

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 717 888**

51 Int. Cl.:

E04H 4/12 (2006.01)

E04H 4/00 (2006.01)

A63G 31/00 (2006.01)

A63B 69/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.09.2013 PCT/US2013/059498**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.03.2014 WO14043372**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.09.2013 E 13767191 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.12.2018 EP 2912242**

54 Título: **Generador de olas superficiales de gravedad y piscina de olas**

30 Prioridad:

12.09.2012 US 201213612716

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

26.06.2019

73 Titular/es:

**KELLY SLATER WAVE COMPANY, LLC (100.0%)
120 S. Sierra Ave, Suite 100
Solana Beach, CA 92075, US**

72 Inventor/es:

**FINCHAM, ADAM y
SLATER, KELLY**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 717 888 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

Generador de olas superficiales de gravedad y piscina de olas

Referencia a solicitudes relacionadas

5 Esta solicitud reivindica el beneficio de prioridad según 35 USC § 120 de la solicitud de patente estadounidense US 13/612,716, presentada el 12 de septiembre de 2012, titulada "Generador de olas superficiales de gravedad y piscina de olas", que es una continuación-en-parte de la solicitud de patente estadounidense US 12/274,321, presentada el 19 de noviembre de 2008, titulada "Generador de olas superficiales de gravedad y piscina de olas".

Antecedentes

10 Las olas del mar se han usado con fines recreativos durante cientos de años. Uno de los deportes más populares en cualquier playa con olas bien formadas es el surf. El surf y otros deportes de table se han hecho tan populares, de hecho, que el agua cercana a cualquier rompiente de olas adecuadas para el surf está normalmente abarrotada de surfistas, de modo que cada surfista tiene que competir por cada ola y el disfrute de la actividad está limitado. Además, la mayoría de la población del planeta no tiene acceso adecuado a las olas del mar para disfrutar del surf o de otros deportes que se practican en las olas del mar.

15 Otro problema es que las olas en cualquier punto son variadas e inconsistentes, con "tandas" ocasionales de olas bien formadas que se pueden surfear, intercaladas con olas menos deseables y, en algunos casos, no surfearables. Incluso cuando un surfista consigue coger una ola seleccionada, la duración del viaje es solo de unos 2-30 segundos de media, teniendo la mayor parte de los viajes entre 5 y 10 segundos de duración.

20 Las olas de la superficie del mar son olas que se propagan a lo largo de la interfaz entre el agua y el aire, y la fuerza de restauración es proporcionada por la gravedad, de modo que frecuentemente se denominan olas superficiales de gravedad. La Fig. 1 muestra los principios que gobiernan las olas superficiales de gravedad que entran en aguas poco profundas. Las olas en agua profunda generalmente tienen una longitud de ola constante. Cuando la ola interacciona con el fondo, comienza a producirse "asomeramiento". Típicamente, esto ocurre cuando la profundidad disminuye menos de la mitad de la longitud de la ola, la longitud de la ola disminuye, y la amplitud de la ola aumenta. A medida que la amplitud de la ola aumenta, la ola se hace más inestable debido a que la cresta se desplaza más rápido que la base. Cuando la amplitud es aproximadamente el 80% de la profundidad del agua, la ola empieza a "romper" y es posible hacer surf. Este proceso de crecimiento y rompimiento es dependiente del ángulo de inclinación y el contorno de la playa, el ángulo según el cual las olas se aproximan a la playa, y la profundidad y propiedades de las olas en el agua profunda que se acercan a la playa. Es posible refractar y enfocar estas olas a través de cambios en la topografía del fondo.

30 Las olas del mar generalmente tienen cinco etapas: generación, propagación, asomeramiento, rotura, y caída. Las etapas de asomeramiento y rotura son las más deseables para olas surfearables. El punto de rotura depende fuertemente de la relación entre la profundidad del agua con la amplitud de la ola, pero también depende del contorno, profundidad y forma del fondo marino. Además, también pueden contribuir a la rotura de una ola la velocidad, la longitud de la ola y la altura de la ola, entre otros factores. En general, puede dividirse una ola en cuatro grupos principales de tipos de rotura: derramada, hueca, de colapso, y creciente. De estos tipos de ola, las olas derramadas son las preferidas por surfistas principiantes, mientras que las olas huecas son las deseadas por los surfistas más expertos. Estos tipos de rotura se ilustran en la Fig. 2.

40 Se ha tratado de replicar las olas del mar en un entorno hecho por el hombre mediante varios sistemas y técnicas. Algunos de estos sistemas incluyen dirigir una lámina de agua relativamente poco profunda y que se desplaza rápidamente contra una forma de onda sólida esculpida para producir un efecto de agua que es surfearable, pero no realmente una ola. Otros sistemas utilizan palas accionadas de manera lineal, cajones hidráulicos o neumáticos, o simplemente inyecciones de agua de gran tamaño controladas para generar olas reales. Sin embargo, todos estos sistemas son ineficientes en lo que respecta a la transferencia de energía a la "ola", y ninguno de estos sistemas, por varios motivos e inconvenientes, ha conseguido todavía acercarse a la generación de una ola que replique el tamaño, forma, velocidad y rotura deseada de la mayor parte de olas deseables que se desea surfear, es decir, olas que al entrar en aguas poco profundas caen, rompiendo con un tubo y que tienen una duración relativamente larga y suficiente superficie para que el surfista maniobre.

50 La publicación internacional WO 2010/059871 del presente solicitante describe sistemas para superar algunos de los inconvenientes anteriormente descritos.

Compendio

Este documento presenta un sistema de generación de olas y una piscina de olas que genera olas superficiales de gravedad que pueden ser surfeadas por un usuario sobre una tabla de surf.

55 La piscina de olas incluye una piscina que contiene agua y que define un canal que tiene una primera pared lateral, una segunda pared lateral, y un fondo con un contorno que está inclinado hacia arriba desde un área profunda cercana

a la primera pared lateral en dirección a un bajío definido por la segunda pared lateral. La piscina de olas incluye además al menos una lámina al menos parcialmente sumergida en el agua cerca de la pared lateral, y que está adaptada para ser movida por un mecanismo de movimiento en una dirección a lo largo de la pared lateral para generar al menos una ola en el canal que forma una ola que rompe sobre el bajío; y

- 5 De acuerdo con la invención, la piscina de olas incluye uno o más mecanismos pasivos de canal de control de corriente para mitigar las corrientes en el agua inducidas por el movimiento de la al menos una lámina en la dirección a lo largo de la pared lateral. En otro aspecto no reivindicado, la piscina de olas incluye un mecanismo del control pasivo de rizado y seiche para mitigar el rizado y seiche aleatorio en el agua al menos parcialmente inducido por el movimiento de la al menos una lámina en la dirección a lo largo de la pared lateral, y al menos parcialmente inducido por una forma y el contorno del canal. En todavía otro aspecto no reivindicado, la piscina de olas puede incluir cualquiera o todos los mecanismos de control anteriormente mencionados para controlar y/o minimizar el flujo de agua, rizado u olas auxiliares además de una ola superficial de gravedad principal generada por cada uno de la al menos una lámina.

- 10 Tanto el documento WO 00/05464 como el documento WO 2006/060866 muestran piscinas de olas que tienen medios activos para generar corrientes en dirección opuesta a las olas, para mitigar un flujo medio del agua inducido por el movimiento de las láminas en la dirección a lo largo de la pared.

- 15 Los detalles de una o más realizaciones se describen en los dibujos adjuntos y la descripción siguiente. Otros elementos y ventajas serán evidentes a partir de la descripción y dibujos, y de las reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

Estos y otros aspectos se describirán ahora con detalle haciendo referencia a los siguientes dibujos.

- 20 La Fig. 1 muestra propiedades de olas que entran en aguas poco profundas.
La Fig. 2 muestra cuatro tipos generales de olas.
Las Figs. 3A y 3B son una vista superior y lateral, respectivamente, de una piscina que tiene una forma anular.
La Fig. 4 ilustra una realización de un contorno del fondo de una piscina.
La Fig. 5 ilustra una realización de una piscina en una configuración anular, y un generador de olas en una pared interior de la piscina.
25 La Fig. 6 ilustra una realización de una sección de una piscina con una configuración anular que tiene un generador de olas dispuesto verticalmente a lo largo de una pared exterior.
Las Figs. 7A y 7B son una vista en perspectiva y una vista en sección transversal, respectivamente, para ilustrar una realización de una forma de una lámina para una sección lineal de una pared.
30 La Fig. 8A ilustra una sección de una realización de una lámina 500 que incluye un rodillo excéntrico.
La Fig. 8B y 8C ilustra una realización de una lámina 500 con varios rodillos de cambio de forma.
La Fig. 9 muestra la geometría relativa de la velocidad de la propagación de la ola con relación a la velocidad de la lámina.
La Fig. 10 ilustra una realización de una piscina de generador de olas donde hay situada una pared interior rotativa dentro de una pared exterior fija.
35 La Fig. 11 ilustra una realización de un generador de olas donde hay una capa flexible dispuesta sobre una pared exterior, y la pared exterior incluye varios actuadores lineales para su disposición alrededor de toda la longitud o circunferencia de la pared exterior.
La Fig. 12 ilustra una realización de un generador de olas que tiene una capa flexible dispuesta sobre una pared exterior.
40 La Fig. 13 ilustra una realización de un generador de olas que incluye una capa flexible que puede elevarse alejándose de la pared exterior para definir una lámina.
La Fig. 14 ilustra una realización de generadores de vórtice que tienen miembros alargados con una sección transversal cuadrada.
45 La Fig. 15 ilustra otra realización de un generador de vórtice que tiene miembros cuadrados separados tanto en la dirección de la anchura como en la dirección de la longitud.
La Fig. 16 ilustra una realización de generadores de vórtice montados ambos sobre una sección inferior adyacente a un canal exterior del vaso, y sobre una porción inferior de una pared de canal exterior del vaso.

La Fig. 17 ilustra una realización de generadores de vórtice que tienen formas no lineales, tales como inclinados o curvados.

La Fig. 18 ilustra una realización de un perfil de piscina suave (curvado) donde los generadores de vórtice se encuentran con las paredes laterales o suelo.

5 La Fig. 19 ilustra una realización de al menos una parte de la cavidad cercana a la isla interior de la piscina que tiene una serie de aletas inclinadas.

La Fig. 20 ilustra una realización de una piscina que tiene tanto un sistema de canal interior como un sistema de canal exterior entre la lámina y el mecanismo de generación de olas y la pared exterior del vaso.

La Fig. 21 ilustra una realización de un sistema de canal de redireccionamiento de flujo en una playa inclinada.

10 La Fig. 22 ilustra una realización de implementaciones de canales y/o deflectores que pueden usarse como una pared perforada.

La Fig. 23 ilustra un ejemplo de una evolución temporal de una ola resultante de una lámina móvil, incluyendo una ola incidente y ola(s) reflejada(s).

La Fig. 24 ilustra una realización de un canal que tiene ranuras verticales en la pared del canal.

15 La Fig. 25 ilustra una realización de un canal que tiene ranuras verticales en la pared del canal y un escalón no-perforado.

La Fig. 26 ilustra una realización de un sistema de canal que tiene paredes porosas integradas con elementos de rugosidad generadores de vórtices.

Símbolos de referencia similares en los diferentes dibujos indican elementos similares.

20 **Descripción detallada**

Este documento describe un aparato, método y sistema para generar olas de una surfeabilidad deseada. La surfeabilidad depende del ángulo de la ola, la velocidad de la ola, la pendiente de la ola (es decir, su inclinación), el tipo de rotura, la pendiente del fondo y la profundidad, curvatura, refracción y enfoque. Se presta mucha atención a olas solitarias, ya que tienen características que las hacen particularmente ventajosas para su generación mediante el aparato, método y sistema que se describe aquí. Según se emplea en este documento, el término "ola solitaria" se utiliza para describir una ola en agua poco profunda, o "ola superficial de gravedad" que tiene un único desplazamiento principal de agua por encima de un nivel medio del agua. Una ola solitaria se propaga sin dispersión. Recuerda mucho al tipo de ola que permite surfear en el mar. Una ola solitaria teóricamente perfecta surge de un equilibrio entre dispersión y no linealidad, de modo que la ola puede desplazarse largas distancias al mismo tiempo que mantiene su forma, sin obstrucciones por parte de olas contrarias. Una forma de onda de una ola solitaria es una función de la distancia x y el tiempo t , y puede caracterizarse mediante la siguiente ecuación:

$$\eta(x,t) = A \operatorname{sech} h_0^2 \left(\sqrt{\frac{3A}{4h_0^3}} (x - t\sqrt{g(h_0 + A)}) \right)$$

35 donde A es la máxima amplitud, o altura, de la ola por encima de la superficie del agua, h_0 es la profundidad del agua, g es la aceleración de la gravedad, y $\eta(x, t)$ es la altura del agua por encima de h_0 . La longitud de una ola solitaria, aunque es teóricamente infinita, está limitada por la elevación de la superficie del agua, y puede definirse como:

$$L = \frac{2\pi}{k} \quad \text{donde} \quad k = \sqrt{\frac{3A}{4h_0^3}}$$

Piscinas

Los sistemas, aparatos y métodos descritos en este documento utilizan una piscina de agua en la que se generan olas superficiales de gravedad de tipo solitaria u otros. En algunas implementaciones preferidas, la piscina puede ser circular o anular, estando definida por una pared exterior o borde que tiene un diámetro de aproximadamente 61 m a 244 m (200-800 pies) o más. Alternativamente, puede usarse una piscina redonda o circular con un diámetro de al menos de aproximadamente 61 m (200 pies), sin embargo, puede ser preferido un diámetro de aproximadamente 137 a 168 m (450-550 pies). En un ejemplo de implementación, la piscina puede ser anular con una isla circular central que define un canal o conducto. En esta configuración anular, la piscina tiene un diámetro exterior de aproximadamente 168 m (550 pies) y una anchura de canal de al menos aproximadamente 15 m (50 pies), aunque el canal puede tener una anchura de aproximadamente 46 m (150 pies), lo que puede proporcionar aproximadamente 9-30 m (30-100 pies)

de longitud de ola surfeable.

En otro ejemplo de implementación, la piscina puede ser un vaso contiguo tal como una piscina circular sin una isla central. En la configuración circular, la piscina puede tener un fondo que está inclinado hacia arriba en dirección al centro de un escollo o bajío, y puede incluir una depresión más profunda o conducir a un bajío de poca profundidad o superficie plana. En otras implementaciones más, la piscina puede ser cualquier canal curvilíneo de lazo cerrado, tal como una forma de pista de carreras (es decir, círculo truncado), ovalada, u otra forma redondeada. En otras implementaciones más, la piscina puede incluir un canal lineal o curvilíneo en forma de lazo abierto o cerrado a través del cual fluye el agua (tal como con una forma creciente o un canal lineal simple), y que puede o no utilizar un mecanismo de recaptura o recirculación y flujo.

