figura 5, la turbina de agua 108 está alineada con el conducto 103 de modo que su eje de rotación es coaxial con el eje longitudinal del conducto 103. Sin embargo, se apreciará que la turbina 108 no necesita ser coaxial con el conducto. Por ejemplo, también se pueden utilizar otros tipos de turbinas de agua en las que el eje de rotación es transversal al eje longitudinal del conducto.

25 La turbina de agua 108 está configurada para girar unidireccionalmente en respuesta a los flujos invertidos o bidireccionales de la columna de agua oscilante 104. Los expertos en la técnica apreciarán que la característica unidireccional de la turbina 108 mejora la eficiencia del sistema 100 de extracción de energía de olas oceánicas.

30 El generador eléctrico 109 de la unidad de conversión de energía 107 es accionado por la turbina de agua 108. El generador eléctrico 109 está acoplado con la turbina de agua 108 por un árbol 110 de tal manera que la rotación de la turbina 108 provoca una rotación correspondiente del generador 109. El generador 109 se utiliza para generar energía eléctrica con fines de suministro a una red eléctrica.

En la realización de la figura 4, el generador eléctrico 109 está en línea o es coaxial con la turbina de agua 108, de tal manera que el conducto 103, la turbina de agua 108 y el generador 109 están completamente sumergidos debajo de la superficie del océano 102.

35 En ciertas aplicaciones del sistema 100 de extracción de energía de olas oceánicas, tal como la realización de la figura 5, es beneficioso que el generador eléctrico 109 esté dispuesto sobre la superficie del océano 102. Esto se puede lograr fácilmente mediante un acoplamiento mecánico adecuado 111 entre la turbina 108 y el generador 109. En esta realización, la turbina de agua 108 y el generador 109 están de nuevo completamente sumergidos debajo de la superficie del océano 102.

40 Haciendo referencia ahora a la figura 6, se muestra una formación 112 de conductos 103. Cada conducto 103 en la formación 112 está dispuesto para recibir una columna de agua oscilante asociada 104. Las oscilaciones de cada columna de agua 104 se utilizan luego para accionar la turbina de agua 108 del sistema 100 de extracción de energía de olas oceánicas. Los expertos en la materia apreciarán que el uso de una pluralidad de conductos más pequeños 103 para producir una formación 112 de conductos es ventajoso cuando se instala el sistema, ya que el manejo de los conductos individuales es relativamente más fácil. Asimismo, se apreciará que también se podrían usar conductos de diferentes longitudes para producir la formación.

45 Los expertos en la técnica apreciarán que, al sumergir el conducto 103 debajo de la superficie del océano 102, el conducto 103 no estará sujeto a las grandes e impredecibles fuerzas dinámicas que surgen cuando las olas oceánicas chocan contra el sistema. Por lo tanto, se reduce drásticamente el nivel de redundancia que es necesario incorporar en el sistema para garantizar la sostenibilidad del sistema durante su vida útil. En consecuencia, los costes asociados con el sistema se reducen significativamente y se incrementa la viabilidad comercial del sistema.

50 Haciendo referencia ahora a la realización mostrada en las figuras 7 a 10, el sistema ilustrado de extracción de energía de olas oceánicas 201 está ubicado en una masa de agua tal como un océano 202. El sistema 201 incluye una formación de ocho conductos 203 en forma de L. Cada conducto 203 tiene un primer segmento generalmente horizontal 205 y un segundo segmento generalmente vertical 206 que se extiende transversalmente desde el primer segmento, para producir la forma de L. Un segmento de control de flujo con la forma de una porción inclinada 207 está dispuesto en la unión de cada conducto para reducir o inhibir el flujo turbulento dentro del conducto asociado.

5 El primer segmento 205 de cada conducto 203 tiene un extremo abierto o entrada 208 para recibir, en uso, agua de la masa de agua. Con referencia a las figuras 9 y 10, se puede ver que la formación de conductos 203 está configurada de tal manera que la entrada 208 de cada conducto 203 está sumergida sustancialmente a la misma profundidad por debajo del nivel medio de la superficie de la masa de agua. El agua recibida por cada conducto 203 forma una columna de agua oscilante que acciona una turbina separada 216, asociada con cada conducto.

