

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 687 788**

51 Int. Cl.:

E02D 3/08 (2006.01)

E02D 3/046 (2006.01)

E01C 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.09.2014** **PCT/US2014/054374**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.03.2015** **WO15035222**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.09.2014** **E 14842062 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.06.2018** **EP 3041998**

54 Título: **Métodos y aparatos para la compactación de suelo y materiales granulares**

30 Prioridad:

05.09.2013 US 201361873993 P

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

29.10.2018

73 Titular/es:

GEOPIER FOUNDATION COMPANY, INC.
(100.0%)
130 Harbour Place Drive, Suite 280
Davidson, North Carolina 28036, US

72 Inventor/es:

WHITE, DAVID J. y
WISSMANN, KORD J.

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 687 788 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

Métodos y aparatos para la compactación de suelo y materiales granulares

5 Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

La materia objeto actualmente divulgada se relaciona con y reivindica la prioridad de la Solicitud de Patente Provisional de los EE. UU. No. 61/873,993 titulada "Methods and Apparatuses for Compacting Soil and Granular Materials" presentada el 5 de septiembre de 2013.

10 Campo técnico

La materia objeto divulgada en la actualidad se refiere generalmente a la compactación y densificación de materiales subsuperficiales granulares y más particularmente a métodos y aparatos para compactar suelo y materiales granulares que se depositan naturalmente o consisten en materiales de relleno colocados por el hombre para el posterior soporte de estructuras, tales como edificios, cimientos, losas de pisos, paredes, terraplenes, pavimentos y otras mejoras.

Antecedentes

20 Las instalaciones pesadas o sensibles al asentamiento que se encuentran en áreas que contienen suelos blandos, sueltos o débiles a menudo se apoyan sobre cimientos profundos. Tales cimientos profundos se hacen típicamente de pilotes hincados o muelles de concreto instalados después de la perforación. Los cimientos profundos están diseñados para transferir cargas estructurales a través de suelos blandos a estratos de suelo más competentes. Los cimientos profundos suelen ser relativamente caros en comparación con otros métodos de construcción.

25 Otra forma de apoyar tales estructuras es excavar los suelos blandos, sueltos o débiles y luego llenar la excavación con material más competente. Toda el área debajo de la base del edificio normalmente se excava y se reemplaza a la profundidad del suelo blando, suelto o débil. Este método es ventajoso porque se realiza con métodos de movimiento de tierras convencionales, pero tiene las desventajas de ser costoso cuando se realiza en áreas urbanas y puede requerir que se realice un desaguado o apuntalamientos costosos para estabilizar la excavación.

30 Otra forma de apoyar tales estructuras es tratar el suelo con una "compactación dinámica profunda" que consiste en dejar caer un peso pesado sobre la superficie del suelo. El peso se deja caer desde una altura suficiente para provocar una gran onda de compresión en el suelo. La onda de compresión compacta el suelo, siempre que el suelo tenga una gradación suficiente como para ser tratable. Hay disponible una variedad de formas de peso para lograr la compactación mediante este método, tal como los descritos en la patente de EE. UU. No. 6,505,998. Si bien la compactación dinámica profunda puede ser económica para ciertos sitios, tiene la desventaja de que induce ondas grandes como resultado del peso que golpea el suelo. Estas ondas pueden ser dañinas para las estructuras. La técnica es deficiente porque solo es aplicable a una pequeña banda de gradaciones del suelo (tamaños de partículas) y no es adecuada para materiales con partículas apreciables de tamaño fino.

45 En los últimos años, las columnas de agregados se han utilizado cada vez más para soportar estructuras ubicadas en áreas que contienen suelos blandos. Las columnas están diseñadas para reforzar y fortalecer la capa blanda y minimizar los asentamientos resultantes. Las columnas se construyen utilizando una variedad de métodos que incluyen el método de perforación y compactación descrito en la patente de EE. UU. Nos. 5,249,892 y 6,354,766; el método del mandril accionado por cabeza de pisón descrito en la patente de EE. UU. No. 7,226,246; el mandril accionado por la cabeza de pisón con el método de los elementos de restricción descrito en la patente de EE. UU. No. 7,604,437; y el método del mandril cónico conducido descrito en la patente de EE. UU. No. 7,326,004. El método de columna de agregado corto (patente de EE. UU. Números 5,249,892 y 6,354,766), que incluye perforar o excavar una cavidad, es una solución de cimentación efectiva cuando se instala en suelos cohesivos donde la estabilidad de la pared lateral del agujero se mantiene fácilmente. El método generalmente consiste en: a) perforar una cavidad o hueco generalmente cilíndrico en el suelo del cimiento (típicamente alrededor de 30 pulgadas); b) compactar el suelo en el fondo de la cavidad; c) instalar una elevación de agregado relativamente delgada en la cavidad (típicamente alrededor de 12-18 pulgadas); d) apisonar la elevación de agregado con una cabeza de pisón biselada especialmente diseñada; y e) repetir el proceso para formar una columna agregada que se extiende generalmente a la superficie del terreno. Es fundamental para el proceso la aplicación de energía suficiente a la cabeza de pisón biselada de modo que el proceso acumule tensiones laterales dentro del suelo de la matriz a lo largo de los lados de la cavidad durante el apisonamiento secuencial. Esta acumulación de tensión lateral es importante porque disminuye la compresibilidad de los suelos de la matriz y permite que las cargas aplicadas se transfieran eficientemente a los suelos de la matriz durante la carga de la columna.

60 El método del mandril accionado por cabeza de pisón (Patente de EE. UU. No. 7,226,246) es una forma de desplazamiento del método de columna de agregado corto. Este método generalmente consiste en empujar un tubo hueco (mandril) en el suelo sin necesidad de taladrar. El tubo está equipado con una cabeza de pisón en la parte inferior que tiene un diámetro mayor que el tubo y que tiene una parte inferior plana y lados biselados. El mandril es empujado al fondo del diseño de la elevación de la columna, se rellena con agregado y luego se levanta, lo que permite

que el agregado fluya fuera del tubo hacia la cavidad creada al retirar el mandril. El cabeza de pisón se vuelve a bajar al agregado para compactar el agregado. La forma de fondo plano de la cabeza de pisón compacta el agregado; los lados biselados fuerzan el agregado hacia las paredes laterales del hueco, lo que aumenta las tensiones laterales en el suelo circundante. El mandril accionado por cabeza de pisón con el método de elementos restrictivos (Patente de EE. UU. No. 7,604,437) usa una pluralidad de elementos de restricción instalados dentro de la cabeza de pisón 112 para restringir el reflujo del agregado hacia la cabeza de pisón durante la compactación.