Las Figs. 3A y 3B son vistas superior y en sección transversal, respectivamente, de una piscina 100 de acuerdo con la implementación anular. La piscina 100 tiene una forma sustancialmente anular que está definida por una pared 102 exterior, una pared 104 interior, y un canal 106 de agua entre, y definido por, la pared 102 exterior y la pared 104 interior. En implementaciones anulares, la pared 102 exterior y la pared 104 interior pueden ser circulares. La pared 104 interior puede ser una pared que se extiende por encima de un nivel 101 de agua medio del canal 106 de agua, y puede formar una isla 108 u otro tipo de plataforma por encima del nivel 101 de agua medio. La pared 104 interior también puede estar inclinada para formar una playa inclinada. Alternativamente, la pared 104 interior puede formar un arrecife sumergido o barrera entre el canal 106 de agua y una segunda piscina. Por ejemplo, la segunda piscina puede ser poco profunda para recibir la espuma de las olas resultante de las olas generadas en el canal 106 de agua. La piscina 100 puede incluir además un lateral 110 que, de acuerdo con algunas implementaciones, puede incluir una pista tal como un monorraíl u otro raíl para recibir un vehículo motorizado. Además, el vehículo puede estar unido a al menos un generador de olas, preferiblemente en forma de una lámina móvil, como se describirá más adelante con mayor detalle. En algunas implementaciones, la pared 102 exterior, con o sin cooperación con el lateral 110, puede alojar un generador de olas en la forma de una pared flexible o pared rotativa con láminas embebidas, como también se describirá con mayor detalle más adelante.

25 **Generador de olas**

La Fig. 4 ilustra un contorno del fondo de una piscina que tiene un diseño de playa con una pendiente crítica. El contorno del fondo de la playa que tiene el diseño con una pendiente crítica puede implementarse mediante cualquier número de piscinas, incluyendo piscinas que son lineales, curvilíneas, circulares, o anulares. El contorno inferior puede incluir una pared 200 lateral que puede ser una pared lateral interior o una pared lateral exterior. La pared 200 lateral puede tener una altura que al menos se extiende más alto que un nivel de agua medio, y puede extenderse por encima de una amplitud máxima, o altura, de una ola generada. La pared 200 lateral puede adaptarse para acomodar un generador de olas, tal como una lámina que se dispone verticalmente sobre la pared 200 lateral y se desplaza lateralmente a lo largo de la pared 200 lateral. El contorno del fondo puede además incluir una región 202 profunda, que en algunas configuraciones se extiende al menos lo suficiente como para acomodar el grosor, o altura, de la lámina. La intersección de la pared 200 lateral y la región 202 profunda también puede incluir una pendiente, escalón, u otro elemento geométrico, o un mecanismo de pista/raíl que participa en el guiado o impulsión del movimiento de la lámina. Puede producirse un oleaje que tiene hasta la misma amplitud, o incluso mayor, que la profundidad de la región 202 profunda.

El contorno del fondo de la piscina puede incluir además una pendiente 204 que se eleva hacia arriba desde la región 202 profunda. El ángulo de la pendiente 204 puede variar desde 1 a 16 grados, y también desde 5 a 10 grados. La pendiente 204 puede ser lineal o curvada, y puede incluir indentaciones, ondulaciones, u otras figuras geométricas. El contorno del fondo puede además incluir un escollo 206 o bajío. La superficie desde un punto en la pendiente 204 y el escollo 206 puede proporcionar la zona de rotura principal para una ola generada. La configuración de las olas en la zona de rotura puede cambiar el nivel medio de agua. El escollo 206 puede ser plano o curvo, y puede sufrir una transición hasta una región 208 plana poco profunda, una trinchera 210 poco profunda, o una trinchera 212 profunda, o cualquier combinación alternativa entre las mismas. El lado del vaso opuesto al generador de olas en última instancia termina en una playa inclinada.

El escollo 206 también puede ser una extensión de la pendiente 204 y terminar directamente en una playa. La placa puede ser real o artificial. La playa puede incorporar sistemas de evacuación de agua que pueden incluir rejillas a través de las cuales el agua puede pasar. Los sistemas de evacuación de agua pueden estar conectados con los sistemas de filtrado y/o recirculación de agua generales, y puede incorporar elementos de redireccionamiento de flujo más avanzados. La playa también puede incorporar deflectores de amortiguación de olas que ayudan a minimizar la reflexión de las olas y reducir las corrientes y el transporte a lo largo de la costa.

El contorno del fondo puede estar formado de un material rígido que puede estar recubierto por un recubrimiento sintético. En algunas implementaciones, el fondo puede estar cubierto con secciones de materiales flexibles más blandos, por ejemplo, puede introducirse una cubierta o arrecife de espuma que sería menos dañina cuando se producen caídas. Por ejemplo, el recubrimiento puede ser más grueso en el escollo 206 o dentro de la zona de rotura. El recubrimiento puede formarse mediante una capa que sea menos rígida que el material rígido usado para el contorno del fondo, y puede incluso tener propiedades de amortiguación de golpes. La pendiente 204, el escollo 206 y/o otras regiones del contorno del fondo pueden formarse mediante uno o más insertos extraíbles. Además, cualquier

parte del contorno del fondo puede ser ajustable y reconfigurable de forma dinámica para cambiar la forma general y la geometría del contorno del fondo. Por ejemplo, el contorno del fondo puede modificarse sobre la marcha, tal como mediante la ayuda de elementos mecánicos motorizados, elementos hinchables, intercambio manual simple, u otros mecanismos de conformado dinámico similares. Además, pueden conectarse insertos o módulos extraíbles a un suelo sólido que forma parte de la piscina, incluyendo el contorno del suelo. Los insertos o módulos pueden ser uniformes a lo largo del círculo, o variables para crear arrecifes recurrentes definidos por ondulaciones en la pendiente 204 o el escollo 206. De este modo, pueden introducirse módulos particularmente conformados en ubicaciones específicas para crear una sección con una rotura surfeable.

La Fig. 5 ilustra una piscina 300 en una configuración anular, y un generador 302 de olas en una pared 304 interior de la piscina 300. El generador 302 de olas puede ser una lámina dispuesta verticalmente a lo largo de la pared 304 interior, y desplazarse en la dirección 303 indicada para generar una ola W. La Fig. 6 ilustra un ejemplo de sección de una piscina 400 con una configuración anular que tiene un generador 402 de olas dispuesto verticalmente a lo largo de una pared 404 exterior. El generador 402 de olas puede desplazarse en la dirección 403 indicada, para generar una ola W según se muestra. En algunas implementaciones, la colocación en la pared 404 exterior del generador 402 de olas puede permitir olas más grandes y mejor enfocadas que una colocación en la pared interior. Adicionalmente, en algunas implementaciones, la colocación en la pared interior puede permitir una menor velocidad de ola y una mayor surfeabilidad. Los generadores 302 y 402 de olas puede desplazarse mediante un vehículo motorizado u otro mecanismo que se mantiene generalmente seco y alejado del agua, tal como sobre un raíl u otra pista, parte de la cual puede estar sumergida. En algunas implementaciones, la totalidad del raíl puede rotar, permitiendo la posibilidad de mantener los motores de accionamiento en el marco no-rotativo.

Los generadores de olas también pueden configurarse para desplazarse en el centro del canal, en cuyo caso habría playas en las paredes interior y exterior y el mecanismo de pista/raíl estaría soportado bien mediante una estructura superior o mediante una conexión directa al fondo de la piscina.

LÁMINAS

Algunas implementaciones de las piscinas de olas descritas en este documento pueden usar una o más láminas para generar olas de una surfeabilidad deseada. Las láminas pueden estar conformadas para generar olas en un flujo supercrítico, es decir, las láminas se desplazan más rápido que la velocidad de las olas generadas. Esto puede permitir un ángulo de incidencia significativo cuando la ola se inclina con el radio. La velocidad de una ola en agua poco profunda (cuando la profundidad de la ola es comparable con la longitud de la ola) puede representarse mediante V_w :

$$V_w = \sqrt{g(h_0 + A)}$$

donde g es la fuerza de la gravedad, h_0 es la profundidad del agua y A la amplitud de la ola. La criticalidad puede estar representada por el número de Froude (Fr), donde un número mayor de 1 es supercrítico, y un número menor de 1 es subcrítico:

$$Fr = \frac{V_F}{V_w}, \text{ donde } V_F \text{ es la velocidad de la lámina con relación al agua.}$$

Las láminas pueden estar adaptadas para propagar la ola alejándola de una porción de ataque de la lámina a medida que el agua y la lámina se mueven una con relación a otra. Este movimiento puede permitir conseguir la transferencia más directa de energía mecánica a la ola. De este modo, pueden formarse oleajes ideales inmediatamente adyacentes a la porción de ataque de la lámina. Las láminas pueden optimizarse para generar la mayor altura posible del oleaje para una profundidad de agua dada. Sin embargo, pueden configurarse algunas láminas para generar oleajes más pequeños.

Para conseguir la mejor transferencia de energía desde la ola y para asegurar que el oleaje generado es limpio y generalmente solitario, pueden diseñarse las láminas para que impartan un movimiento al agua que es cercano a la solución de una ecuación de ola conocida. De este modo, puede no ser necesario que la ola se forme a partir de una perturbación algo arbitraria, como es el caso con otros sistemas de generación de olas. El procedimiento propuesto puede basarse en ajustar el desplazamiento impartido por la lámina en cada punto con el campo de desplazamiento natural (teórico) de la ola. Para una ubicación fija a través de la cual pasará la lámina P, la dirección normal a la lámina puede ser x y el grosor de la parte de la lámina actualmente en P puede ser X(t).

La tasa de cambio de X en el punto P puede ajustarse a la velocidad promediada en profundidad de la ola \bar{u} . Esto puede expresarse mediante la ecuación (1).

$$\frac{dX}{dt} = \bar{u}(X, t) \quad (1)$$

Aplicando el cambio de variable desde (x, t) a $(\Theta = ct - X, t)$, donde c es la velocidad de fase de la ola.

$$\frac{dX}{d\theta} = \frac{\bar{u}(\theta(X))}{c - \bar{u}(\theta(X))}, \quad (2)$$

En la ecuación (2), la velocidad promediada en profundidad de la ola \bar{u} puede estar dada por una cualquiera de entre varias teorías diferentes. Para el caso de olas solitarias, que generalmente adoptan la forma de la ecuación 3 y 4 siguientes, pueden proporcionarse varios ejemplos. Esta técnica de diseño de lámina también puede aplicar a cualquier otra forma de ola superficial de gravedad para la que haya una solución aproximada, medida o calculada conocida.

$$\eta(\theta) = A \operatorname{sech}^2(\beta\theta/2), \quad (3)$$

$$\bar{u}(\theta) = \frac{c\eta(\theta)}{h_o + \eta(\theta)}, \quad (4)$$

Aquí $\eta(\theta)$ es la elevación de la superficie libre con relación al reposo, A es la amplitud de la ola solitaria, h_o es la profundidad media del agua, β es el coeficiente de decaimiento de la falda, c es la velocidad de fase, y $\bar{u}(\theta)$ es la velocidad horizontal promediada en profundidad. C y β pueden ser diferentes para olas solitarias.

Combinando las ecuaciones (2) y (3) con (4) se puede obtener la tasa de cambio del grosor de la lámina con el tiempo en una posición fija (5), y puede relacionarse con la forma de la lámina X(Y), a través de la velocidad de la lámina V_F , sustituyendo $t = Y/V_F$

$$X(t) = \frac{2A}{h_o\beta} \tanh[\beta(ct - X(t))/2] \quad (5)$$

Un grosor máximo de la lámina puede estar dado por (5) como:

$$T_F = \frac{4A}{h_o\beta}$$

La longitud de la sección activa de la lámina puede aproximarse como:

$$L_F = \frac{4}{\beta c} \left(\tanh^{-1} \left(.99 + \frac{A}{h_o} \right) \right)$$

Valores para C y β correspondientes a la ola solitaria de Rayleigh pueden ser:

$$\frac{\beta_R}{2} = \sqrt{\frac{3A}{4h_o^2(A+h_o)}} \quad \text{y} \quad c_R = \sqrt{g(A+h_o)}$$

En este ejemplo, para pequeños desplazamientos después de la linealización de la forma de la lámina X(Y) pueden aproximarse como.

$$X_R(Y) = \frac{2A}{h_o\beta_R} \frac{h_o \tanh(\beta_R c_R Y / 2V_F)}{h_o + A [1 - \tanh^2(\beta_R c_R Y / 2V_F)]}$$

Esta solución también puede aproximarse con una función tangente hiperbólica. Estas formas de lámina, según se describen mediante al menos algunas de las funciones matemáticas, tendrían unos bordes de ataque extremadamente delgados que serían estructuralmente inestables. Los bordes de ataque reales estarían truncados a un grosor adecuado de típicamente aproximadamente 7,6 a 30,5 cm (3-12 pulgadas), y redondeados para proporcionar un borde de ataque más rígido. El redondeamiento puede ser simétrico o no y, en algunas implementaciones, puede seguir aproximadamente la forma de una elipse.

Como se muestra en un ejemplo de configuración mostrado en las Figs. 7A y 7B, las láminas 500 son geometrías tridimensionales de forma curvilínea que tienen una superficie 502 de ataque, o "sección X(Y) activa" que genera una ola, y una superficie trasera 504 que opera como una recuperación de flujo para evitar la separación del flujo y disminuir la resistencia hidrodinámica de la lámina 500 para una mejor eficiencia energética. La lámina 500 se muestra a modo de ejemplo configurada para ser remolcada en un canal lineal y por tanto tiene una superficie plana que sería adyacente a la pared vertical del canal. La lámina 500 puede estar conformada para transmitir la mayor cantidad de

energía a la ola principal solitaria y minimizar la energía en las olas traseras oscilatorias. Como tal, la lámina 500 puede promover un entorno en calma para un subsiguiente generador de olas y lámina, si existen. Cada lámina 500 puede contener actuadores internos que permite que su forma cambie para producir diferentes olas, y/o puede articularse para tener en cuenta cambios en curvatura en la pared exterior en piscinas no circulares o no lineales. En algunas implementaciones, el cambio de forma de la lámina 500 puede permitir la inversión del mecanismo para generar olas mediante el desplazamiento de la lámina 500 en el sentido opuesto. El cambio de forma puede conseguirse mediante una serie de actuadores lineales o la disposición de múltiples rodillos 552 excéntricos verticales (como se muestra en las Figs. 8A-8C) bajo la piel de la cara de generación de olas de la lámina 500. En la Fig. 8A se muestra un esquema de una lámina 500 que incluye un rodillo 552 excéntrico. La piel de la cara de generación de olas de la lámina 500 se muestra en la Fig. 8A como transparente para mostrar el rodillo 552 excéntrico. Además, en la Fig. 8B, 8C se muestra una lámina 500 con múltiples rodillos 552 de cambio de forma. De manera similar a la Fig. 8A, la piel de la cara de generación de olas de la lámina 500 se muestra en la Fig. 8C como transparente con el propósito de mostrar los múltiples rodillos 552 de cambio de forma. También se pueden añadir rodillos 552 en la posición de la lámina 500 que tienen bien el máximo grosor o la recuperación. En algunas implementaciones de la lámina 500, la capa flexible puede estar formada como una plancha relativamente rígida que desliza horizontalmente a medida que la lámina cambia de forma. Además, algunas implementaciones pueden incluir un útil específico que consiste en una depresión ranurada que puede absorber la falta de tensión en la plancha relativamente rígida a través de dispositivos de tensión hidráulica o de resorte que estiran la plancha relativamente rígida a lo largo de la longitud de la lámina 500. La capacidad de cambiar la forma de la lámina 500 puede permitir una gran variación en el tamaño y forma de las olas generadas, y permitir la optimización de la forma de la lámina 500 para generar la forma de oleaje deseada. Esta optimización fina puede ser necesaria debido a otros fenómenos mecánicos de fluidos viscosos que juegan un papel en la capa límite que se desarrolla sobre la superficie de la lámina 500. La capa límite puede tener el efecto de cambiar ligeramente la forma efectiva de la hidrolámina. En otras implementaciones, puede haber una rugosidad superficial específica o "un actuador de capa límite" instalado en la superficie de la hidrolámina. En particular, la longitud física de las hidroláminas puede reducirse si se genera suficiente turbulencia en la sección de recuperación para asegurar que no hay separación de flujo, y la capa límite fuertemente turbulenta no se separará tan fácilmente en un gradiente de presión adverso.