10 Cada conducto 203 tiene un elemento de flotabilidad para facilitar la flotación del sistema 201 a una profundidad predeterminada con respecto al nivel medio de la superficie de la masa de agua. Cada elemento de flotabilidad está formado por un módulo de flotabilidad izquierdo 209 y un módulo de flotabilidad derecho 210 que están dispuestos lateralmente en las respectivas paredes laterales izquierda y derecha del segundo segmento asociado. Con referencia a la figura 8, se puede ver que los módulos de flotabilidad tienen la forma de estructuras en forma de cuña para ayudar al ensamblaje del sistema.

Como se muestra más claramente en las figuras 7 y 9, los conductos 203 se mantienen en relación relativa espaciada por una estructura de bastidor de soporte. El bastidor de soporte incluye dos bastidores de arriostamiento exteriores 211, 212 y un bastidor de arriostamiento intermedio interior 213.

15 El sistema 201 incluye un primer grupo 214 y un segundo grupo 215 de conductos 203. El primer grupo 214 está dispuesto a lo largo de un eje común I-I que se extiende entre, y es sustancialmente paralelo a, el miembro de arriostamiento exterior izquierdo 211 y el miembro de arriostamiento interior 213. Como se muestra más claramente en la figura 8, cada conducto está orientado con un ángulo "α" de aproximadamente 15 grados con respecto al eje común I-I. El segundo grupo 215 de conductos está dispuesto a lo largo de un eje común II-II que se
20 extiende entre, y es sustancialmente paralelo a, el miembro de arriostamiento interior 213 y el miembro de arriostamiento exterior derecho 212. Los conductos en el segundo grupo 215 están orientados con un ángulo de aproximadamente menos 15 grados con respecto al eje común II-II, de tal manera que la entrada de los conductos del segundo grupo está orientada en una dirección diferente a la entrada de los conductos del primer grupo y, por tanto, en una dirección diferente con respecto a la ola oceánica predominante. Los expertos en la materia apreciarán
25 que el efecto que la dirección de la ola tiene sobre la eficiencia general del sistema se reducirá al tener una formación de conductos en la que la entrada a ciertos conductos está orientada en una dirección diferente con respecto a la entrada de otros conductos de la formación. Se apreciará además que el ángulo real con el que giran los conductos 203 con respecto al eje común no se limita a más/menos 15 grados, sino que se determinará para adaptarse mejor a las condiciones climáticas locales de las olas.

30 Por consiguiente, es una ventaja de al menos una realización preferida de la invención proporcionar un sistema de extracción de energía de olas oceánicas en el que se reduce el nivel de flujo turbulento de tal manera que el sistema es más eficiente para generar electricidad.

35 Otra ventaja de al menos una realización preferida de la invención es proporcionar un dispositivo de aumento de amplificación de ola para un sistema de extracción de energía de ola oceánica que reduce el efecto de la dirección de la ola sobre la eficiencia del sistema.

40 Es una ventaja adicional de al menos una realización preferida de la invención proporcionar un sistema de extracción de energía de olas oceánicas en el que uno o más de los componentes principales del sistema está/están completamente sumergidos debajo de la superficie del océano, de tal manera que estos componentes están en gran medida protegidos frente a las fuerzas dinámicas relativamente grandes, inconsistentes e impredecibles asociadas con las olas oceánicas predominantes. Ventajosamente, el conducto sumergido y otros elementos del sistema requieren menos refuerzo, ya que no están obligados a soportar fuerzas que se sabe que ocurren sólo en tormentas extremadamente raras, lo que reduce sustancialmente los costes de fabricación, instalación y mantenimiento continuado del sistema.

45 Aún es una ventaja adicional de al menos una realización preferida de la presente invención proporcionar un sistema de extracción de energía de olas oceánicas que utiliza un proceso de conversión hidráulico para convertir de manera eficiente y eficaz la energía de una columna de agua oscilante en energía eléctrica.

Aún es una ventaja adicional de al menos una realización preferida de la presente invención proporcionar un sistema de extracción de energía de olas oceánicas que reduce el impacto visual sobre el entorno circundante.