El método del mandril cónico accionado (Patente de EE. UU. No. 7,326,004) es otro medio para crear una columna de agregado con un mandril de desplazamiento. En este caso, la forma del mandril es un cono truncado, más grande en la parte superior que en la parte inferior, con un ángulo de ahusamiento de aproximadamente 1 a aproximadamente 5 grados desde la vertical. El mandril es empujado en el suelo, haciendo que el suelo de la matriz se desplace hacia abajo y lateralmente durante el empujado. Después de alcanzar el fondo de diseño de la elevación de la columna, el mandril se retira, dejando una cavidad en forma de cono en el suelo. La forma cónica del mandril permite la estabilización temporal de las paredes laterales del orificio de manera que el agregado puede introducirse en la cavidad desde la superficie del suelo. Después de colocar un levantamiento de agregado, el mandril se impulsa hacia abajo en el agregado para compactar el agregado y forzarlo hacia los lados de las paredes laterales del hueco. Algunas veces, se usa un mandril más grande para compactar el agregado cerca de la parte superior de la columna.

El documento US2011/0052330A1 divulga un sistema para construir una columna de soporte que incluye un mandril con una parte superior y una cabeza de pisón. Un tubo de alimentación se extiende a través del mandril para alimentar material fluido a la cabeza.

El documento US2008/0205993A1 divulga un sistema y método para instalar muelles de agregado. Un mandril hueco cilíndrico se empuja a una profundidad deseada. El agregado se alimenta a través del mandril en pasos. El mandril se levanta y se acciona para apisonar el agregado. Los miembros físicos en una cabeza de apisonamiento del mandril permiten que el agregado permanezca en una cavidad formada por el mandril, y evitan que el agregado ingrese al mandril durante el empujado.

El documento US-A-5100262 describe un sistema de cimiento de base profundo en expansión que incluye una zapata de base prefabricada unida al extremo inferior de un eje de metal, siendo la base una longitud de tubo que tiene cortes hechos a lo largo de la misma.

Resumen

La presente divulgación se refiere en general a un aparato para densificar y compactar materiales granulares. En algunas realizaciones, el aparato puede incluir un árbol de accionamiento de extremo cerrado y uno o más elementos de expansión diametral. Los elementos de expansión diametral, en su estado expandido, pueden formar superficies de compactación que tienen un diámetro mayor que el diámetro del árbol de accionamiento. Los elementos de expansión diametral pueden estar unidos a una superficie inferior del árbol de accionamiento, o unidos a una placa base unida al extremo inferior del árbol de accionamiento. La placa base puede ser cambiabile.

Los elementos de expansión diametral pueden incluir una o más cadenas, cables, cuerdas de alambre y/o una red de cadenas, cables o cuerdas de alambre conectados vertical y/o horizontalmente. Los elementos de expansión diametral pueden configurarse y dimensionarse en consecuencia para lograr el espesor de elevación, el área de superficie de compactación y/o el flujo de suelo deseados en función del tipo de material y/o los requisitos del proyecto. Además, los elementos de expansión diametral pueden estar alojados dentro de una punta de sacrificio que puede estar conectada de forma liberable a una parte inferior del árbol de accionamiento. El aparato también puede incluir una o más estructuras de ala unidas al árbol de accionamiento que están configuradas para aflojar los suelos de campo libre alrededor del árbol de accionamiento.

En ciertas otras realizaciones, el aparato puede incluir un árbol de accionamiento, una cámara de compactación en un extremo inferior del árbol de accionamiento y uno o más elementos de expansión diametral, donde el aparato incluye además una abertura en una superficie superior de la cámara de compactación que forma un paso de flujo exterior del árbol de accionamiento y configurado para aceptar materiales granulares desde el exterior del árbol de accionamiento. El árbol de accionamiento puede tener el mismo tamaño y/o diámetro, un tamaño y/o diámetro mayor, o un tamaño y/o diámetro más pequeño que la cámara de compactación. Adicionalmente, la cámara de compactación puede estar conectada al árbol de accionamiento a través de una placa de transferencia de carga, y puede incorporar además una o más placas de refuerzo conectadas al árbol de accionamiento y a la placa de transferencia de carga.

Ciertas realizaciones del aparato pueden incluir uno o más elementos de expansión y restricción diametral unidos a uno o ambos de un interior o exterior de la cámara de compactación. El uno o más elementos de expansión y restricción diametral también pueden estar unidos a la placa de transferencia de carga. El aparato puede incluir tanto elementos de restricción diametrales interiores como elementos de expansión diametrales exteriores. Además, los elementos de restricción diametral interior y los elementos de expansión diametral exterior pueden o no estar conectados entre sí. El árbol de accionamiento puede incluir un tubo hueco, una configuración de viga en "I" que puede incluir además una

abertura en la configuración de viga en I, o una configuración de árbol cilíndrico sólido. El aparato puede configurarse adicionalmente para insertarse en una cavidad preperforada.

En ciertos otros aspectos de la presente divulgación, se presenta un aparato para densificar y compactar materiales granulares de acuerdo con otras realizaciones. El aparato puede incluir un árbol de accionamiento, una cámara de compactación y uno o más elementos de restricción diametral, en el que la cámara de compactación comprende un tubo y el árbol de accionamiento está montado en un extremo del tubo. El aparato puede configurarse para insertarse en una cavidad preperforada. En algunas realizaciones, el árbol de accionamiento incluye una configuración de viga en I, y puede incluir además una abertura en la configuración de viga en I en la que al menos una parte de la abertura en el árbol de accionamiento puede extenderse dentro del tubo. Ciertas realizaciones también pueden incluir un anillo de refuerzo montado alrededor de un extremo inferior de la cámara de compactación, y pueden incluir además una almohadilla de desgaste sustancialmente en forma de anillo que hace tope con el anillo de refuerzo.

Las realizaciones del aparato también pueden incluir un anillo que puede fijarse a la cámara de compactación y colocarse cerca del extremo del árbol de accionamiento que incluye una disposición de los elementos de restricción diametral. Una segunda disposición de elementos de restricción diametral puede asegurarse al árbol de accionamiento. El anillo puede ser opcionalmente extraíble.