En algunas implementaciones, las láminas 500 están conformadas y formadas con una geometría específica basándose en una transformación en una función del espacio a partir de una analogía con una ecuación como una función del tiempo. Las funciones de tangente hiperbólica que definen matemáticamente el movimiento de un pistón como función del tiempo, de modo que el pistón empuja una placa de olas para crear una ola en profundidad baja que se propaga alejándose de la placa de olas. Estas funciones de tangente hiperbólica consideran la posición de la placa de olas con relación a la posición de la ola generada en un modelo de generación de ola larga, y producen un perfil aceptable tanto para olas solitarias como cnoidales. Estas técnicas pueden usarse para generar cualquier onda superficial de gravedad que se propaga teniendo en cuenta la propagación de la ola alejándose del generador durante la generación (es decir, adaptándose a cómo la ola va cambiando durante la generación). Una compensación del movimiento del generador a lo largo del tiempo y la forma específica de la sección de recuperación pueden ayudar a eliminar olas oscilatorias traseras, lo que puede proporcionar un proceso de generación más compacto y eficiente. Pueden definirse otros tipos de olas de las descritas en este documento.

El grosor de la lámina puede relacionarse con la amplitud (altura) de la ola y la profundidad del agua. En consecuencia, para una profundidad conocida y una amplitud A deseada, puede determinarse que un grosor de la lámina, F_T , puede estar dado aproximadamente por:

Para una ola solitaria de Rayleigh:

$$F_T = 4\sqrt{\frac{A(A+h_o)}{3}}$$

Para una ola solitaria de Boussenesq:

$$F_T = 4\sqrt{\frac{Ah_o}{3}}$$

Para agua poco profunda, ola solitaria de segundo orden:

$$F_T = 4\sqrt{\frac{A(A+h_o)}{3}}\left(1 + \frac{A}{h_o}\right)$$

La Fig. 9 muestra una geometría en sección transversal de una lámina 600. Como un objeto tridimensional, la lámina 600 puede generar una onda que tiene una velocidad de propagación y un vector V_w , basándose en la velocidad y vector de la lámina V_f . A medida que la lámina se mueve en la dirección mostrada, y dependiendo de su velocidad, la ola se propagará hacia fuera según un ángulo de incidencia α , dado por $\sin \alpha = Fr^{-1}$, de modo que para una profundidad del agua dada y una altura de ola puede determinarse el ángulo de incidencia mediante la velocidad de la lámina,

correspondiendo velocidades más altas a ángulos de incidencia más bajos. Cuando más bajo es el ángulo de incidencia, mayor será la longitud de la cresta de la ola a través de la piscina.

5 La Fig. 10 ilustra un generador 700 de olas en el que una pared 702 interior rotativa está situada dentro de una pared 706 exterior fija. La pared 702 interior rotativa puede estar dotada de una o más láminas 704 fijas que pueden tener el mismo tamaño y forma que las láminas descritas anteriormente. Estas láminas 704 embebidas pueden tener actuadores 708 internos que pueden ayudar a permitir que las láminas 704 embebidas cambien de forma, por ejemplo, de acuerdo con una variedad de las formas en sección transversal descritas anteriormente. El cambio en la forma de la sección transversal puede acomodar "puntos dulces" para diferentes velocidades y profundidades de agua. Estos actuadores pueden funcionar de un modo similar a los rodillos excéntricos de formación mostrados en la Fig. 8.

10 La Fig. 11 ilustra un generador 800 de olas en el que se coloca una capa 802 flexible a lo largo de una pared 804 exterior, y la pared 804 exterior puede incluir varios actuadores 806 lineales dispuestos alrededor de al menos una mayor parte de la longitud o circunferencia de la pared 804 exterior. Además, los actuadores 806 lineales también pueden fijarse a la capa 802 flexible. La capa 802 flexible puede formarse a partir de varios materiales flexibles, incluyendo goma o materiales similares a la goma. Los actuadores 806 lineales pueden ser actuadores mecánicos o neumáticos, u otros dispositivos que tienen al menos una dirección de expansión y retracción radial, tal como una serie de rodillos excéntricos alineados verticalmente. Los actuadores 806 lineales pueden accionarse para formar una forma móvil en la capa 802 flexible que se aproxime a la forma de las láminas descritas anteriormente. La forma de la lámina puede propagarse a lo largo de la pared 804 exterior o capa 802 flexible a una velocidad V_F .

20 La Fig. 12 ilustra una implementación de un generador 900 de olas que incluye una capa 902 flexible posicionada a lo largo de una pared 904 exterior. El hueco entre la capa 902 flexible y la pared 904 exterior puede definir una lámina 906 móvil, similar a la descrita anteriormente, y puede incluir uno o más rodillos 908 en pistas que pueden conectarse tanto a la pared 904 exterior como a la capa 902 flexible. Los rodillos 908 en pistas pueden permitir que la lámina 906 formada en el hueco se desplace suavemente en una dirección a lo largo de la pared 904 exterior. Esta lámina 906 móvil puede producir un movimiento radial de la capa 902 flexible que como mínimo se aproxima mucho a las formas de una o más de las láminas descritas anteriormente.

30 La Fig. 13 ilustra un generador 1000 de olas que incluye una capa 1002 flexible que puede elevarse alejándose de la pared 1004 exterior para definir una lámina 1006. La lámina 1006 puede incluir actuadores internos o rodillos 1010 excéntricos que permiten cambiar la forma de la lámina 1006, que puede cambiar dependiendo de la dirección de movimiento a lo largo de la pared 1004 exterior. La lámina 1006 definida puede desplazarse mediante rodillos 1008 sobre pistas, tal como las descritas anteriormente. En consecuencia, la capa 1002 flexible puede conformarse para aproximarse a las láminas descritas con anterioridad, al mismo tiempo que protege los actuadores y rodillos 1008 sobre las pistas del agua. Esta configuración puede también reducir el riesgo de que partes del cuerpo puedan quedar atrapadas en una lámina móvil separada.

FONDO VIRTUAL

35 En algunas implementaciones, un sistema de chorros posicionados cerca del fondo de la piscina en la pendiente puede simular una profundidad más baja de la que realmente existe, permitiendo que la ola rompa en aguas más profundas de lo que se podría conseguir en otras condiciones. Estos chorros pueden ser posicionales para generar tanto un flujo medio como una turbulencia del nivel requerido. La distribución de estos chorros puede cambiar tanto radialmente como en la dirección desde la pared exterior hacia la playa, con más chorros en la playa. También puede haber una variación azimutal en la naturaleza y cantidad de los chorros. Este sistema de chorros puede incorporarse tanto con el sistema de filtrado como con el sistema de olas para proporcionar una mitigación de flujo medio o río tranquilo. Pueden añadirse elementos rugosos al fondo de la piscina para promover la generación de turbulencias que promueva cambios en la forma de la ola que rompe. La distribución y tamaño de los elementos de rugosidad puede ser una función tanto de radio como de azimut. Los elementos rugosos pueden tomar la forma de generadores de vórtice clásicos o nuevos, y se describen a continuación.

FLUJO MEDIO

50 Una lámina móvil o conjunto de láminas dentro de una piscina, en particular un vaso circular tal como se ha descrito anteriormente, generará eventualmente un flujo medio o efecto de "río tranquilo", donde el agua en la piscina desarrollará una ligera corriente en la dirección de la una o más láminas.

55 En otras implementaciones, una piscina puede incluir un sistema para proporcionar o contrarrestar una circulación o flujo medio. El sistema puede incluir varios chorros de flujo a través de los cuales se bombea agua para contrarrestar o mitigar cualquier flujo de "río tranquilo" creado por las láminas móviles, y/o ayudar a cambiar la forma de la ola que rompe. La circulación media puede tener una variabilidad vertical u horizontal. Pueden usarse otros medios de flujo medio, tales como un fondo o lado opuesto contra rotacional, u otro mecanismo.

CONTROL DE FLUJO DE "RÍO TRANQUILO" PASIVO

Las Figs. 14-16 ilustran varios mecanismos pasivos que pueden añadirse para seleccionar superficies de la piscina, en particular en el área profunda debajo y junto a la lámina, como obstáculos generadores de turbulencias para el flujo medio de las corrientes azimutales y radiales que pueden mitigar el flujo medio inducido por las láminas móviles.

5 En algunas implementaciones, como se muestra en la Fig. 14, se disponen varios generadores 1302 de vórtices en una superficie 1304 de una piscina, tal como en un fondo de la piscina o una pared lateral del vaso. Los generadores 1302 de vórtice puede disponerse en áreas detrás de una valla de seguridad en un lado exterior de la piscina cercano a las láminas móviles, tal como un lugar donde los surfistas probablemente no entren en contacto con los mismos. Alternativamente, o además, los vórtices 1302 generadores pueden disponerse en la superficie del vaso de la piscina donde tiene lugar el surfing, especialmente sin los generadores 1302 son parte de un elemento de seguridad, tal como
10 cuando están hechos de un material blando tal como espuma para proteger contra impactos en la superficie por un surfista. Los generadores 1302 de vórtice pueden posicionarse y separarse de manera incremental en la superficie 1304, tal como un fondo del vaso de la piscina, como se muestra en las Figs. 14 y 15, y/o pueden posicionarse en la pared lateral de la piscina, como se muestra en la Fig. 16.

15 La Fig. 14 ilustra una implementación de generadores 1302 de vórtice que tienen miembros alargados con una sección transversal cuadrada. Adicionalmente, los generadores de vórtice pueden estar separados según un incremento, tal como un espacio de 8 veces la anchura k en sección transversal de cada generador 1302 de vórtice ($p_x = 8k$). La Fig. 15 ilustra otra implementación de un generador 1306 de vórtice que tiene miembros cuadrados separados tanto en la dirección de la anchura (es decir, 8 veces la anchura k en sección transversal), como en la dirección de la longitud (es decir, cada dos veces la longitud en sección transversal, $p_z = 2k$). La Fig. 16 ilustra generadores 1302 de vórtice
20 montados tanto en una sección de fondo adyacente a un canal 1310 exterior del vaso, como en una porción de fondo de una pared 1312 de canal exterior del vaso, de modo que pueden implementarse generadores también en la pared exterior real si no hay ningún canal, o cuando el sistema de canal no se extiende hasta toda la profundidad... Pueden usarse también miembros rectangulares, en cuyo caso la separación sería de aproximadamente 8 veces la anchura azimutal de los miembros. Como se ilustra en la Fig. 17, los generadores 1330 de vórtice también pueden tener formas no lineales, tales como ser inclinados o curvados. En el caso de generadores de vórtice inclinados, pueden estar
25 posicionados con su punta en dirección bien a la dirección aguas arriba o aguas abajo del movimiento de las láminas y el flujo medio resultante.

Las interacciones entre el flujo medio con los generadores de vórtice pueden incrementar las tensiones de Reynolds y la intensidad general de la turbulencia en la cercanía del camino de la hidrolámina, lo que puede proporcionar capas límite más gruesas en el agua. Estas capas límite mejoradas pueden disipar sustancialmente más energía que una superficie suave de un tamaño equivalente. Adicionalmente, el transporte de inercia por difusión turbulenta, específicamente asociada a vórtices más grandes, puede permitir que el fondo del vaso o las áreas de pared cubiertas con los generadores de vórtice proporcionen sumideros fuertes para la inercia tanto azimutal como radial. En efecto, estos elementos pueden permitir que el fluido dentro del vaso transmita mejor el par al propio vaso.

35 Aunque cada generador de vórtices puede tener una sección transversal cuadrada, como se muestra en las Figs. 14, 15, 16 y 17, también pueden usarse otras formas en sección transversal, tales como redondeada, rectangular, u otras formas de prisma o tridimensionales. En algunas implementaciones preferidas, cada generador de vórtices tiene unas dimensiones en sección transversal de aproximadamente 0,093 metros cuadrados (aproximadamente 1 pie cuadrado), aunque también pueden usarse dimensiones laterales de menos de aproximadamente 0,3 m (1 pie) o mayores de
40 aproximadamente 0,3 m (1 pie). Los generadores de vórtices pueden estar preferiblemente separados aproximadamente 1,8 a 3,6 m (6-12 pies). Por ejemplo, si se utilizan en el fondo de la piscina, los generadores de vórtices pueden estar separados a lo largo de líneas radiales según una separación azimutal media de aproximadamente 1,8 a 3,6 m (6 a 12 pies). Si se posicionan en una pared lateral vertical de la piscina, los generadores de vórtices pueden estar separados de manera uniforme. En aún otras variaciones, la separación de los generadores
45 de vórtices puede variar alrededor de la piscina para conseguir diferentes efectos.

Para facilitar la limpieza de los generadores de vórtices y la piscina, y para evitar la acumulación de suciedad en las esquinas y alrededor de los generadores de vórtices, algunas implementaciones pueden optar por perfiles 1500 de piscina suaves (curvados) donde los generadores de vórtices se encuentran con las paredes laterales o el fondo, como se muestra a modo de ejemplo en la Fig. 18.

50 En algunas implementaciones, los generadores de vórtices pueden formarse a partir de un material rígido o sólido y pueden estar fijados permanentemente a la piscina. Por ejemplo, los generadores de vórtices pueden estar hechos de hormigón reforzado con barras de refuerzo e integrados en la estructura del vaso. En otras implementaciones, los generadores de vórtice pueden ser modulares y estar fijados con pernos, o fabricados de plástico, fibra de carbono, u otro material menos rígido o sólido. Estos generadores de vórtices modulares también pueden permitir la configuración
55 personalizada de separación, tamaños y orientación variables. Por ejemplo, pueden utilizarse varias combinaciones y disposiciones de generadores de vórtices modulares y fijos.