50 Aunque la invención se ha descrito, con referencia a ejemplos específicos, los expertos en la técnica apreciarán que la invención puede realizarse de muchas otras formas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (1) de extracción de energía de olas oceánicas que comprende:
- 5 al menos un conducto (3) para recibir una columna de agua oscilante (4), teniendo el conducto un primer segmento (5) que, en uso, es totalmente sumergible debajo del nivel medio de la superficie de una masa de agua, teniendo dicho primer segmento una entrada, en el que la entrada del primer segmento es configurable para orientarla hacia la ola oceánica predominante;
- 10 un segundo segmento (6) dispuesto transversalmente al primer segmento y un segmento de control de flujo (7) intermedio entre los segmentos primero y segundo, siendo operable el segmento de control de flujo para provocar un cambio gradual en la dirección del agua que fluye desde el primer segmento hasta el segundo segmento e inhibir así el flujo turbulento de la columna de agua oscilante que fluye dentro del conducto;
- una turbina (10) en comunicación de fluido con el segundo segmento del conducto, de tal manera que la turbina sea accionable por un flujo de fluido procedente del segundo segmento, siendo generado el flujo de fluido por las oscilaciones de la columna de agua oscilante dentro del conducto; y
- un generador eléctrico (11) configurado para rotación por la turbina con el fin de generar energía eléctrica; y
- 15 **caracterizado** por que el segmento de control de flujo incluye una porción inclinada (207) dispuesta en la unión de los segmentos primero y segundo del conducto y que se extiende entre ellos.
2. Un sistema de extracción de energía de olas oceánicas según la reivindicación 1, en el que una longitud del primer segmento del conducto es mayor que una longitud del segundo segmento del conducto.
- 20 3. Un sistema de extracción de energía de olas oceánicas según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la longitud del primer segmento del conducto se determina mediante la fórmula, $L = T^2/4$, en la que L es la longitud del primer segmento en metros, y T es el período de las olas de un océano en segundos.
4. Un sistema de extracción de energía de olas oceánicas según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la longitud del primer segmento del conducto es variable para sintonizar el conducto con la finalidad de que se adapte al período de las olas de un océano.
- 25 5. Un sistema de extracción de energía de olas oceánicas según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el primer segmento del conducto tiene una configuración telescópica para variar la longitud del primer segmento.
6. Un sistema de extracción de energía de olas oceánicas según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la turbina funciona de manera unidireccional en respuesta al flujo de aire bidireccional.
- 30 7. Un sistema de extracción de energía de olas oceánicas según la reivindicación 6, en el que la turbina incluye un rotor que comprende: un cubo central y una pluralidad de álabes rectos de sección aerodinámica que se extienden radialmente, cada uno de ellos conectado con el cubo, siendo sustancialmente simétrica una sección transversal de cada uno de los álabes alrededor de una línea que define la altura máxima de combadura y que generalmente es constante a lo largo de su longitud que se extiende radialmente, en donde la forma sustancialmente simétrica de los álabes y su orientación con respecto al cubo facilita la rotación unidireccional del rotor en respuesta a los flujos de fluido axiales reversibles a su través.
- 35 8. Un sistema de extracción de energía de olas oceánicas según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además un sistema de amarre operable para mantener el conducto en una ubicación deseada a una altura predeterminada sobre el fondo de la masa de agua en la que está dispuesto.
- 40 9. Un sistema de extracción de energía de olas oceánicas según la reivindicación 9, que comprende además un elemento de flotabilidad para facilitar la flotación del conducto por encima del fondo de la masa de agua en la que está dispuesto.
10. Un sistema de extracción de energía de olas oceánicas según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el conducto es operable para descansar sobre el fondo de la masa de agua en la que está dispuesto.
- 45 11. Un sistema de extracción de energía de olas oceánicas según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que incluye una pluralidad de conductos dispuestos a lo largo de un eje común, estando configurado cada conducto para recibir una columna de agua oscilante asociada.