En ciertas otras realizaciones, el aparato puede incluir un tubo de revestimiento fijado a un extremo inferior del árbol de accionamiento, donde un extremo inferior del tubo de revestimiento puede extenderse dentro de la cámara de compactación y además donde el tubo de revestimiento puede asegurarse a la cámara de compactación mediante uno o más puntales o placas que se extienden desde los lados de la cámara de compactación radialmente hacia adentro del tubo de revestimiento. El uno o más puntales o placas pueden extenderse a lo largo del tubo de revestimiento por encima de la cámara de compactación hasta un punto de terminación, estrechándose desde los lados de la cámara de compactación hasta el punto de terminación. Adicionalmente, un extremo inferior del tubo de revestimiento puede cerrarse usando una placa o tapa y la placa o tapa se extiende por debajo de un extremo inferior del uno o más puntales o placas.

Otras realizaciones del aparato también pueden incluir un anillo perimetral dentro de la cámara de compactación, incluyendo el anillo una disposición de los elementos de restricción diametral y estando dispuesto a lo largo del perímetro interior de la cámara de compactación sustancialmente en el extremo inferior del uno o más puntales o placas. El anillo puede ser removible. El aparato también puede incluir elementos de restricción diametral que están acoplados al extremo inferior del uno o más puntales o placas y el perímetro de la placa o tapa.

Algunos otros aspectos de la presente divulgación incluyen un método de densificación y compactación de materiales granulares, incluyendo el método los pasos de (a) proporcionar un aparato de compactación que comprende un árbol de accionamiento de extremo cerrado que tiene un primer diámetro y uno o más elementos de expansión diametral, donde uno o más elementos de expansión diametral se expanden cuando el aparato es empujado hacia abajo formando superficies de compactación que tienen un segundo diámetro mayor que el primer diámetro del árbol de accionamiento, (b) empujar el aparato de compactación dentro del suelo de campo libre a una profundidad especificada, (c) levantar el aparato de compactación a una distancia especificada, y (d) repetir el empujado y el levantamiento del aparato de compactación. El método también puede incluir repetir los pasos de empujado y levantamiento gradualmente hasta que el aparato de compactación se haya levantado hasta una elevación de terreno original o cerca de ella. En tales realizaciones, cada uno de los empujados repetidos del aparato de compactación puede estar a una distancia generalmente menor que una distancia a la que fue levantado previamente el aparato de compactación.

El empujado del aparato de compactación puede realizarse utilizando uno de un martillo vibratorio o de impacto. En ciertas realizaciones, la elevación del aparato de compactación permite que los materiales circundantes fluyan alrededor del aparato de compactación para llenar un vacío creado levantando el aparato de compactación. En algunas realizaciones, el uno o más elementos de expansión diametral pueden colocarse dentro de una punta de sacrificio y tras la elevación inicial del aparato de compactación, uno o más elementos de expansión diametral se retiran de la punta de sacrificio y se mueven hacia abajo con relación al aparato de compactación para colgar de una porción inferior del aparato de compactación. El método puede, en algunas realizaciones, crear una columna bien compactada de suelo densificado por debajo y alrededor de uno o más elementos de expansión diametral.

Otras realizaciones de métodos de densificación y compactación de materiales granulares incluyen las etapas de (a) proporcionar un aparato de compactación que comprende un árbol de accionamiento, una cámara de compactación en un extremo inferior del árbol de accionamiento y uno o más elementos de expansión diametral, en donde el aparato comprende además una abertura en una superficie superior de la cámara de compactación que comprende un paso de flujo exterior del árbol de accionamiento y configurado para aceptar materiales granulares desde el exterior del árbol de accionamiento, (b) empujar el aparato de compactación en suelos de campo libre a una profundidad especificada, (c) levantar el aparato de compactación a una distancia especificada tal que uno o más elementos de restricción diametral se muevan hacia abajo con respecto al aparato de compactación para colgar de las conexiones al aparato de compactación permitiendo así materiales granulares ubicados encima de una porción superior de la cámara de compactación para fluir a través del paso de flujo, (d) volver a empujar el aparato hacia abajo en los suelos

de campo libre lo que causa que uno o más elementos de restricción diametral se agrupen formando superficies de compactación, y (e) repetir el empuje y el levantamiento del aparato de compactación. Además, otros métodos de densificación y compactación de materiales granulares pueden incluir los pasos de (a) proporcionar un aparato de compactación que comprende un árbol de accionamiento, una cámara de compactación y uno o más elementos de restricción diametral, donde la cámara de compactación comprende un tubo y el árbol de accionamiento está instalado en un extremo del tubo, (b) empujar el aparato de compactación dentro de suelos de campo libre a una profundidad especificada, (c) levantar el aparato de compactación a una distancia especificada tal que uno o más elementos de restricción diametral se mueven hacia abajo en relación con el aparato de compactación para colgar de las conexiones al aparato de compactación permitiendo así que los materiales granulares ubicados encima de una porción superior de la cámara de compactación fluyan alrededor del exterior del árbol de accionamiento y hacia la cámara de compactación, (c) reempujar el aparato hacia abajo dentro de los suelos de campo libre que provocan que uno o más elementos de restricción diametral se agrupen formando superficies de compactación; y (d) repetir el empuje y el levantamiento del aparato de compactación.

Breve descripción de los dibujos

Habiendo descrito de este modo la materia objeto divulgada actualmente en términos generales, ahora se hará referencia a los dibujos adjuntos, que no están necesariamente dibujados a escala, y en los que:

La FIG. 1A y la FIG. 1B ilustran vistas laterales de un ejemplo del aparato de compactación de suelo actualmente divulgado en las posiciones elevada y bajada, respectivamente, y que comprende una disposición de elementos de expansión diametral;

La FIG. 2 ilustra una vista lateral del aparato de compactación de suelo de la FIG. 1A y la FIG. 1B y que comprende adicionalmente una punta de sacrificio;

La FIG. 3A y la FIG. 3B ilustran una vista lateral y una vista en planta, respectivamente, de otro ejemplo más del aparato de compactación de suelo actualmente divulgado que comprende aún otra disposición de elementos de expansión/restricción diametral;

La FIG. 4A y la FIG. 4B ilustran una vista lateral y una vista en planta, respectivamente, de otro ejemplo más del aparato de compactación de suelo actualmente descrito que comprende otra disposición de elementos de restricción diametral;