SISTEMA DE CANAL PARA CORRIENTES AZIMUTALES CONTRARIAS (CANALES DE CAVIDAD CON ALETAS)

Los sistemas anteriormente descritos, tales como los generadores de vórtices, mejora mediante rugosidad y otros salientes o pestañas, pueden configurarse para reducir los flujos de río tranquilo mediante el incremento de la

- disipación turbulenta dentro del flujo. Adicionalmente, estos sistemas pueden actuar como sumidero o inhibidor tanto para la inercia media azimutal/longitudinal como también para las corrientes alternativas en las direcciones radial/transversal y vertical. Alternativamente, o adicionalmente, el flujo azimutal/longitudinal puede ser redirigido por un sistema de canal utilizado en un área de la playa interior del vaso circular, con forma creciente o lineal (“sistema de canal interior”), en una pared exterior del vaso (“sistema de canal exterior”), o ambos. El principio básico de estos canales de redireccionamiento de flujo puede ser capturar la energía cinética del flujo como energía potencial haciendo que suba una pendiente. El fluido puede entonces ser devuelto al vaso con una dirección del vector velocidad diferente a aquella con la que llegó. Este redireccionamiento puede conseguirse mediante un sistema de aletas, aunque también se pueden implementar otros medios tales como tubos o canales.
- 5
- 10 En algunas implementaciones, el sistema de canal incluye un fondo inclinado cubierto por una rejilla perforada permeable al agua, típicamente de un área abierta del 25-40%. En este caso, para un sistema de canal interior (de playa en pendiente), la pendiente de la rejilla puede ser mayor que la pendiente de los suelos inclinados o playa, formando una cavidad entre el suelo inclinado de la playa y la rejilla de inclinación mayor que se extiende alrededor de la isla central del vaso. Para una piscina de olas circular de aproximadamente 152,4 m (500 pies) de diámetro con generación de olas alrededor del perímetro exterior, la cavidad puede extenderse aproximadamente 6 a 12 m (20-40
- 15 pies) con relación a la isla, estando el suelo del fondo inclinado aproximadamente 5-9 grados y estando inclinadas las rejillas perforadas que conforman la cubierta superior de la cavidad aproximadamente 10-20 grados. Las pendientes pueden elegirse de manera diferente para piscinas más pequeñas o grandes, donde piscinas más grandes requieren pendientes menos inclinadas y piscinas más pequeñas requieren una pendiente algo mayor.
- 20 Esta cavidad por sí sola puede absorber energía de la ola y reducir olas reflejadas generadas por el movimiento de la lámina alrededor del vaso. Adicionalmente, la cavidad puede reducir las corrientes azimutales cerca de la playa inclinada mediante mecanismos de disipación simples ya que el agua que entra en las rejillas puede encontrarse con una turbulencia aumentada. Para una implementación de piscina de olas circular, la importancia de reducir las corrientes cerca de la isla central no puede ser sobreestimada. Cuando hay corrientes significativas en paralelo a la
- 25 costa en la dirección en la que está rompiendo la ola, las corrientes pueden hacer que la ola “se adelante a sí misma”, requiriendo que el mecanismo de generación de olas se mueva a una velocidad mayor si se quiere preservar la forma de tubo de la ola. Son estas corrientes las que pueden tender a limitar la velocidad operacional mínima de la ola, tanto si es generada por un sistema de tipo hidrolámina u otro tipo de generador de olas. Esta velocidad operacional mínima donde la ola ya no tendrá forma de tubo, sino que adoptará la forma de una cresta espumosa de agua blanca está asociada a un estado que se ha denominado “espumado”.
- 30
- En otras implementaciones, y como se ilustra en la Fig. 19, al menos parte de la cavidad cercana a la isla 1402 interior puede estar dotada de una serie de aletas 1404 inclinadas. Las aletas 1404 inclinadas pueden formarse a partir de un material sólido, tal como hormigón, o de cualquier número de una variedad de materiales sólidos. Las aletas 1404 inclinadas pueden estar cubiertos por una rejilla 1406 perforada permeable al agua. La rejilla 1406 perforada se
- 35 muestra en la Fig. 19 como transparente con el propósito de mostrar las aletas 1404 inclinadas. Durante el funcionamiento, una ola entrante puede acercarse a la cavidad según un ángulo pequeño, entrar a través de la rejilla 1406 y recorrer hacia arriba cada aleta 1404 inclinada bajo la rejilla 1406. Cuando la subida de la ola alcanza una altura máxima en el canal formado por la aleta 1404 inclinada, puede devolverse la energía potencial almacenado a su forma cinética cuando la ola vuelve a bajar en un conjunto confinado de aletas 1404 inclinadas. La ola entonces sale de la cavidad a través de la rejilla con un componente de velocidad azimutal diferente y en gran parte opuesto a aquel con el que entró. De esta manera, se proporciona un mecanismo completamente pasivo para limitar o invertir las corrientes azimutales/que cruzan la costa cerca de la isla.
- 40
- En algunas implementaciones, el sistema de canal puede proporcionar una inversión de corriente completa o casi completa cerca del canal. La importancia de estos sistemas de canal de cavidad con aletas en su capacidad para mitigar efectos indeseables del espumado en el tubo de la ola que surfea un surfista está relacionada con la magnitud con la que sus efectos pueden propagarse lejos de la isla. Por esta razón, es importante que las aletas que redirigen el flujo están inclinadas para inyectar el flujo redirigido hacia el interior del vaso y lejos de la isla. Configuraciones típicas describen inclinaciones para estas aletas de 45-70 grados desde el radio alrededor de un eje vertical. El ángulo exacto dependerá algo de la batimetría específica del vaso, pero en general hay un compromiso donde aletas más
- 45 inclinadas realizarán mejor el redireccionamiento de las corrientes, y aletas menos inclinadas transferirán mejor el fluido redirigido al interior del vaso, frenando la ola en esa ubicación.
- 50
- Las aletas están inclinadas tanto con relación a un radio de la isla 1402 interior, como con relación a la horizontal, formando un triángulo para acomodar la pendiente de la rejilla sobre las aletas. La Fig. 20 muestra tanto un sistema 1600 de canal interior (nótese que en este diagrama el suelo bajo la rejilla no tiene pendiente aparente, pero puede haber pendiente en la mayoría de las implementaciones), y un sistema 1620 de canal exterior entre la lámina 1610 y el mecanismo de generación de olas y la pared exterior del vaso 1630. El canal 1620 exterior, que como se muestra incluye una placa 1640 horizontal que inhibe el movimiento vertical del nivel de agua debido a cambios de presión cuando la lámina se mueve, puede estar fabricado de un modo similar al canal interior descrito anteriormente. Dicho canal 1620 exterior puede incorporar una serie de placas inclinadas entre la pared exterior y la pared perforada. Estas
- 55 placas estarían inclinadas a partir de la horizontal tanto en sentido radial como azimutal. De este modo, el fluido que entra en los canales sería redirigido y saldría con una velocidad dirigida hacia dentro y contrarrestaría la corriente principal.
- 60

Otra implementación del sistema de canal de redirección de flujo incluye permitir que el agua que entra entre cualesquiera dos aletas 1700 sube la pendiente según se ha descrito anteriormente. Al acercarse al punto más alto de la subida, parte del flujo es redirigido hacia el canal adyacente a través de una abertura 1720 inclinada. De este modo, se actúa sobre el flujo alrededor de la playa, mejorando aún más el transporte de cruce de la costa. La Fig. 21 ilustra esto implementado en una playa inclinada con la cubierta de la rejilla quitada.

CANALES DE ABSORCIÓN DE OLA Y CANCELACIÓN DE FASE

De acuerdo con algunas implementaciones de una piscina de olas usando un vaso anular, tanto las fronteras interior como exterior del vaso anular pueden estar dotadas de canales y/o deflectores que están configurados tanto para limitar la reflexión de cualquier onda incidente que pueda ser generada por el paso de una hidrolámina de generación de olas, como para reducir la persistencia del rizado aleatorio general dentro del vaso. Por ejemplo, los canales y/o deflectores pueden estar configurados para controlar modos de seiche particulares, u otras olas de longitud de onda conocida que están dentro del vaso. Como se ilustra en la Fig. 22, algunas implementaciones de los canales y/o deflectores 1500 pueden utilizar una pared 1506 perforada, que tiene preferentemente un 30%-60% de área abierta, y situados en paralelo, o inclinados con relación a, las paredes 1504 o playas de contención del agua del vaso. La distancia entre la pared 1506 perforada y la pared 1504 principal (b en la Fig. 22) puede elegirse para disipar de la mejor manera posible las olas de rizado o incidentes en cuestión.

En algunas implementaciones, un canal 1500 puede incluir una placa porosa vertical simple de aproximadamente un 20% a 50% de área abierta, y preferiblemente alrededor del 33% de área abierta que forman una cavidad entre la pared exterior y el camino de la hidrolámina. La anchura de la cavidad puede ajustarse para una cancelación de fase óptima, como se describe con mayor detalle más adelante.

En algunas implementaciones, los canales están dispuestos en el vaso y están adaptados para limitar los desplazamientos verticales y la energía reflejada asociada con cualquier ola trasera, o de recuperación, generada por una lámina móvil u otro dispositivo de generación de olas. Esto puede implicar el uso de una placa o escalón 1508 separador horizontal dispuesto a una altura h_1 que es típicamente de $0,2h - 0,4h$. En el caso de un escalón se llena el volumen bajo la placa horizontal, mientras que para una placa separadora este volumen se mantiene abierto, en otra variación el escalón sustituye a la placa separadora horizontal en forma de una pared vertical sólida que se extiende desde el fondo hasta la altura típicamente asociada a la placa separadora horizontal. Estos canales también pueden tener integrados sistemas de control y dirección de flujo azimutal, como se ha descrito en la sección anterior.

La Fig. 23 ilustra una evolución temporal de una ola resultante de una lámina móvil, incluyendo una ola incidente y ola(s) reflejada(s). La longitud de onda de la ola incidente en el canal puede ser L . En algunas implementaciones, es deseable optimizar el porcentaje de reflexión de la ola resultante contra la pared porosa del canal, de modo que, en una aproximación gruesa:

- pared porosa en un nodo ($L/4$) => 0% (*) de reflexión, 100% (*) de transmisión
- pared porosa en un máximo ($L/2$) => 100% de reflexión, 0% de transmisión

Si no hubiera pared perforada, el nodo podría producirse a una distancia de $L/4$ de la pared posterior del vaso, y la mayor pérdida de energía podría también producirse a esta distancia. Sin embargo, debido a la resistencia inercial en la pared porosa, puede producirse un cambio de fase dentro del hueco que puede frenar las olas. Esto hace que la distancia desde la mayor pérdida de energía se produzca a menos de $L/4$. Como se puede apreciar en la Fig. 23, la anchura del canal puede ajustarse basándose en el tamaño y longitudes de onda de las olas incidentes que el canal está configurado para mitigar. Los canales pueden formarse a partir de una o más placas porosas paralelas, y puede combinarse además con una placa separadora horizontal y/o un escalón vertical según se describe con mayor detalle a continuación.

Una relación entre la longitud de onda de la ola incidente en el canal (L) y la de la ola dentro de la cavidad de canal (L_1) puede ser tal que $L > L_1$. Esta reducción en la longitud de onda puede ser debida a la dispersión y puede permitir el uso de canales de menor anchura de los que serían necesarios en caso contrario.

Nótese que puede haber un efecto similar cuando se usa una placa separadora y la condición para una reflexión mínima puede producirse con una relación de aproximadamente b/L , que puede ser menor que una relación correspondiente para una cámara de olas sin la placa separadora. Esto puede ser debido a que las olas en el canal se hacen más cortas que sobre la placa sumergida y por tanto se frenan.

Se muestran implementaciones adicionales de un canal 2000, por ejemplo, en las Figs. 24 y 25, que ilustran canales 2100 exteriores para un vaso anular. Este canal 2100 exterior puede incluir ranuras 2300 verticales en una pared 2200 de canal paralela a la pared 2400 principal para formar una cavidad porosa. La pared ranurada también podría adoptar la forma de una matriz de cilindros verticales que podría tener una función estructural adicional, tal como soportar una pasarela por encima del vaso. Las relaciones de porosidad son preferiblemente similares a las de una geometría similar usando una placa porosa o rejillas, es decir, entre el 30%-50% de área abierta.

Nótese un escalón 2500 no perforado que diferencia el canal mostrado en la Fig. 24 del canal mostrado en la Fig. 25.

El escalón es una variante que, al igual que con la placa separadora, puede combinarse con cualquiera de las varias implementaciones. El escalón 2500 puede funcionar de un modo similar a la placa separadora, pero puede tener la ventaja añadida de ser estructuralmente más robusto.

5 Las ranuras o salientes horizontales y verticales tienen diferentes propiedades. Las ranuras o salientes verticales, cuando están adecuadamente separados y dimensionados, tienen una propiedad consistente en que cuando las olas impactan en las ranuras o salientes verticales oblicuamente, los caminos incidente y reflejado pueden ser diferentes. Para ranuras o salientes alineados horizontalmente, la oblicuidad puede no tener efecto y la sumersión de la ranura o saliente más cerca del nivel de agua en calma puede ser importante debido a que puede permitir que olas o un rizado de pequeña escala entren salgan del área del canal. Adicionalmente, pequeñas variaciones en el nivel de agua pueden
10 utilizarse para ajustar la profundidad relativa de la ranura o saliente horizontal.

Las paredes porosas para algunos sistemas de canal también pueden integrar elementos rugosos de generación de vórtices, tal como se ha descrito anteriormente, éstos pueden apreciarse en la pared inferior de la Fig. 26. Como se muestra en la Fig. 26 a modo de ejemplo, algunas implementaciones pueden usar ranuras o barras 2700 verticales para formar la pared 2800 porosa. Además, las ranuras o barras 2700 pueden estar escalonadas de modo que ranuras o barras alternativas sobresalgan según diferentes distancias radialmente de la pared del vaso. En al menos algunos casos no es necesario que las ranuras o barras sobresalgan de manera alterna; por ejemplo, en algunas implementaciones, una cada siete u ocho ranuras o barras puede sobresalir de un plano formado por las otras. En algunas implementaciones, la distancia que sobresale de la una o más ranuras o barras puede ser de aproximadamente 0,2 a 0,6 m (8-24 pulgadas) y la distancia entre las ranuras o barras que sobresalen puede ser de
15 aproximadamente 1,27 a 4,57 m (50-180 pulgadas).
20