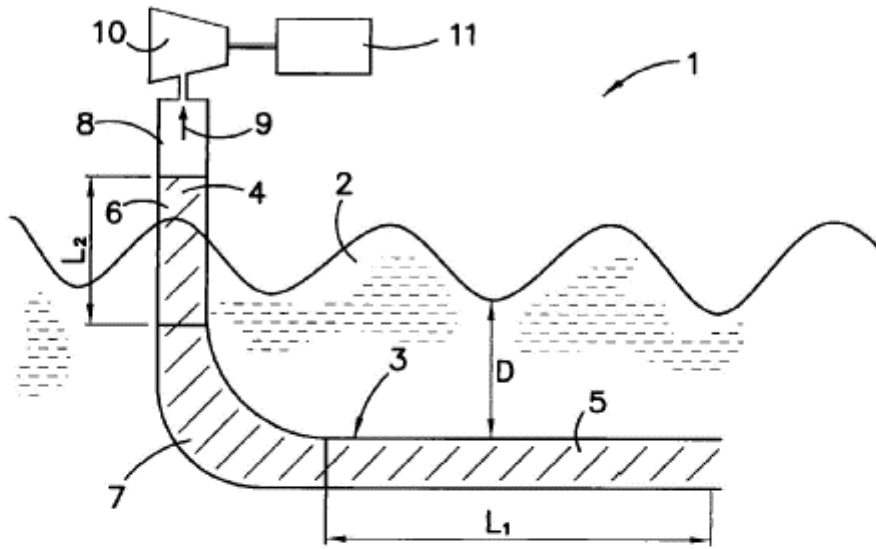


FIG. 1

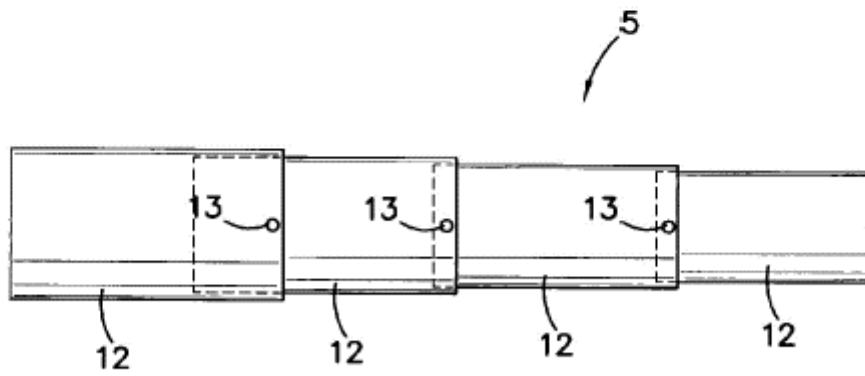


FIG. 2

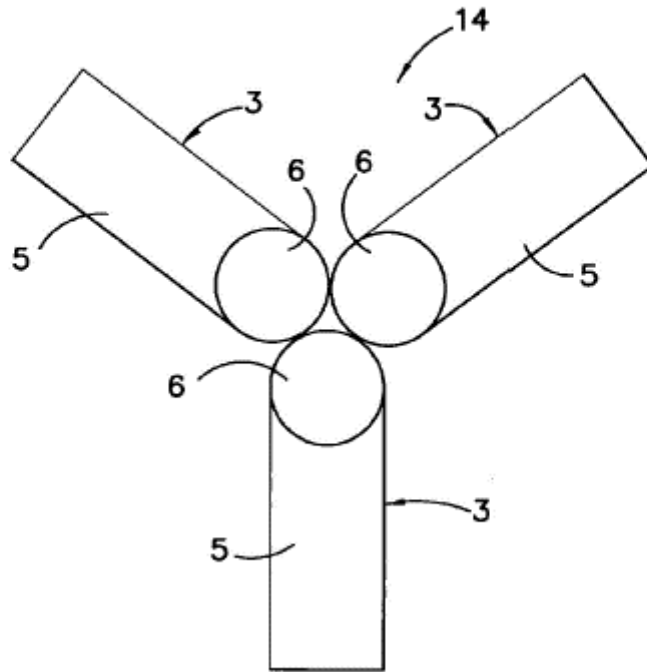


FIG. 3