La FIG. 5 ilustra una vista lateral del aparato de compactación de suelo de la FIG. 4A y la FIG. 4B en donde el aparato se usa para compactar materiales granulares dentro de una cavidad preformada;

La FIG. 6 ilustra una vista lateral de otro ejemplo de un aparato de compactación de suelo que comprende un anillo extraíble de elementos de restricción diametrales;

La FIG. 7A y la FIG. 7B ilustran una vista superior y una vista inferior, respectivamente, del aparato de compactación de suelo de la FIG. 6;

La FIG. 8A ilustra una vista lateral de un aparato de compactación de suelo que comprende los elementos de restricción diametrales, de acuerdo con otra realización más;

La FIG. 8B y la FIG. 8C ilustran una vista superior y una vista inferior, respectivamente, del aparato de compactación de suelo de la FIG. 8A;

La FIG. 9A ilustra una vista lateral de un aparato de compactación de suelo que comprende elementos de restricción diametral, de acuerdo con otra realización más;

La FIG. 9B y la FIG. 9C ilustran una vista superior y una vista inferior, respectivamente, del aparato de compactación de suelo de la FIG. 9A;

La FIG. 10 muestra un gráfico de la prueba de carga del módulo para un mandril de 16 pulgadas (40.6 cm) sustancialmente similar al mandril de la FIG. 6, FIG. 7A, y FIG. 7B en un EJEMPLO I; y

La FIG. 11 muestra un gráfico de los resultados de la prueba de carga del módulo para un mandril de 28 pulgadas (71.1 cm) sustancialmente similar al mandril de las FIGS. 8A-8C en un EJEMPLO II.

Descripción detallada

La materia objeto actualmente divulgada ahora se describirá más detalladamente con referencia a los dibujos que se acompañan, en los que se muestran algunas, pero no todas, las realizaciones de la materia objeto divulgada actualmente. Los números similares se refieren a elementos similares en todas partes. La materia objeto actualmente

divulgada en el presente documento puede incorporarse en muchas formas diferentes y no debe interpretarse como limitada a las realizaciones expuestas en este documento; más bien, estas formas de realización se proporcionan de modo que esta divulgación satisfaga los requisitos legales aplicables. De hecho, muchas modificaciones y otras realizaciones de la materia objeto divulgada en este documento se le ocurrirán a un experto en la materia a la que pertenece la presente materia divulgada que tiene el beneficio de las enseñanzas presentadas en las descripciones anteriores y los dibujos asociados. Por lo tanto, debe entenderse que la materia objeto actualmente divulgada no está limitada a las realizaciones específicas descritas y que las modificaciones y otras formas de realización están destinadas a ser incluidas dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

En algunas realizaciones, la materia objeto actualmente divulgada proporciona métodos y aparatos para compactar suelo y materiales granulares que se depositan naturalmente o consisten en materiales de relleno colocados por el hombre para el posterior soporte de estructuras, tales como edificios, cimientos, losas de piso, paredes, terraplenes, pavimentos y otras mejoras. A saber, la materia objeto actualmente divulgada proporciona diversas realizaciones de aparatos de compactación de suelos en los que cada aparato de compactación de suelos incluye una disposición de elementos de expansión/restricción diametral. Los elementos de expansión/restricción diametral se pueden fabricar, por ejemplo, a partir de cadenas individuales, cables o cuerda de alambre, o una red de cadenas, cables o cuerda de alambre conectados vertical y horizontalmente. En un ejemplo específico, los elementos de expansión/restricción diametral pueden estar formados por cadenas de aleación de grado 100 de media pulgada.

Las realizaciones del aparato de compactación de suelos incluyen, pero no se limitan a, árboles de accionamiento de extremos cerrados, árboles de accionamiento de extremo abierto, pasajes de flujo, pasajes de flujo continuo, anillos extraíbles para sujetar los elementos de expansión/restricción diametral y cualquiera combinación de los mismos

En un método de ejemplo de usar el aparato de compactación de suelo actualmente divulgado, después del empuje inicial, el aparato de compactación de suelo se eleva y los elementos de expansión diametral cuelgan libremente por gravedad desde la parte inferior del árbol de accionamiento. A medida que el árbol de accionamiento se eleva, los suelos de campo libre fluyen hacia la cavidad que deja el árbol de accionamiento. Después de elevar el árbol de accionamiento la distancia prescrita, el árbol de accionamiento se vuelve a reempujar hacia abajo a una profundidad preferiblemente inferior a la profundidad de empuje inicial en los materiales subyacentes. Esto permite que los elementos de expansión diametral tengan la oportunidad de expandirse radialmente, formando una superficie de compactación que tiene un diámetro mayor que el árbol de accionamiento. Este proceso crea una columna bien compactada de suelo densificado debajo y alrededor de los elementos de expansión diametral. Este proceso de levantar el árbol de accionamiento hacia arriba y hacia atrás se repite gradualmente hasta que el árbol de accionamiento se haya elevado hasta una elevación de tierra original o cerca de ella.

Con referencia ahora a la FIG. 1A y la FIG. 1B, se ilustra un aparato 100 de compactación de suelo de acuerdo con una realización, en el que el aparato 100 de compactación de suelo se usa para compactar materiales granulares. Es decir, la FIG. 1A y la FIG. 1B son vistas laterales del aparato 100 de compactación de suelo actualmente divulgado en las posiciones elevada y bajada, respectivamente, y que comprende una disposición de elementos 114 de expansión diametral. El aparato 100 de compactación de suelo mostrado en la FIG. 1A y la FIG. 1B puede ser insertado o empujado dentro de los suelos de campo libre (es decir, suelo que existe en su estado natural o colocado debajo del nivel). El aparato 100 de compactación de suelo comprende un árbol 110 de accionamiento. En este ejemplo, el árbol 110 de accionamiento es un árbol de accionamiento de parte superior cerrada y extremo cerrado. Concretamente, se proporciona una placa 112 de base en el extremo del árbol 110 de accionamiento que se empuja dentro del suelo, formando así el árbol de accionamiento de extremo cerrado o de parte inferior cerrada.

Además, una disposición de elementos 114 de expansión diametral está unida al fondo del árbol 110 de accionamiento mediante, por ejemplo, una placa 116 de montaje. Por ejemplo, los elementos 114 de expansión diametral pueden sujetarse a la placa 116 de montaje. Entonces, la placa 116 de montaje puede atornillarse a la placa 112 de base. En este ejemplo, los elementos 114 de expansión diametral están situados en el fondo cerrado del árbol 110 de accionamiento que se usa para compactar materiales granulares.