Aunque se han descrito con detalle algunas implementaciones, son posibles otras modificaciones. Otras realizaciones pueden estar dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Una piscina (100, 300, 400) de olas que comprende:
una piscina para contener agua, definiendo la piscina un canal (106) que tiene:
un primer lado (1402, 1504), siendo el primer lado uno de entre una isla; un escollo; una playa; y una pared;
5 un segundo lado (110, 208, 504), siendo el segundo lado uno de entre un escollo; una playa; y una pared; y
un fondo con un contorno que está inclinado hacia arriba desde un área profunda cercana al primer lado en
dirección a un bajío (206) definido por el segundo lado; y
al menos una lámina (302, 402, 500, 600, 704, 802, 906, 1006, 1610) al menos parcialmente sumergida en
10 el agua cerca del primer o segundo lado, y que está adaptada para el movimiento mediante un mecanismo de
movimiento en una dirección a lo largo del lado para generar al menos una ola en el canal que forma una rompiente
sobre el bajío,
caracterizada por uno o más mecanismos (1600, 1620) de canal de control de corriente pasiva para mitigar
corrientes en el agua inducidas por el movimiento de la al menos una lámina en la dirección a lo largo del lado.
2. La piscina de ola de acuerdo con la reivindicación 1, donde el uno o más mecanismos de canal de control de
15 corriente pasiva incluye un sistema (1600, 1620) de canal que tiene una o más placas (1406) perforadas dispuestas
bien
a) en el canal cerca del fondo inclinado, y que forman una cavidad entre la pendiente del fondo y la una o
más placas perforadas, y/o
b) cerca del bajío, y que forman una cavidad entre la pendiente del bajío y la una o más placas perforadas,
20 y/o
c) en el lado del canal, y que forman una cavidad entre el lado y la una o más placas perforadas.
3. La piscina de olas de acuerdo con la reivindicación 2, donde la piscina de olas comprende además una o más
aletas (1404, 1700) inclinadas dispuestas en la cavidad entre la pendiente o lado y la una o más placas perforadas,
25 estando al menos una de las una o más aletas inclinadas inclinada de modo que está sustancialmente orientada hacia
el movimiento del mecanismo móvil para recibir el flujo de agua de las corrientes azimutales y para redirigir el flujo de
agua de vuelta al canal en dirección opuesta al movimiento del mecanismo móvil,
y opcionalmente donde una primera aleta inclinada recibe el flujo de agua y transfiere el flujo de agua a una
segunda aleta inclinada adyacente, aún más opcionalmente donde la segunda aleta inclinada está enfrente de la
primera aleta inclinada con relación a la dirección de la al menos una lámina.
- 30 4. La piscina de olas de acuerdo con la reivindicación 2 o reivindicación 3, donde la una o más placas perforadas
están dispuestas según un ángulo mayor que la pendiente del fondo.
5. La piscina de olas de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, donde el canal es lineal.
6. La piscina de olas de acuerdo con la reivindicación 5, donde el canal tiene forma: curvilínea; redondeada; de
círculo truncado; ovalada; creciente; de canal lineal; circular; anular; o no circular.
- 35 7. La piscina de olas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, donde el canal es circular y
donde las placas perforadas están inclinadas desde la horizontal en ambas direcciones radial y azimutal.
8. La piscina de olas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 7, donde cada una de las placas
perforadas comprende un 25 a 40 por ciento de área abierta.
9. La piscina de olas de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, que además comprende un
40 mecanismo pasivo de control de rizado y seiche para mitigar el rizado y seiche aleatorios en el agua el menos
parcialmente inducidos por el movimiento de la al menos una lámina en la dirección a lo largo del lado, y al menos
parcialmente inducidos por la forma y el contorno del canal.
10. La piscina de olas de acuerdo con la reivindicación 9, donde el mecanismo de control de rizado y seiche
45 incluye un sistema (1500, 2000) de canal en el lado del canal, comprendiendo el sistema de canal una o más paredes
(1506, 2200) perforadas para formar una cavidad (2100) entre el lado del canal y un camino de la al menos una lámina,
y opcionalmente donde el sistema de canal incluye al menos una pared (1508, 2500) horizontal sólida
dispuesta en la cavidad entre la al menos una pared vertical perforada y el lado del canal,
y aún más opcionalmente donde la al menos una pared horizontal forma una parte superior de un escalón

sólido junto al canal,

y todavía más opcionalmente donde la al menos una pared vertical perforada comprende un 20 a 50 por ciento de área abierta.

11. La piscina de olas de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, que además comprende:
- 5 uno o más mecanismos pasivos de control de flujo para mitigar un flujo pasivo del agua inducido por el movimiento de la al menos una lámina en la dirección a lo largo del lado.
12. La piscina de olas de acuerdo con la reivindicación 11, donde el al menos uno o más mecanismos pasivos de control de flujo incluye una pluralidad de generadores (1302, 1306, 1330) de vórtices dispuestos en una superficie del canal y bajo una superficie del agua.
- 10 13. La piscina de olas de la reivindicación 12, donde la pluralidad de generadores de vórtice están:
- a) separados de la superficie del canal, y/o
 - b) dispuestos a lo largo del canal según incrementos espaciales, y/o
 - c) dispuestos en el fondo del canal, y/o
 - d) fijados de manera separable a la superficie del canal, y/o
- 15 e) hechos de un material blando.
14. La piscina de olas de acuerdo con la reivindicación 12 o reivindicación 13, donde al menos uno de entre la pluralidad de generadores de vórtice comprende:
- a) un miembro linealmente alargado que está dispuesto en la superficie del canal en perpendicular a la dirección del flujo medio, o
- 20 b) un miembro inclinado que está dispuesto en la superficie del canal, y que tiene un ángulo que apunta con relación a una dirección del flujo medio.
15. La piscina de olas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, donde el canal es un canal circular, y donde la pluralidad de generadores de vórtice están separados a lo largo de líneas radiales del canal circular.