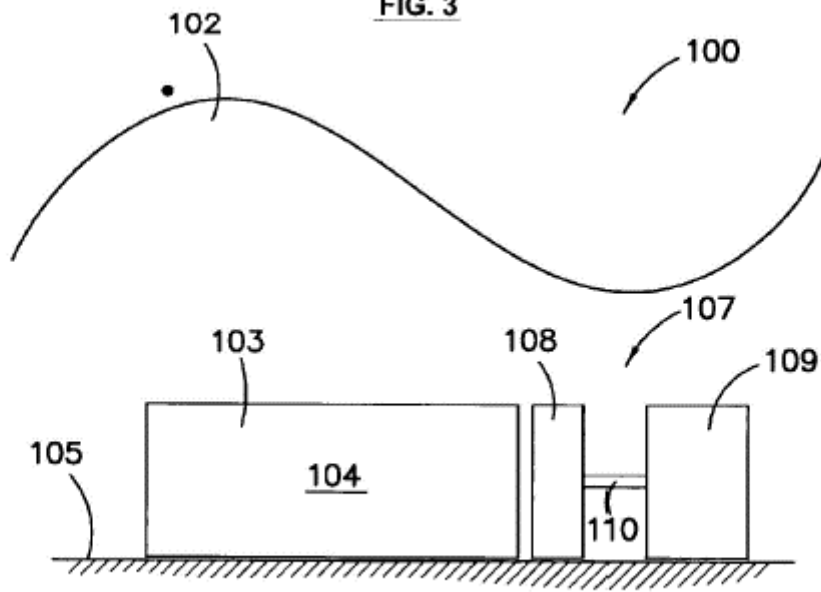


FIG. 4

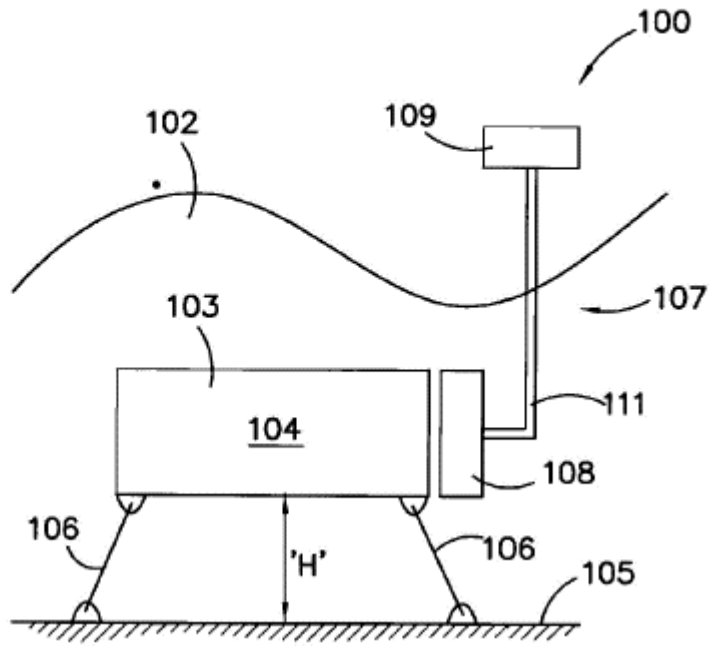


FIG. 5

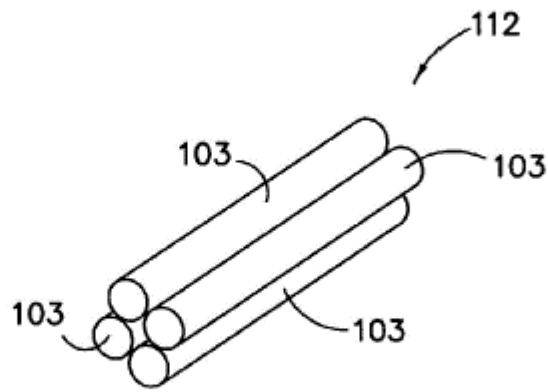
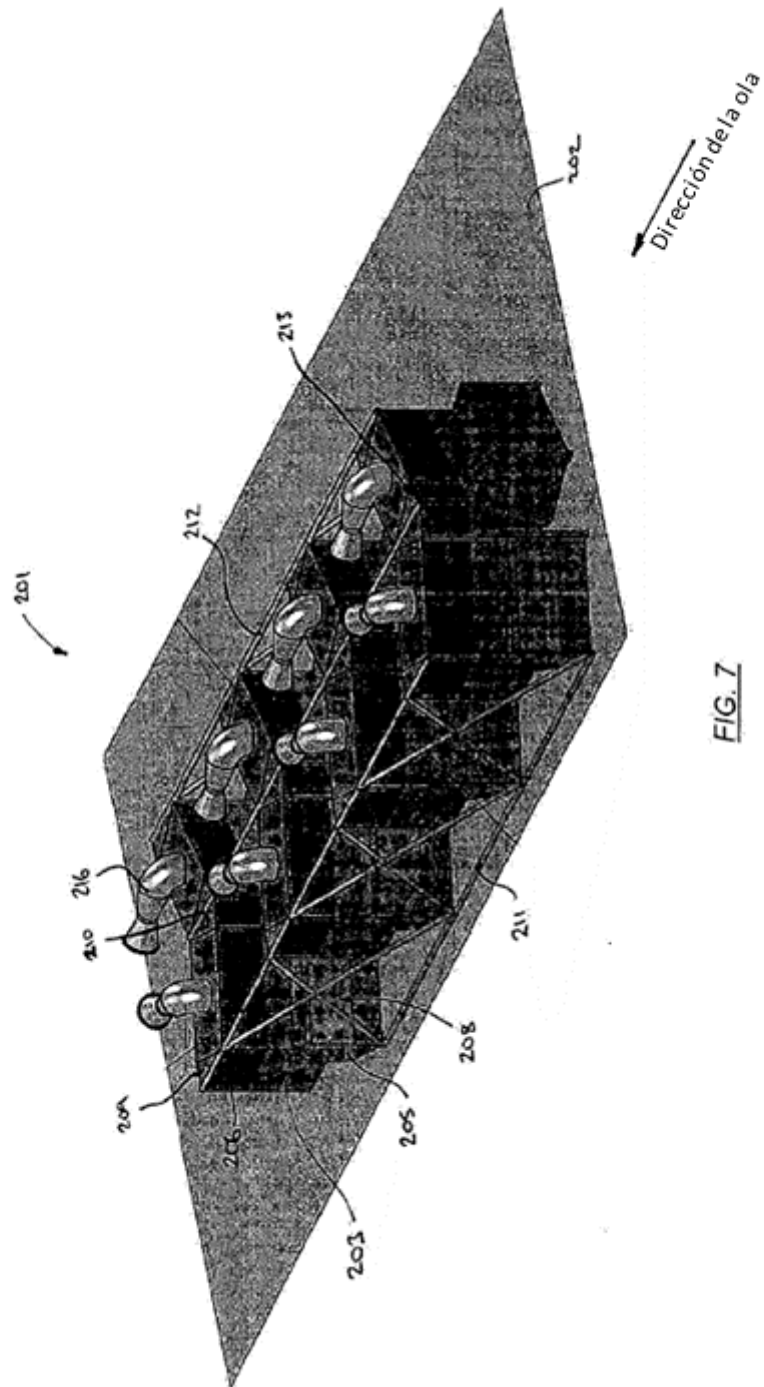