Los elementos 114 de expansión diametral pueden fabricarse a partir de cadenas individuales, cables, cuerda de alambre o similares, o una red de cadenas conectadas vertical y horizontalmente, cables, cuerdas de alambre o similares. En un ejemplo específico, los elementos 114 de expansión diametral son cadenas de aleación grado 100 de media pulgada. En la realización mostrada en la FIG. 1A y FIG. 1B, cuando el aparato 100 de compactación de suelo es empujado inicialmente hacia abajo hacia un suelo de campo libre, los elementos 114 de expansión diametral pueden colocarse dentro de una punta 118 de sacrificio, como se muestra en la FIG. 2. La punta 118 de sacrificio puede tener una profundidad suficiente, tal como 6 pulgadas (15.2 cm), para alojar los elementos 114 de expansión diametral.

Después del empuje inicial (véase la figura 1B), el aparato 100 de compactación de suelo se eleva y los elementos 114 de expansión diametral cuelgan libremente por gravedad desde la parte inferior del árbol 110 de accionamiento (véase la figura 1A). A medida que el árbol 110 de accionamiento se eleva, los suelos de campo libre (o agregado adicional) fluyen hacia la cavidad que deja el árbol 110 de accionamiento. Opcionalmente, una o más alas 120 están

unidas a los lados exteriores del árbol 110 de accionamiento. Las alas 120 pueden actuar para aflojar los suelos de campo libre alrededor del árbol 110 de accionamiento.

Después de elevar el árbol 110 de accionamiento la distancia prescrita, el árbol 110 de accionamiento se vuelve a reempujar hacia abajo a una profundidad preferiblemente inferior a la profundidad de empuje inicial en los materiales subyacentes. Esto permite que los elementos 114 de expansión diametral tengan la oportunidad de expandirse radialmente (véase la figura 1B) formando una superficie de compactación CS que tiene un diámetro mayor que la placa 112 base. En un ejemplo, el diámetro Di1 del árbol 110 de accionamiento y la placa 112 de base es de aproximadamente 12 pulgadas (30.5 cm), mientras que el diámetro Di2 de la superficie de compactación expandida es de aproximadamente 18 pulgadas (45.7 cm). El proceso crea una columna bien compactada de suelo densificado por debajo y alrededor de los elementos 114 de expansión diametral. Este proceso de elevación del árbol 110 de accionamiento hacia arriba y de retroceso hacia abajo se repite incrementalmente hasta que el árbol 110 de accionamiento se haya levantado cerca de una elevación de suelo original.

Los elementos 114 de expansión diametral están configurados y dimensionados en consecuencia para lograr el espesor de elevación, el área superficial de compactación y el flujo de suelo deseados en función del tipo de material y los requisitos del proyecto. La placa 112 de base y los elementos 114 de expansión diametral (con la placa 116 de montaje) son típicamente intercambiables. La configuración de la placa 112 de base cambiante con los elementos 114 de expansión diametral unida se puede adaptar a los requisitos del proyecto, lo que elimina tener que fabricar mandriles separados del árbol de accionamiento y, por lo tanto, es un método económico y eficaz. El aparato 100 de compactación de suelo mostrado en la FIG. 1A y la FIG. 1B tiene la ventaja de ser simple de fabricar, construir y mantener.

Con referencia ahora a la FIG. 3A y FIG. 3B, se ilustra una vista lateral y una vista en planta, respectivamente, de otro ejemplo más del aparato 100 de compactación de suelo actualmente divulgado que comprende otra disposición más de elementos 114 de expansión/restricción diametral. En este ejemplo, un paso 122 de flujo alrededor del árbol 110 de accionamiento y dentro de una cámara 124 de compactación facilita el flujo de agregado hacia la cámara 124 de compactación desde un exterior del árbol 110 de accionamiento. En un ejemplo, el árbol 110 de accionamiento es una viga en I o viga en H que proporciona la disposición de "flujo continuo", en donde el suelo puede fluir a través del árbol 110 de accionamiento y hacia los pasajes 122 de flujo continuo de la viga en I o viga en H (y cámara 124 de compactación). En el caso de que se use una viga en H como árbol 110 de accionamiento, las dos pestañas externas de la viga en H también pueden ayudar a las paredes de la cavidad del suelo mientras el mandril se baja y se eleva en la cavidad. También se contempla que el árbol 110 de accionamiento pueda ser un árbol cilíndrico sólido (con puntales o conexiones similares a la cámara de compactación) o similar.

El aparato 100 de compactación de suelo mostrado en la FIG. 3A y la FIG. 3B comprende además una cámara 124 de compactación. A saber, la cámara 124 de compactación está conectada mecánicamente al extremo inferior del árbol 110 de accionamiento. La cámara 124 de compactación tiene, por ejemplo, forma de cilindro. La cámara 124 de compactación puede tener el mismo tamaño o diámetro que el árbol 110 de accionamiento o la cámara 124 de compactación puede ser más grande o más pequeña que el árbol 110 de accionamiento. En la FIG. 3A y la FIG. 3B, la cámara 124 de compactación es más grande en el área de la sección transversal que el árbol 110 de accionamiento. En un ejemplo, la longitud de la cámara 124 de compactación es de aproximadamente 24 pulgadas (61.0 cm).

La cámara 124 de compactación puede estar conectada al árbol 110 de accionamiento con una placa 126 de transferencia de carga con el uso opcional de una o más placas 128 de refuerzo. La cámara 124 de compactación puede estar abierta en su superficie inferior, permitiendo la intrusión de materiales granulares en la cámara 124 de compactación cuando el aparato 100 de compactación de suelo es conducido hacia abajo. En la realización mostrada en la FIG. 3A y FIG. 3B, la cámara 124 de compactación también puede estar abierta generalmente en su superficie superior facilitando el o los pasajes 122 de flujo continuo. A saber, la placa 126 de transferencia de carga puede ser una placa en forma de anillo con una abertura en la parte central de la misma.