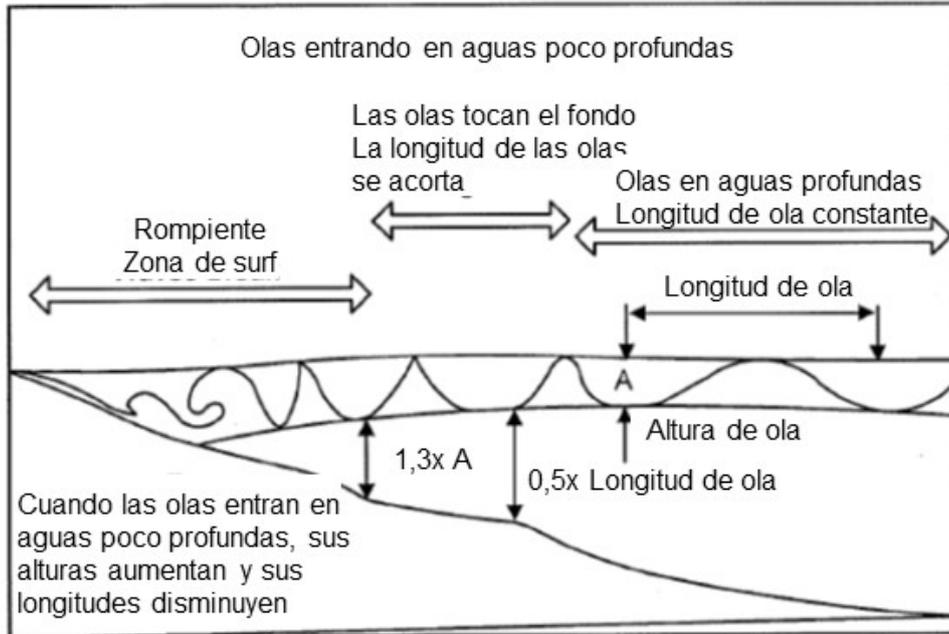


FIG. 1

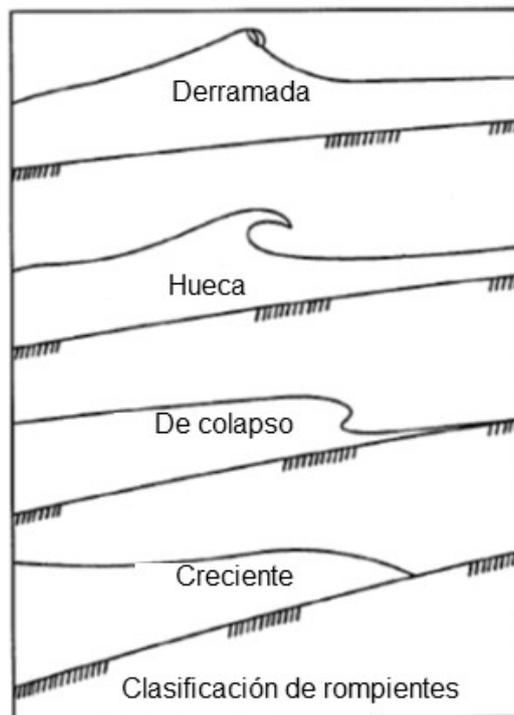


FIG. 2

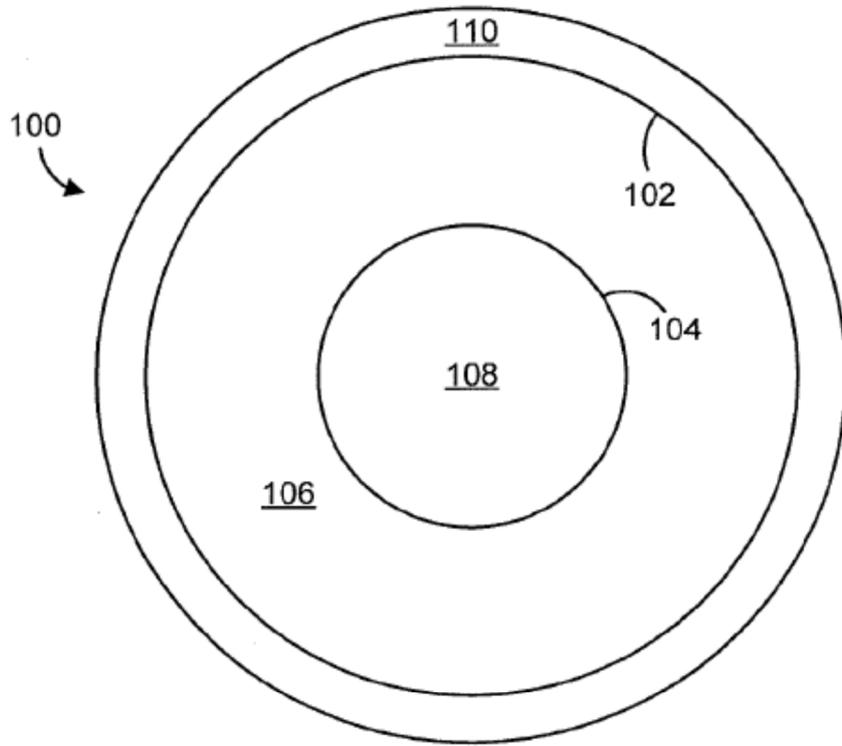


FIG. 3A

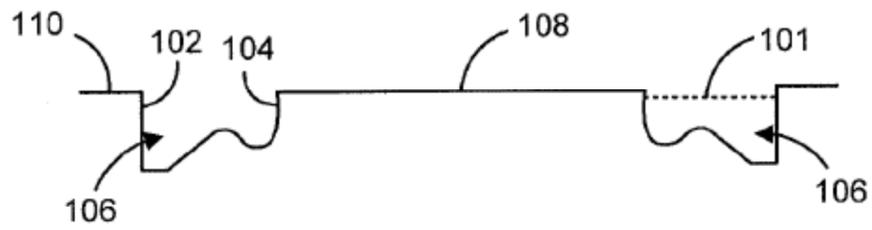


FIG. 3B

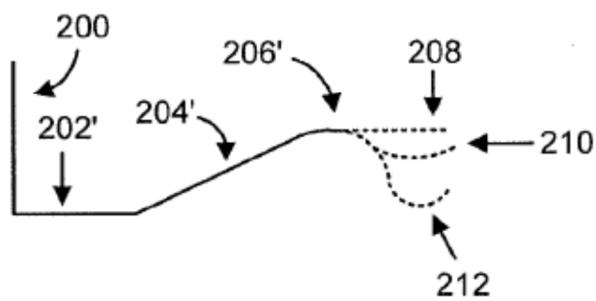


FIG. 4

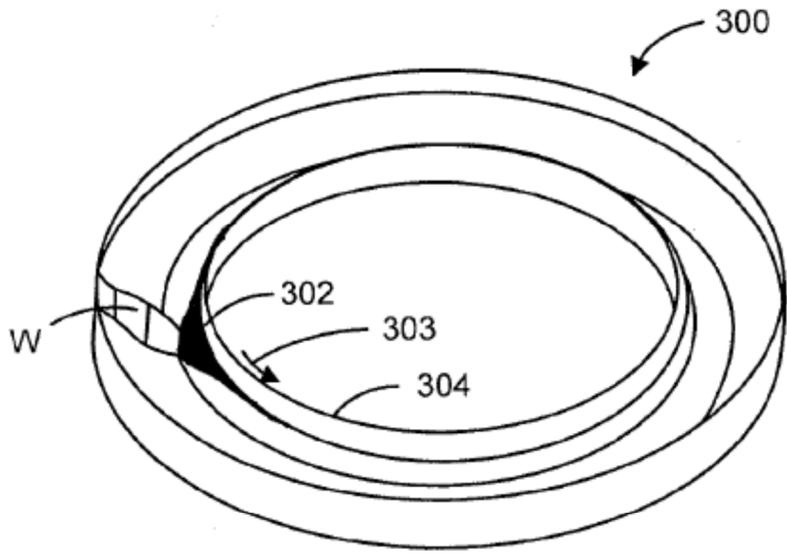


FIG. 5

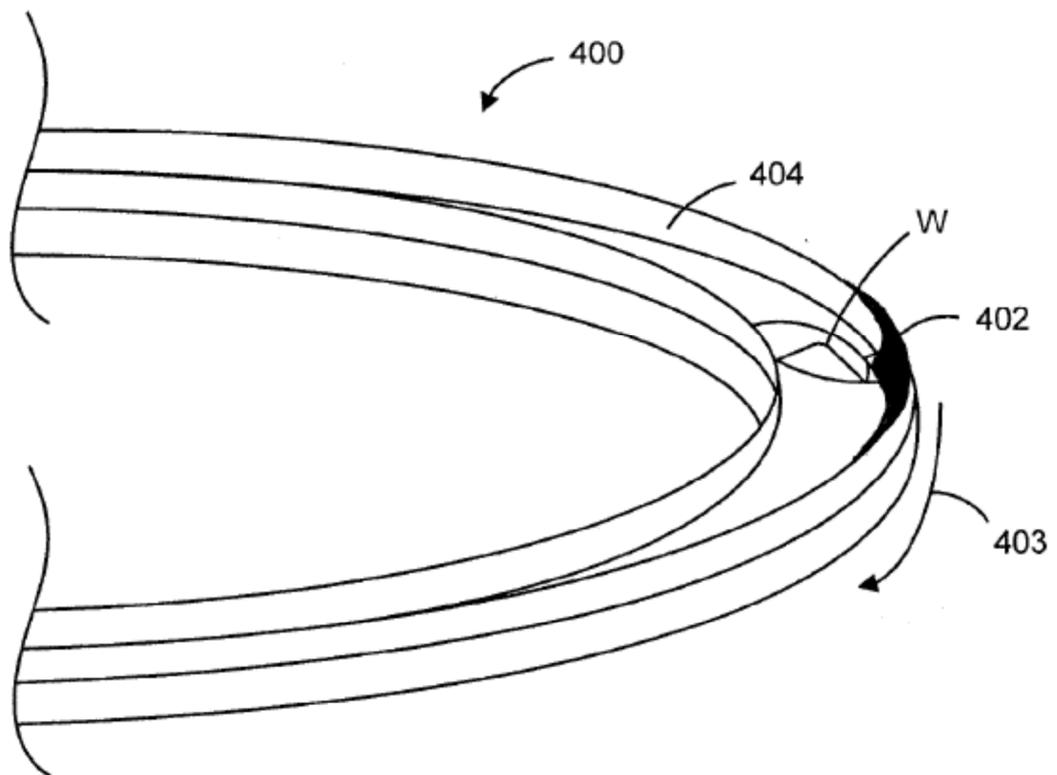


FIG. 6

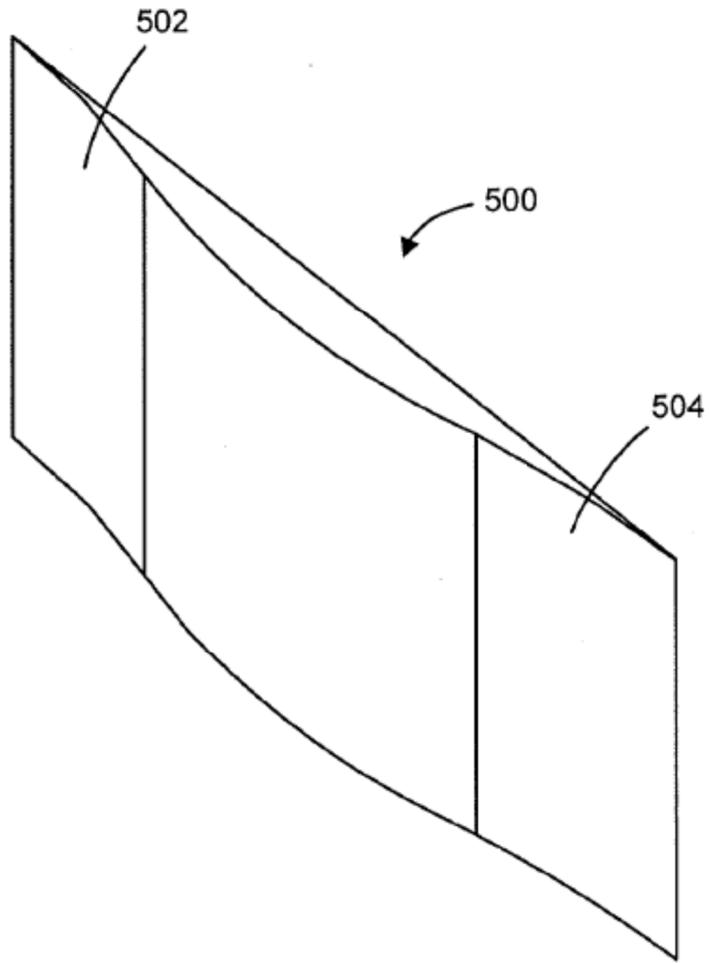


FIG. 7A

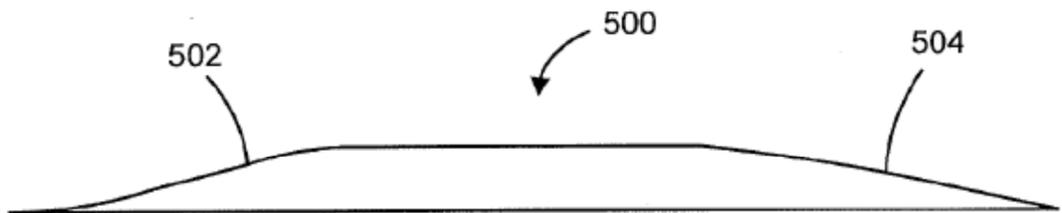


FIG. 7B

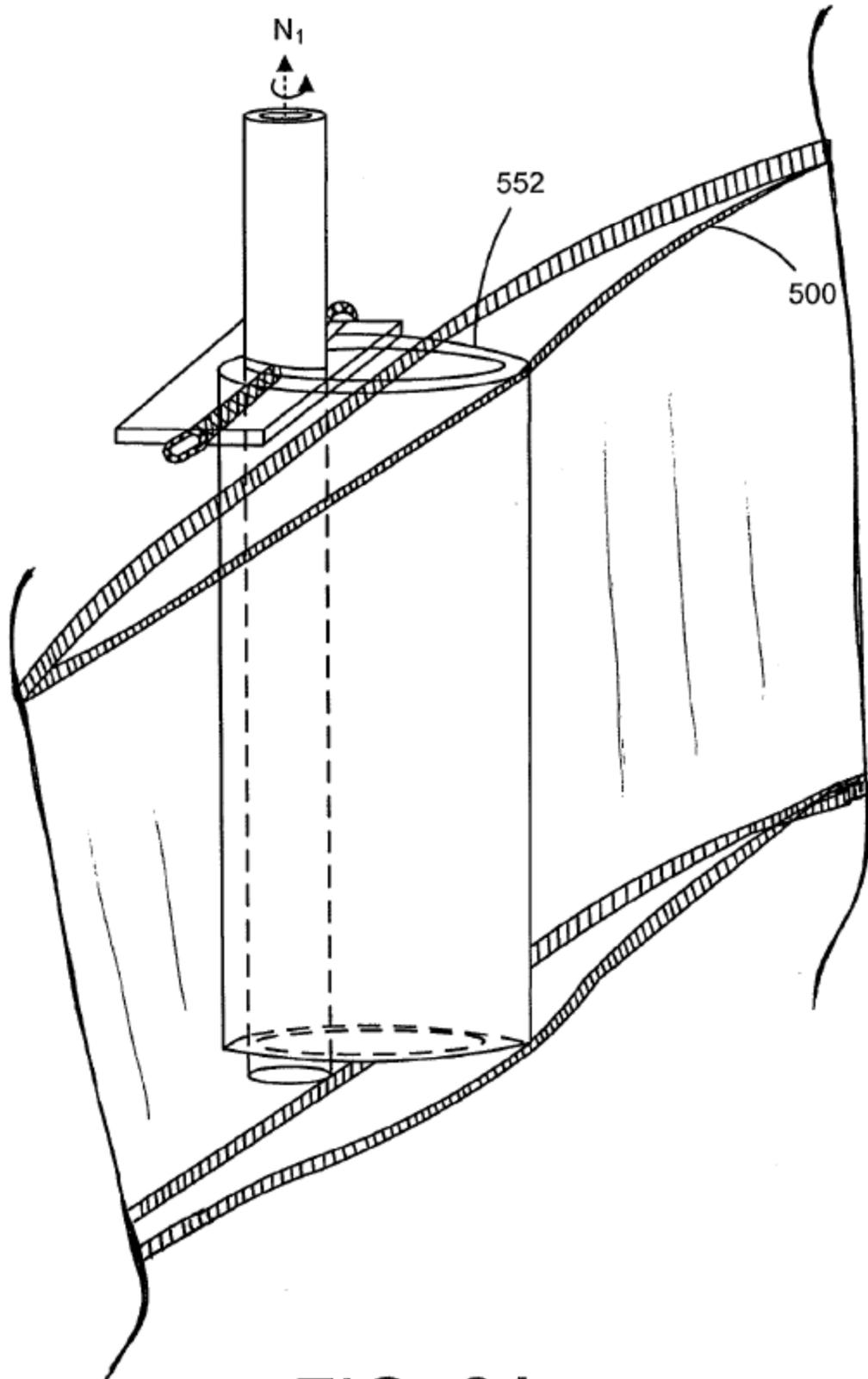