FIG. 6



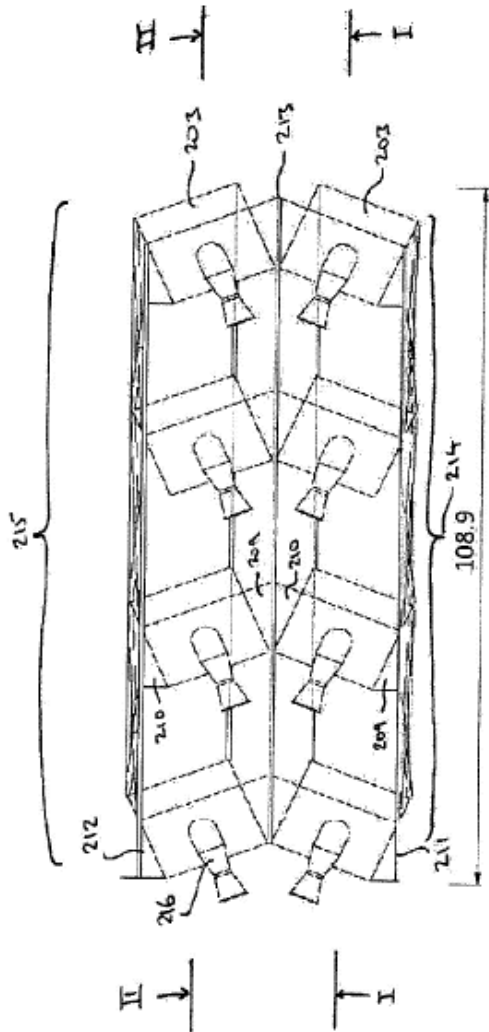


FIG. 8

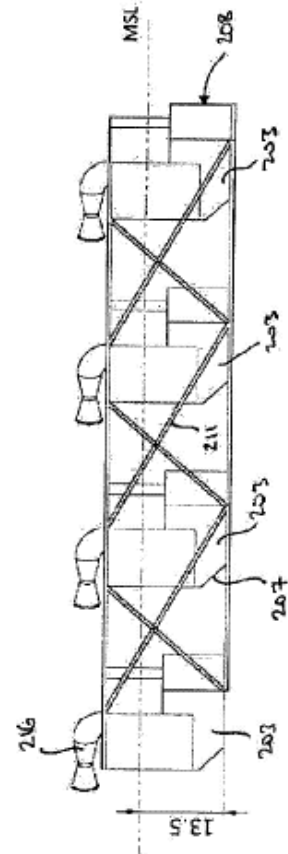


FIG. 9

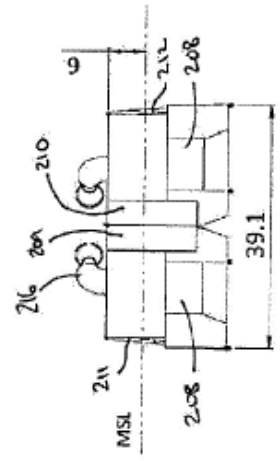


FIG. 10