Además, en la realización mostrada en la FIG. 3A y FIG. 3B, tanto los elementos 114I de restricción diametral interior como los elementos 114E de expansión diametral exterior están unidos a la placa 126 de transferencia de carga. En este ejemplo, los elementos 114I de "restricción" diametral interior significan el interior de la cámara 124 de compactación y los elementos 114E de "expansión" diametral exterior son exteriores a la cámara 124 de compactación. Los elementos 114I de restricción diametral interior y los elementos 114E de expansión diametral exterior pueden o no estar conectados entre sí. Los elementos 114 de expansión/restricción diametral (que incluyen generalmente elementos 114I de restricción diametrales interiores y elementos 114E de expansión diametrales exteriores) pueden consistir típicamente de cable de eslabones de cadena individual, o de cuerda de alambre o una red de elementos conectados que cuelgan hacia abajo de la placa 126 de transferencia de carga. En un ejemplo específico, los elementos 114 de expansión/restricción diametral son cadenas de aleación grado 100 de media pulgada.

En la realización mostrada en la FIG. 3A y FIG. 3B, el aparato 100 de compactación del suelo puede usarse para compactar y densificar suelos granulares en el campo libre o dentro de una cavidad pretaladrada. Cuando el aparato 100 de compactación de suelo se extrae hacia arriba a través del suelo de campo libre o dentro de una cavidad preformada, los elementos 114 de expansión/restricción diametral cuelgan verticalmente hacia abajo y ofrecen poca

resistencia al movimiento ascendente del aparato 100 de compactación de suelo. Cuando el aparato 100 de compactación de suelo es empujado hacia abajo, los elementos 114 de expansión/restricción diametral captan los materiales dentro de los que el aparato 100 de compactación de suelo está siendo empujado porque estos materiales (es decir, suelo de campo libre o agregado colocado en un hueco pretaladrado) se mueven hacia arriba con relación al aparato 100 de compactación del suelo empujado hacia abajo.

Los materiales acoplados hacen que los elementos 114 diametrales de expansión/restricción se “expandan” o “agrupen” entre sí, inhibiendo así sustancialmente cualquier movimiento ascendente adicional del suelo o de los materiales agregados. Los elementos 114 de restricción diametral interior se “agrupan” así en el interior de la cámara 124 de compactación haciendo que la cámara 124 de compactación “se tape” con el material de suelo que se mueve hacia arriba durante los movimientos descendentes del mandril. Esto crea una superficie de compactación efectiva CS que luego se usa para compactar los materiales directamente debajo del fondo del aparato 100 de compactación del suelo. Los elementos 114E de expansión diametral exterior también “expanden” el exterior de la cámara 124 de compactación, inhibiendo así el movimiento hacia arriba del suelo o de los materiales de agregado exteriores a la cámara de compactación. De este modo, este mecanismo aumenta eficazmente el área de la sección transversal de la superficie de compactación CS durante las carreras de compactación descendente. El aumento en el área de sección transversal permite el uso del aparato 100 de compactación de suelo con un área eficaz de sección transversal que es más grande durante la compactación que durante la extracción, ofreciendo gran eficiencia y ahorro de costes de maquinaria y herramientas durante la construcción.

Con referencia ahora a la FIG. 4A y FIG. 4B, una vista lateral y una vista en planta, respectivamente, se ilustran de otro ejemplo más del aparato 100 de compactación de suelos actualmente descrito que comprende otra disposición más de elementos 114 de restricción diametral. El aparato 100 de compactación de suelo mostrado en la FIG. 4A y FIG. 4B es sustancialmente el mismo que el aparato 100 de compactación de suelo mostrado en la FIG. 3A y FIG. 3B, excepto que no incluye los elementos 114E de expansión diametral exterior. En este ejemplo, la placa 126 de transferencia de carga no se extiende más allá del diámetro de la cámara 124 de compactación y solo los elementos 114 de restricción diametral interiores están unidos a la misma. Ambos aparatos 100 de compactación de suelo mostrados en la FIG. 3A, FIG. 3B, FIG. 4A, y FIG. 4B proporcionan un paso 122 de flujo continuo en una disposición exterior del árbol 110 de accionamiento que permite un flujo mejorado de material granular en la cámara 124 de compactación.

En el aparato 100 de compactación de suelo mostrado en la FIG. 4A y FIG. 4B, cuando el aparato 100 de compactación de suelo se eleva, los materiales granulares que se encuentran encima de la parte superior de la cámara 124 de compactación pueden fluir alrededor del exterior de la cámara 124 de compactación y/o a través o exterior del árbol 110 de accionamiento y hacia el paso 122 de flujo continuo para entrar en la cámara 124 de compactación desde arriba. La capacidad de los materiales granulares para fluir a través del paso 122 de flujo continuo permite que el aparato 100 de compactación de suelo se eleve hacia arriba con menos fuerza de extracción y así con mayor eficacia (en oposición a una parte superior generalmente “cerrada” de la cámara de compactación como se ve en la técnica anterior). Después de que el aparato 100 de compactación del suelo se eleva, se vuelve a retroceder hacia abajo. La acción descendente permite que los elementos 114 de restricción diametral interior se “agrupen” formando de este modo un tapón efectivo que luego se usa para compactar los materiales debajo del fondo del aparato 100 de compactación del suelo.

El aparato 100 de compactación de suelo mostrado en la FIG. 4A y FIG. 4B es especialmente efectivo para densificar y compactar agregados dentro de cavidades preformadas. A modo de ejemplo, la FIG. 5 muestra el aparato 100 de compactación de suelo mostrado en la FIG. 4A y FIG. 4B en una cavidad 130, en donde el aparato 100 de compactación de suelo se usa para compactar materiales granulares dentro de una cavidad preformada. En este ejemplo, la cámara 124 de compactación del aparato de compactación del suelo tiene una altura H de aproximadamente 24 pulgadas (61.0 cm).