FIG. 8A

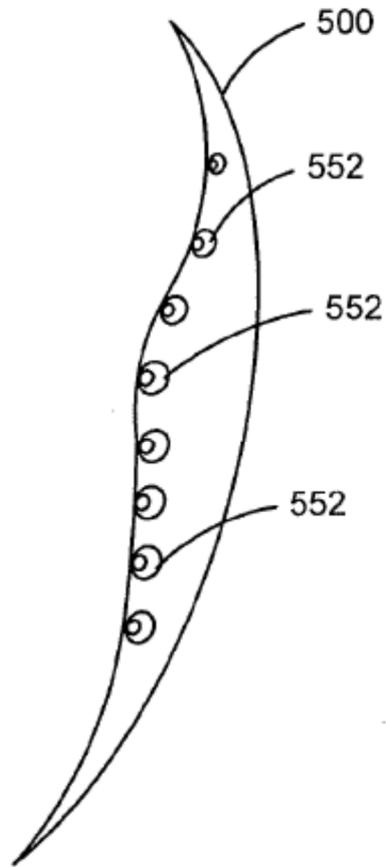


FIG. 8B

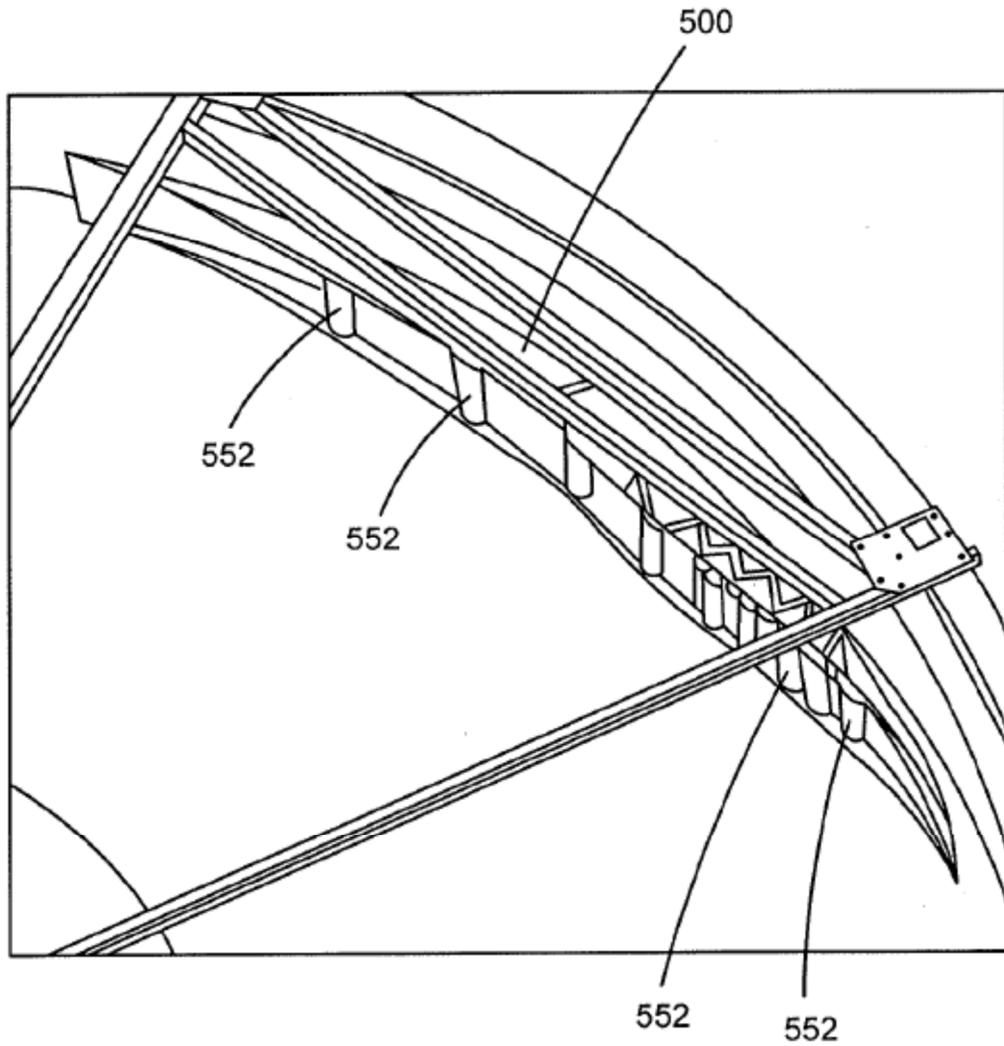


FIG. 8C

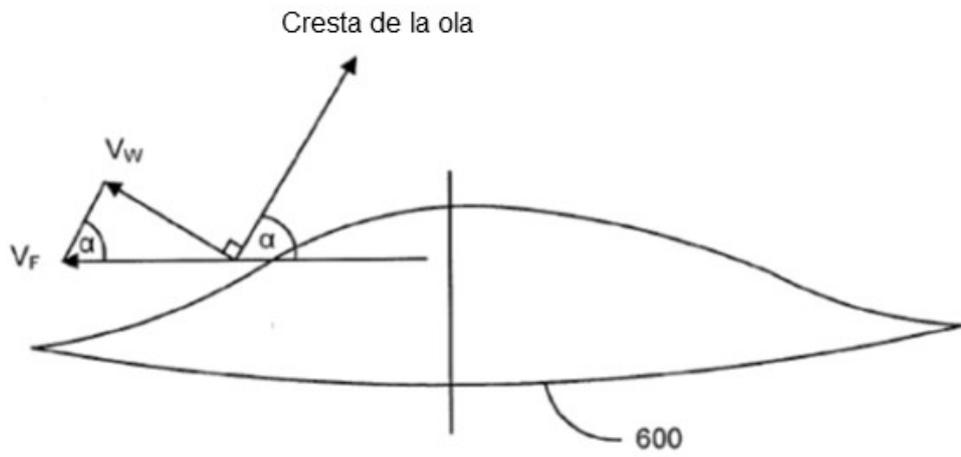


FIG. 9

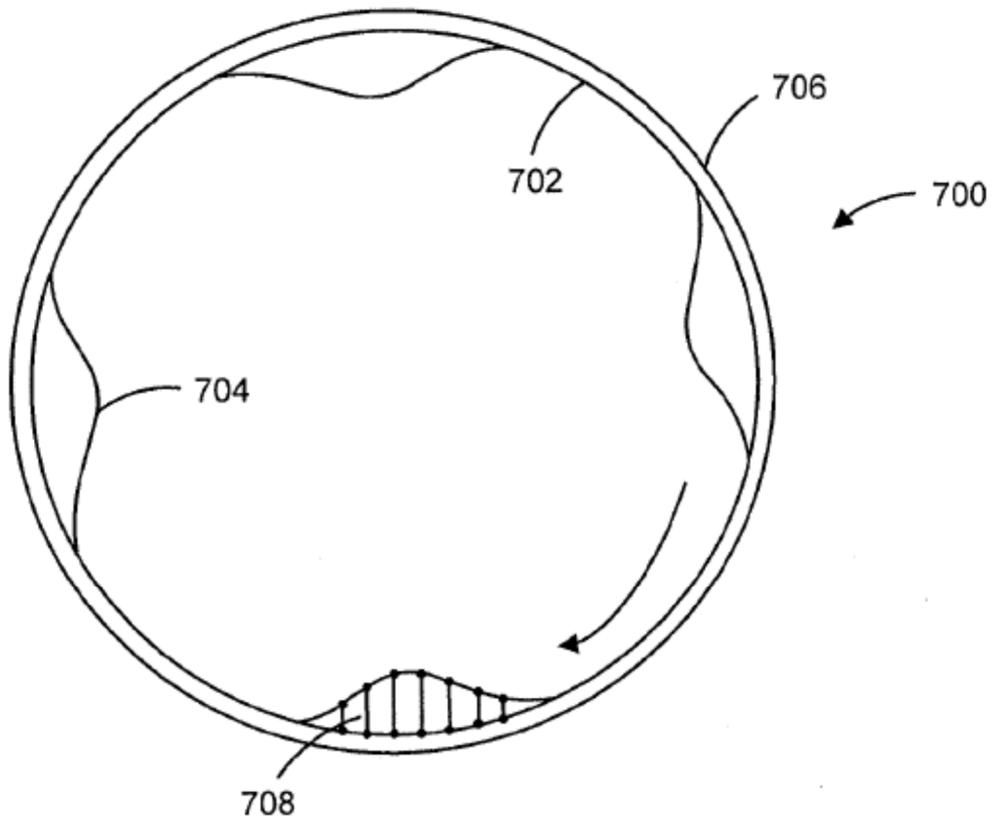


FIG. 10

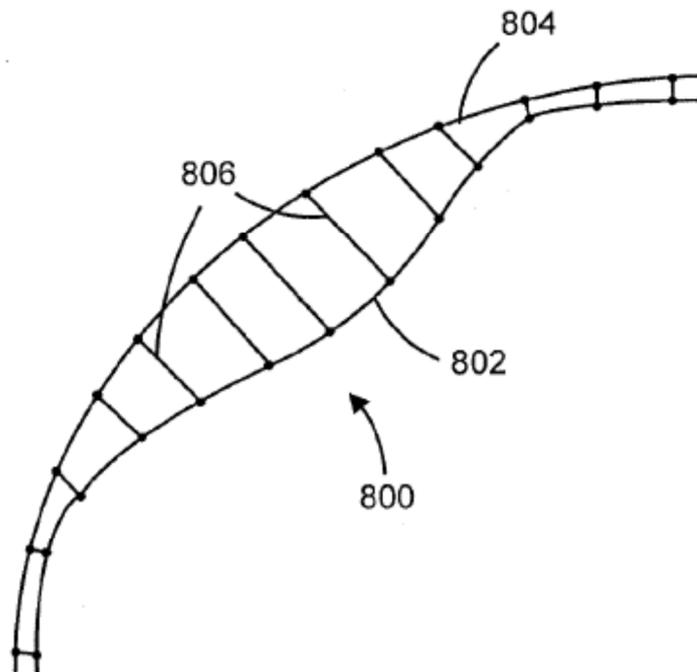


FIG. 11

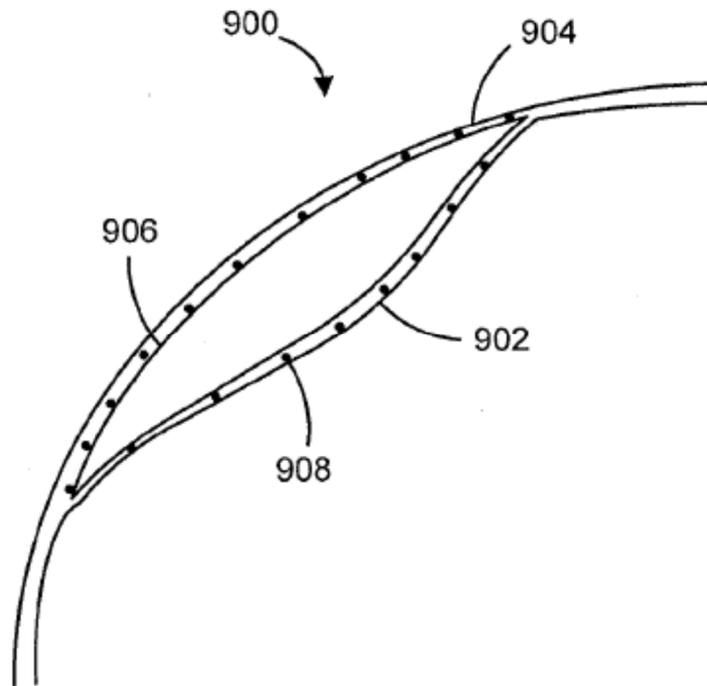


FIG. 12

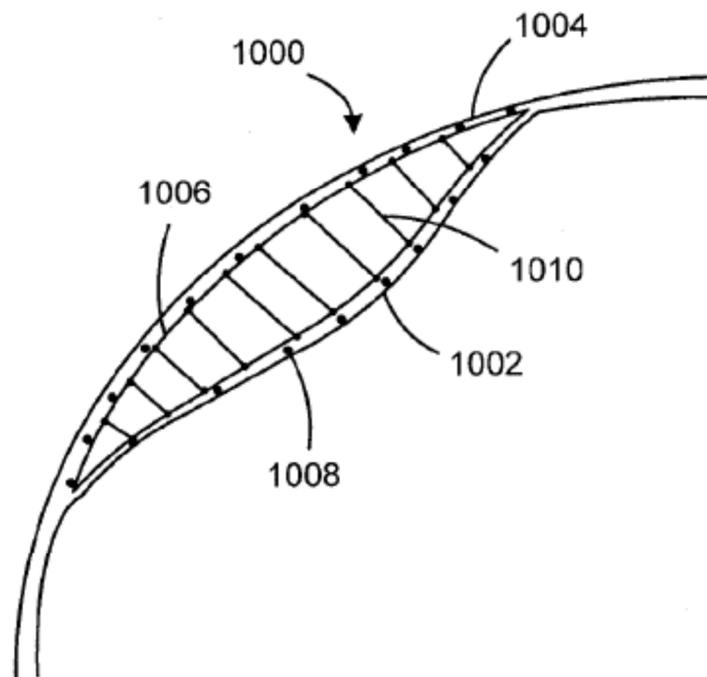


FIG. 13

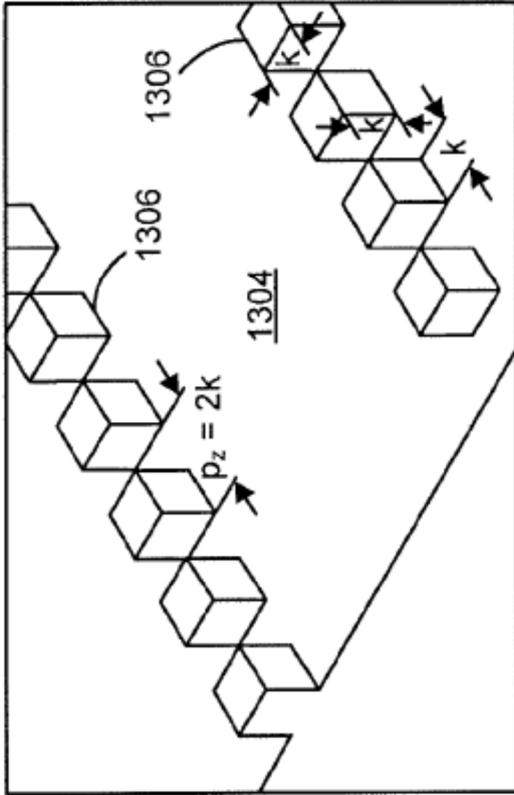


FIG. 14

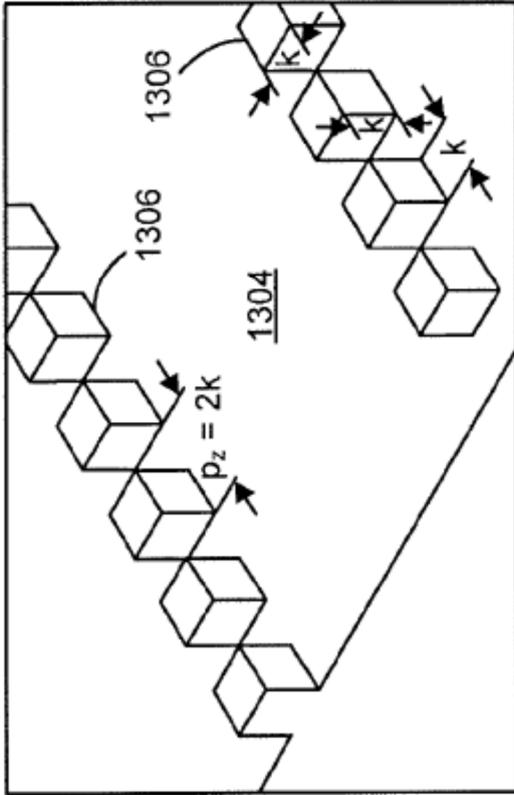


FIG. 15