En un método de ejemplo, la cavidad 130 se forma mediante taladrado u otros medios y el aparato 100 de compactación de tierra se baja dentro de la cavidad 130. El agregado puede luego ser vertido desde la superficie del terreno para formar un montículo en la parte superior de la cámara 124 de compactación dentro de la cavidad 130. Cuando se eleva el aparato 100 de compactación del suelo, el agregado puede fluir entonces a través y alrededor del paso 122 de flujo continuo a través y dentro del interior de la cámara 124 de compactación. El levantamiento adicional del aparato 100 de compactación del suelo permite que el agregado fluya por debajo del fondo de la cámara 124 de compactación. Cuando el aparato 100 de compactación del suelo es empujado hacia abajo dentro del agregado colocado, los elementos 114 de restricción diametral interior se mueven hacia dentro para “juntarse” para formar una superficie de compactación. Este mecanismo facilita la compactación de los materiales agregados debajo de la cámara 124 de compactación. El aparato 100 de compactación de suelo y el método descrito anteriormente para esta realización permite que el aparato 100 de compactación de suelo permanezca en la cavidad 130 durante los movimientos ascendentes y descendentes requeridos para el ciclo de compactación y elimina la necesidad de “disparar” el mandril fuera de la cavidad 130 como se requiere para la técnica anterior. El aparato 100 de compactación del suelo y el método eliminan además la necesidad de un tubo de alimentación hueco y una tolva que se requiere típicamente para los métodos de desplazamiento usados en el campo y descritos anteriormente. Otra ventaja del paso 122 de flujo continuo abierto en la parte superior de la cámara 124 de compactación es la capacidad de desarrollar un

cabezal de piedra sobre la cámara de compactación para proteger temporalmente los suelos de la cavidad de la cueva durante la construcción del muelle, mientras se puede dejar el mandril en la cavidad mientras se agrega agregado.

Los aparatos 100 de compactación de suelo mostrados en la FIG. 1A a la FIG. 3B también se pueden usar junto con el método para compactar y densificar agregado en huecos pretaladrados como se describió anteriormente en la FIG. 4A, FIG. 4B, y la FIG. 5. Cuando los aparatos 100 de compactación de suelo mostrados en la FIG. 1A a la FIG. 3B, los elementos 114 de expansión diametral exterior cuelgan hacia abajo durante la extracción hacia arriba y se expanden/agrupan juntos durante la carrera de compactación descendente. Esto evita que el agregado de abajo se mueva hacia arriba con respecto al exterior del árbol 110 de accionamiento y/o la cámara 124 de compactación. La prevención de movimientos ascendentes permite que una cabeza de pisón se agrande efectivamente durante la compactación del agregado. Una cabeza de pisón de mayor tamaño proporciona un mayor confinamiento al levantamiento del agregado colocado y densifica efectivamente una mayor profundidad de agregado dentro del levantamiento que se coloca. Este mecanismo permite el uso de levantamientos de agregados más gruesos durante la compactación, lo que hace que el proceso sea menos costoso y más eficiente.

Con referencia ahora a la FIG. 6, se ilustra una vista lateral de otro aparato 200 de compactación de suelo que comprende un anillo extraíble de elementos de restricción diametral (definidos con más detalle a continuación), de acuerdo con otra realización. La FIG. 7A y FIG. 7B ilustran una vista superior y una vista inferior, respectivamente, del aparato 200 de compactación de suelo de la FIG. 6.

El aparato 200 de compactación de suelo incluye un árbol 210 de accionamiento. El árbol 210 de accionamiento es típicamente una viga en I o una viga en H que proporciona una disposición de flujo continuo, en la que el suelo/agregado puede fluir a través o exterior del árbol 210 de accionamiento y dentro de los pasos 122 de flujo continuo de la viga en I o la viga en H (ver la figura 7A y la figura 7B). En un ejemplo, la viga en I o la viga en H tiene una altura de aproximadamente 11.5 pulgadas (29.2 cm), un ancho de aproximadamente 10.375 pulgadas (26.4 cm) y una longitud de aproximadamente 112 pulgadas (2.84 m). Puede proporcionarse una abertura 212 en la red de la viga en I o la viga en H que forma el árbol 210 de accionamiento para permitir que el agregado u otros materiales en la cavidad por encima del extremo inferior del árbol de accionamiento pasen de la mitad de la cavidad a la otra. La abertura 212 puede estar cerca del extremo inferior del árbol 210 de accionamiento. En un ejemplo, la abertura 212 tiene extremos redondeados y tiene aproximadamente 24 pulgadas (61.0 cm) de largo y aproximadamente 6 pulgadas (15.2 cm) de ancho. Para superar cualquier pérdida de resistencia en el árbol 210 de accionamiento debido a la presencia de la abertura 212, un par de placas 214 de refuerzo pueden estar, por ejemplo, soldadas al árbol 210 de accionamiento, es decir, una placa 214 de refuerzo en un lado y otra placa 214 de refuerzo en el otro lado cerca de la abertura 212. En un ejemplo, cada placa 214 de refuerzo tiene aproximadamente 5 pulgadas (12.7 cm) de ancho y aproximadamente 1 pulgada (2.5 cm) de espesor.

En el aparato 200 de compactación de suelo, el extremo inferior del árbol 210 de accionamiento está montado en un extremo de un tubo 216 de manera que una porción de la abertura 212 está dentro del tubo 216. A saber, el árbol 210 de accionamiento está ajustado dentro del tubo 216 a una profundidad d1. En un ejemplo, la profundidad d1 es de aproximadamente 11 pulgadas (27.9 cm). Una vez acoplado en el tubo 216, el árbol 210 de accionamiento puede fijarse en él mediante, por ejemplo, soldadura. En un ejemplo, el tubo 216 tiene una longitud L1 de aproximadamente 36 pulgadas (91.4 cm), un diámetro exterior (OD) de aproximadamente 16 pulgadas (40.6 cm), un diámetro interior (ID) de aproximadamente 14 pulgadas (35.6 cm), y, por lo tanto, un espesor de pared de aproximadamente 1 pulgada (2.5 cm).

Ajustado alrededor del extremo inferior del tubo 216 puede estar un anillo 218 de refuerzo. En un ejemplo, el anillo 218 de refuerzo tiene una altura h1 de aproximadamente 3 pulgadas (7.6 cm), una OD de aproximadamente 18 pulgadas (45.7 cm), una ID de aproximadamente 16 pulgadas (40.6 cm) y, por lo tanto, un espesor de pared de aproximadamente 1 pulgada (2.5 cm). En un ejemplo, el anillo 218 de refuerzo puede asegurarse al tubo 216 por soldadura. Además, una almohadilla 220 de desgaste en forma de anillo puede apoyarse en el extremo del tubo 216 y el anillo 218 de refuerzo. En un ejemplo, la almohadilla 220 de desgaste tiene un espesor t1 de aproximadamente 1 pulgada (2.5 cm). La almohadilla 220 de desgaste puede reemplazarse según sea necesario.