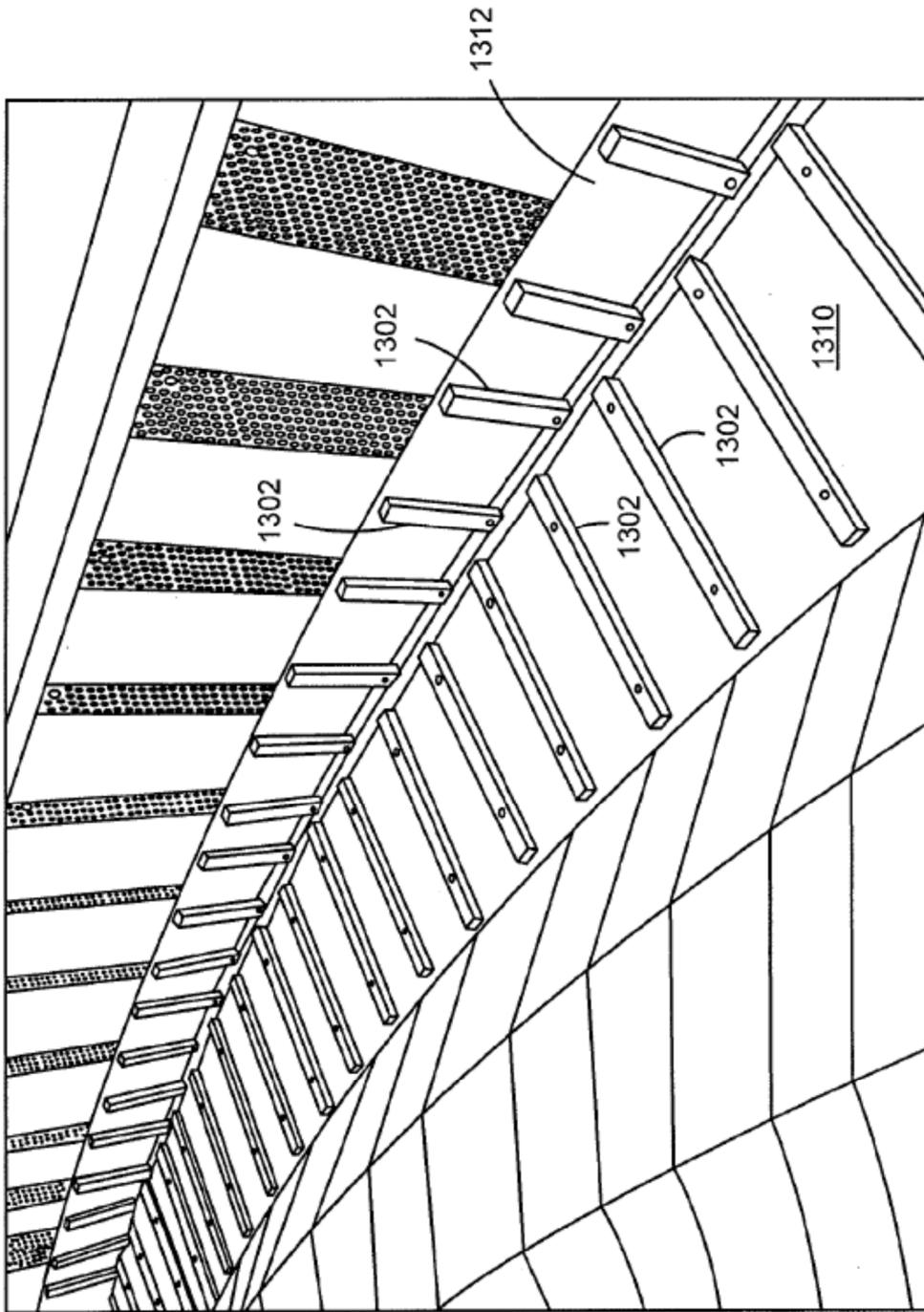


FIG. 16

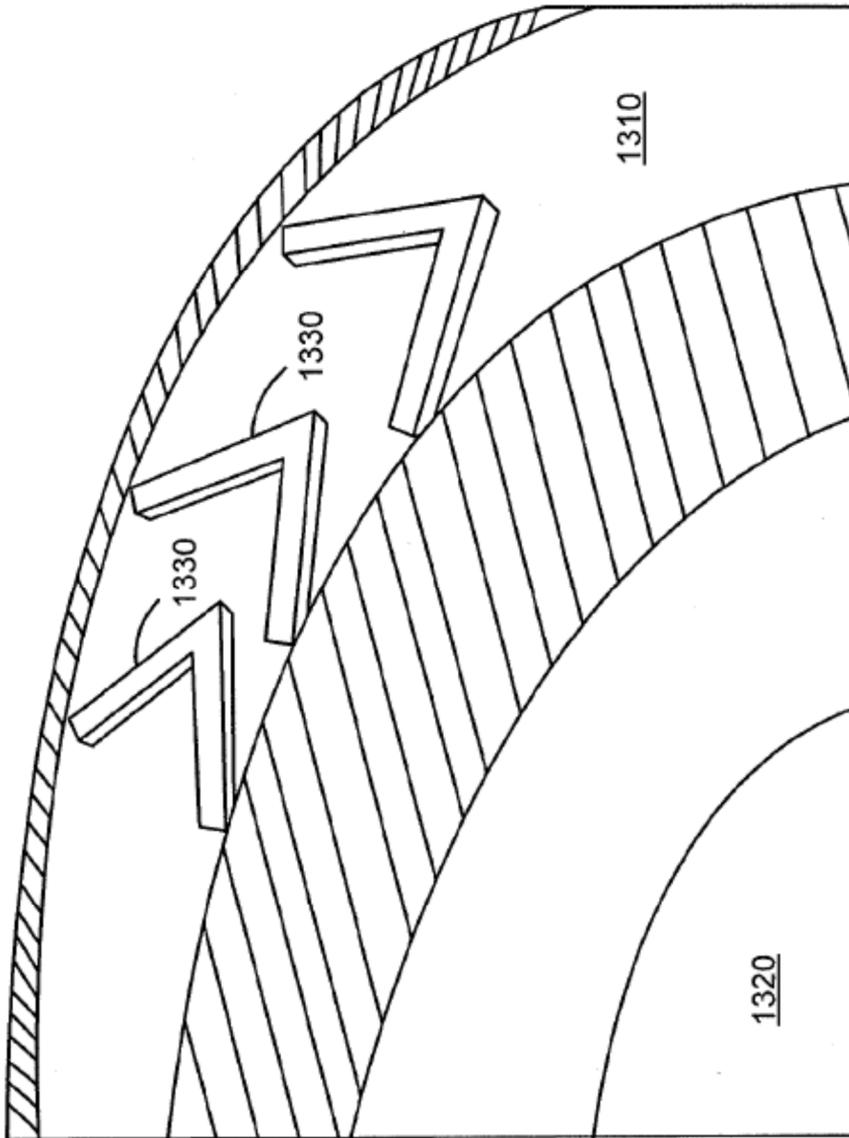


FIG. 17

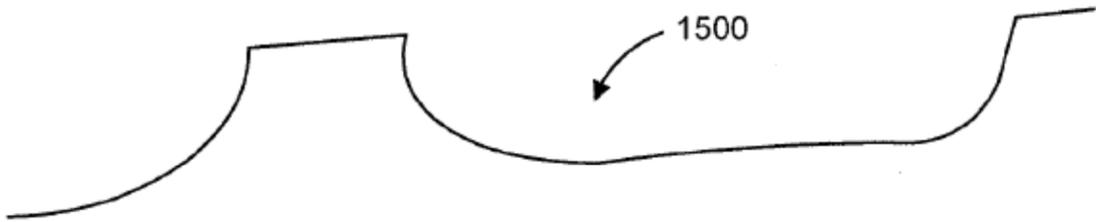


FIG. 18

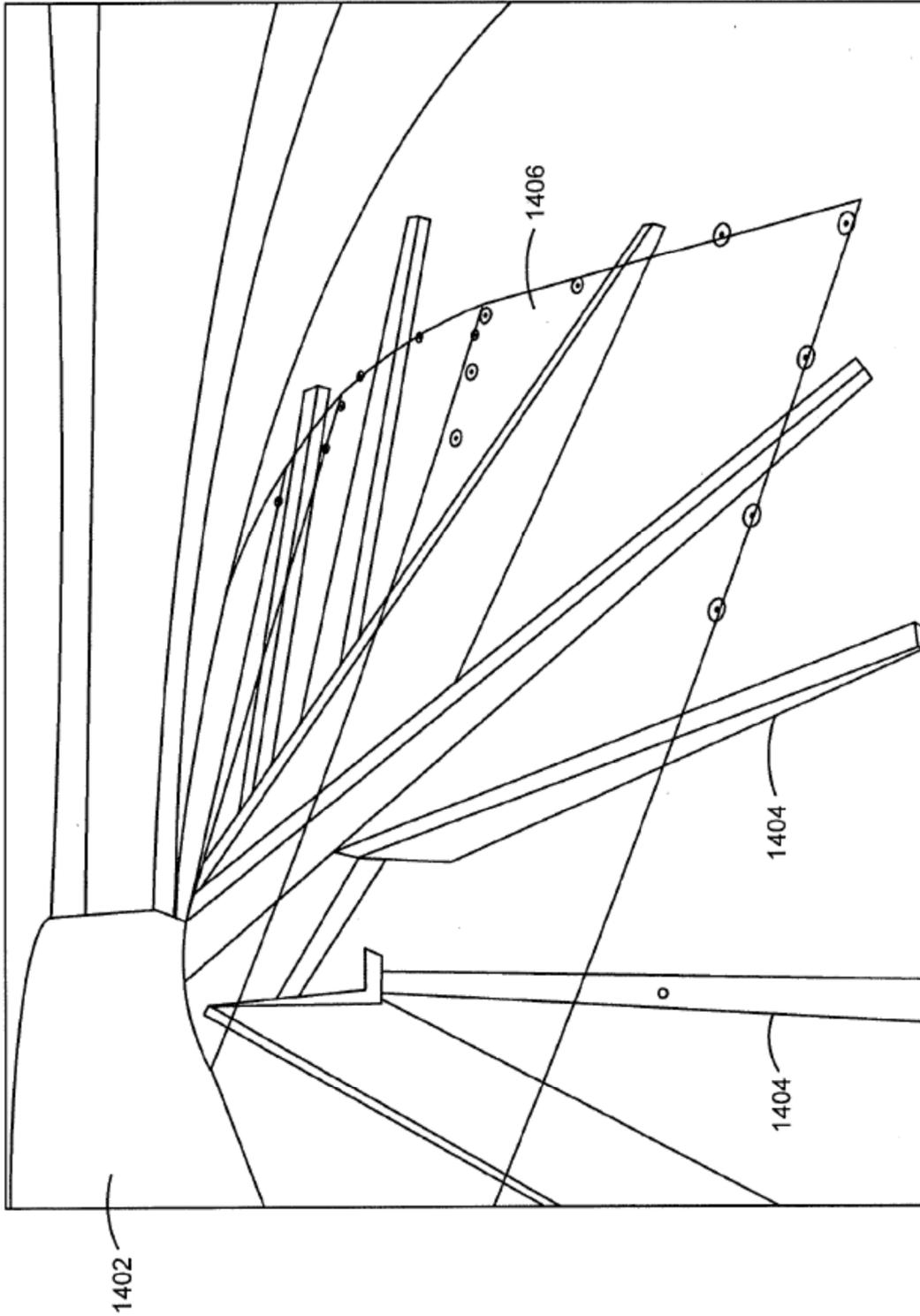


FIG. 19

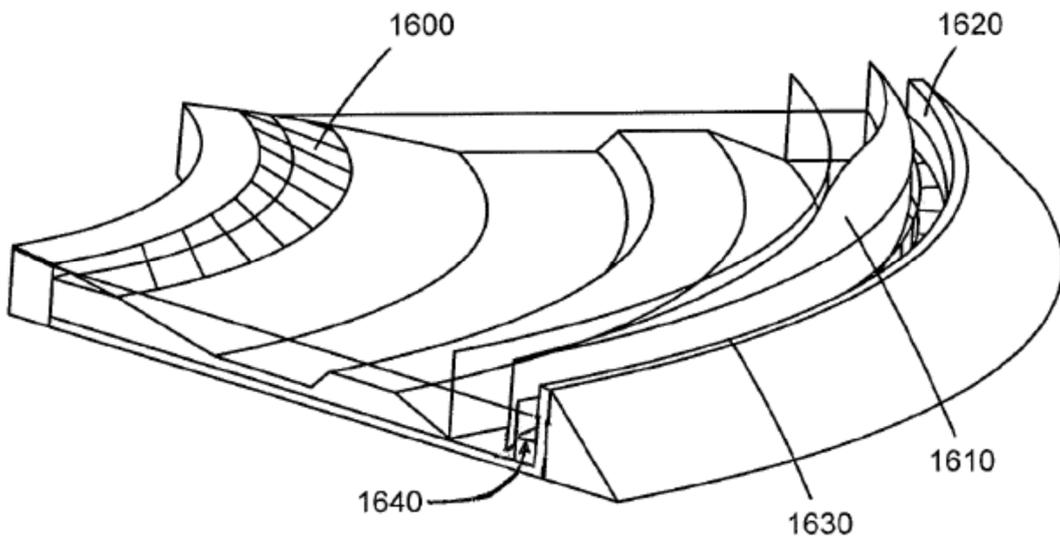


FIG. 20

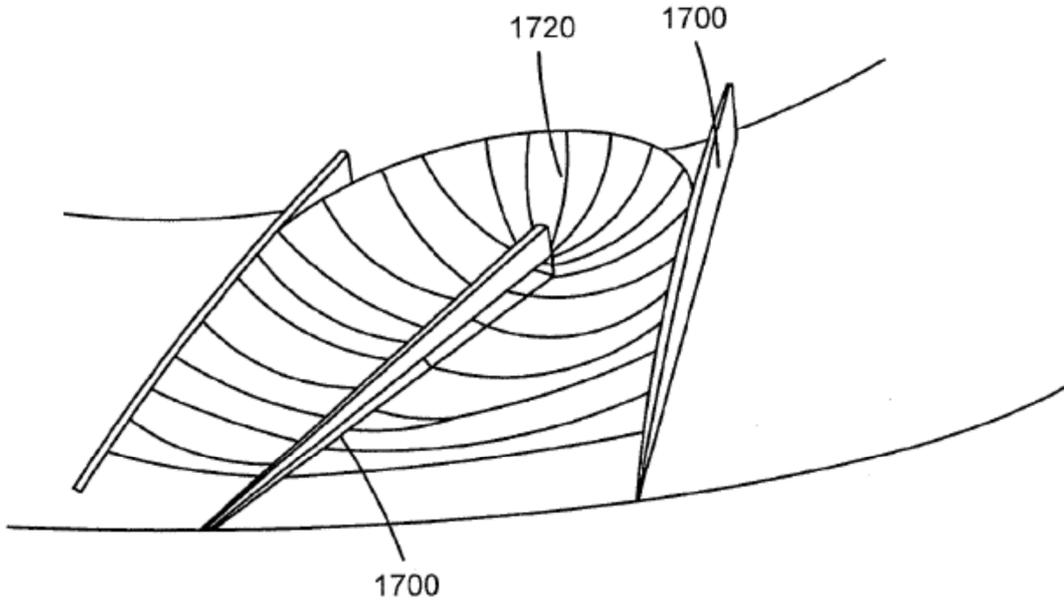


FIG. 21

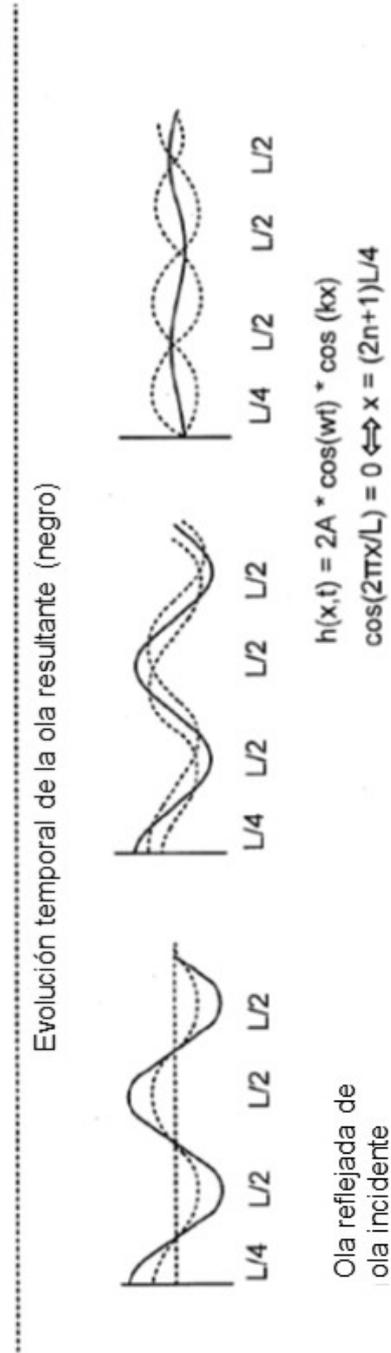


FIG. 23

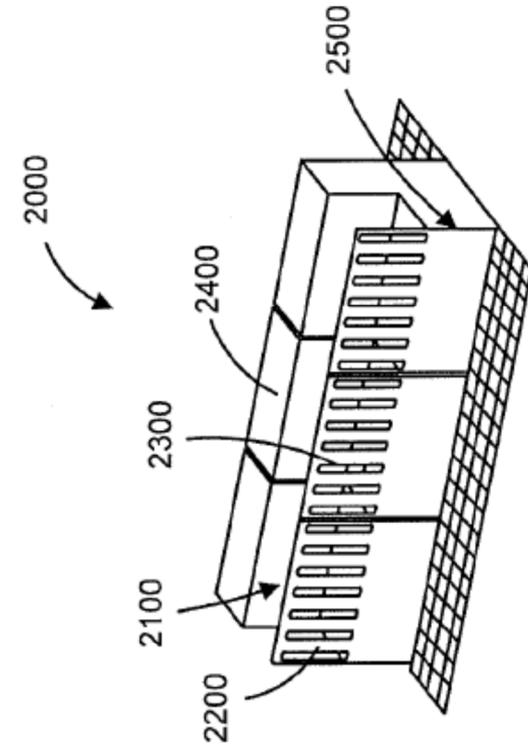


FIG. 25

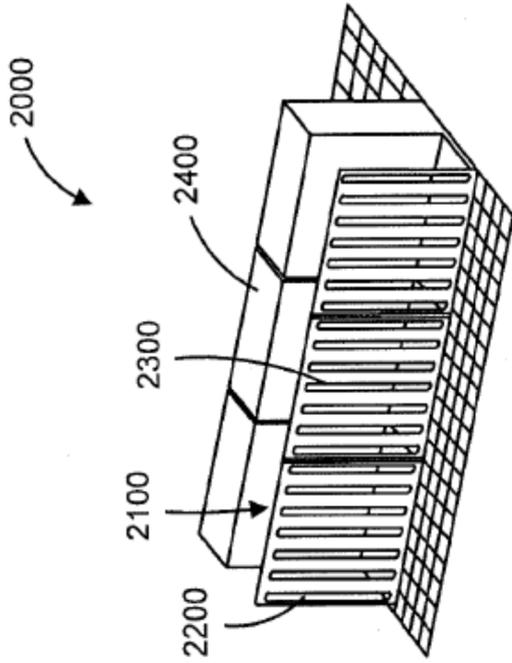


FIG. 24

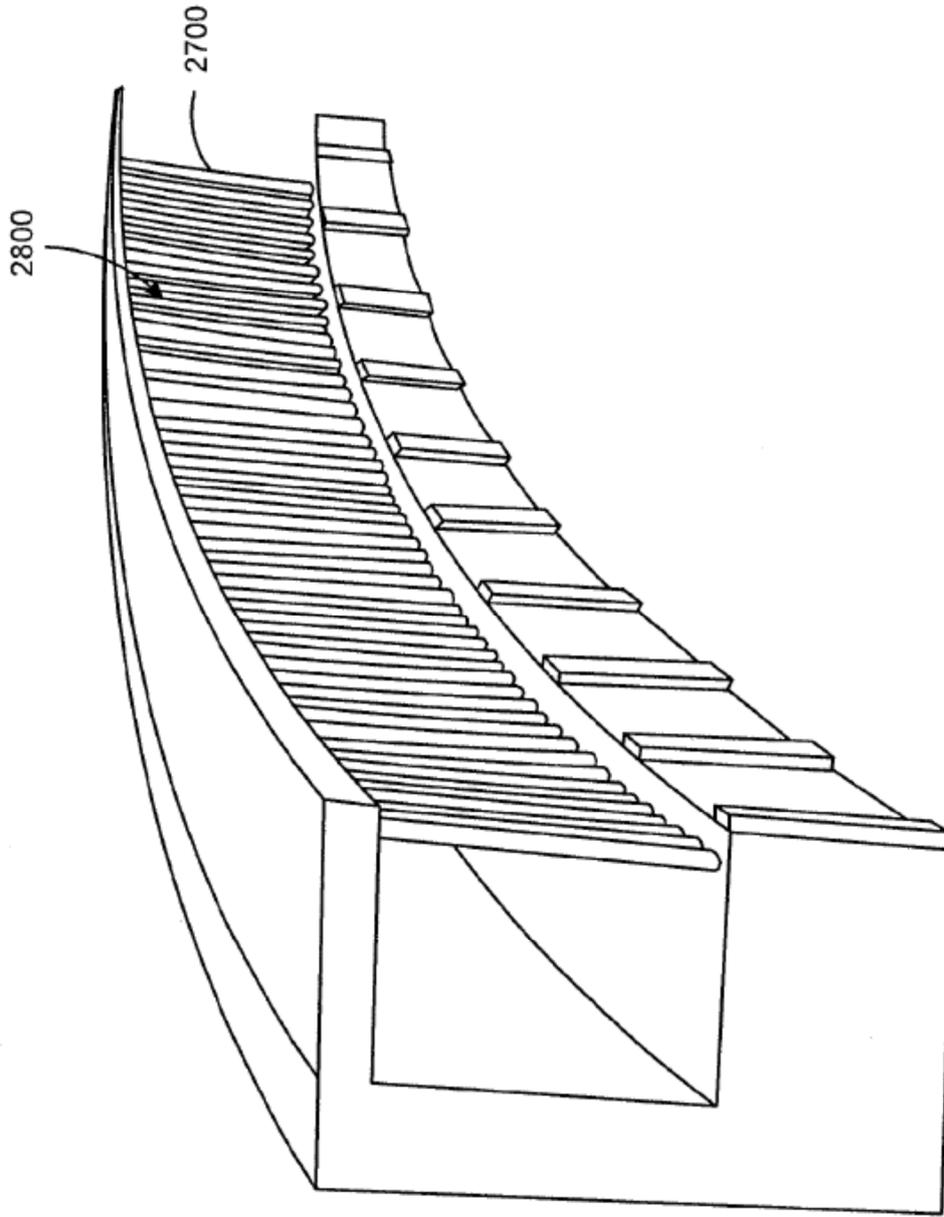


FIG. 26