El aparato 200 de compactación del suelo también comprende típicamente un anillo 222 extraíble al que está fijada una disposición de los elementos 114 de restricción diametral. En un ejemplo, el anillo 222 extraíble tiene una altura de aproximadamente 3 pulgadas (7.6 cm) a aproximadamente 4 pulgadas (10.2 cm), una OD de aproximadamente 14 pulgadas (35.6 cm), una ID de aproximadamente 13 pulgadas (33.0 cm), y por lo tanto un espesor de pared de aproximadamente 0.5 pulgadas (1.3 cm). Al unir los elementos 114 de restricción diametral al anillo 222 un anillo extraíble se forma de los elementos 114 de restricción diametral. El anillo 222 extraíble con los elementos 114 de restricción diametral se puede ajustar dentro del tubo 216 y colocarse cerca del extremo del árbol 210 de accionamiento de manera que los elementos 114 de restricción diametral cuelguen hacia el extremo inferior del tubo 216. El anillo 222 extraíble puede asegurarse dentro del tubo 216 mediante, por ejemplo, pernos 224.

Otro conjunto de elementos 114 de restricción diametral puede asegurarse a la red de la viga en I o la viga en H que forma el árbol 210 de accionamiento. En lo sucesivo, los elementos 114 de restricción diametral unidos al anillo 222

extraíble se denominan elementos 114A de restricción diametral. En lo sucesivo, los elementos 114 de restricción diametral unidos a la red del árbol 210 de accionamiento se denominan elementos 114B de restricción diametral.

En un ejemplo, el anillo 222 extraíble puede ser un anillo continuo de una sola pieza. En este ejemplo, los elementos 114A de restricción diametral se forman, por ejemplo, mediante la soldadura de veintiséis (26) cadenas de aleación de grado 100, de 14 pulgadas (35.6 cm) de longitud, media pulgada (1.3 cm), al anillo 222 extraíble. En otro ejemplo, el anillo 222 extraíble puede consistir en dos medios anillos que se colocan juntos dentro del tubo 216. En este ejemplo, los elementos 114A de restricción diametral se forman, por ejemplo, mediante la soldadura de trece (13), cadenas de aleación de grado 100, de 14 pulgadas (35.6 cm) de largo, media pulgada (1.3 cm), a cada mitad del anillo 222 extraíble.

En un ejemplo, los elementos 114B de restricción diametral unidos a la red del árbol 210 de accionamiento se forman soldando cinco (5) cadenas de aleación de grado 100, de 14 pulgadas (35.6 cm) de largo, media pulgada (1.3 cm) a la red de la viga en I o la viga en H que forma el árbol 210 de accionamiento. Cuando el mandril se empuja hacia el agregado, las cadenas se agrupan, lo que restringe sustancialmente el flujo de agregado hacia arriba y permite que el mandril compacte el agregado. Cuando se extrae el mandril, las cadenas caen, permitiendo que el agregado fluya hacia abajo en relación con el mandril.

Con referencia ahora a la FIG. 8A, se ilustra una vista lateral de un aparato 300 de compactación de suelo que comprende los elementos 114 de restricción diametral, según otra realización. La FIG. 8B y la FIG. 8C ilustran una vista superior y una vista inferior, respectivamente, del aparato 300 de compactación de suelo de la FIG. 8A. En este ejemplo, el aparato 300 de compactación del suelo puede comprender un tubo 310. El extremo inferior del tubo 310 puede cerrarse usando una placa o tapa 312, haciendo de este modo que el tubo 310 sea un tubo de extremo cerrado. El extremo superior del tubo 310 tiene típicamente una brida 314 para conectarse a la punta del árbol 110 de accionamiento. En un ejemplo, el tubo 310 tiene aproximadamente 40 pulgadas (101.6 cm) de largo y tiene una OD de aproximadamente 10 pulgadas (25.4 cm), un ID de aproximadamente 8 pulgadas (20.3 cm) y, por lo tanto, un espesor de pared de aproximadamente 1 pulgada (2.5 cm). El tubo 310, la placa o tapa 312, y la pestaña 314 se pueden sujetar entre sí mediante, por ejemplo, soldadura.

El extremo inferior del tubo 310 de extremo cerrado está montado en un extremo de una cámara 318 de compactación. En un ejemplo, la cámara 318 de compactación es un tubo que tiene una longitud L1 de aproximadamente 40 pulgadas (101.6 cm), un OD de aproximadamente 33.5 pulgadas (85.1 cm), un ID de aproximadamente 31.5 pulgadas (80.0 cm), y por lo tanto un espesor de pared de aproximadamente 1 pulgada (2.5 cm). En un ejemplo, el tubo 310 se ajusta dentro de la cámara 318 de compactación a una distancia de aproximadamente 21 pulgadas (53.3 cm).

El tubo 310 puede estar soportado dentro de la cámara 318 de compactación mediante, por ejemplo, cuatro puntales o placas 320 dispuestas radialmente alrededor del tubo 310 (por ejemplo, una a las 12 en punto, una a las 3 en punto, una a las 6 en punto, y una a las 9 en punto). En un ejemplo, los puntales o placas 320 tienen aproximadamente 1 pulgada (2.5 cm) de espesor. Los puntales o placas 320 típicamente se extienden dentro de la cámara 318 de compactación una distancia d1, o, por ejemplo, aproximadamente 19 pulgadas (48.3 cm). El extremo superior de los puntales o placas 320 se puede ahusar hacia el tubo 310 como se muestra, mientras que los extremos inferiores de los puntales o placas 320 son típicamente cuadrados. Alternativamente, los puntales o placas 320 pueden estar en escuadra en la parte superior similar al extremo inferior. La placa o tapa 312 en el extremo del tubo 310 puede extenderse ligeramente por debajo del extremo inferior de los puntales o placas 320. El tubo 310, la cámara 318 de compactación y los puntales o placas 320 se pueden sujetar entre sí mediante, por ejemplo, soldadura.

Además, se puede proporcionar un anillo 322 dentro de la cámara 318 de compactación y cerca del extremo inferior de los puntales o placas 320. En un ejemplo, el anillo 322 tiene una altura de aproximadamente 2 pulgadas (5.1 cm), un OD de aproximadamente 31.5 pulgadas (80.0 cm), un ID de aproximadamente 29.5 pulgadas (74.9 cm) y, por lo tanto, un grosor de pared de aproximadamente 1 pulgada (2.5 cm). El anillo 322 puede fijarse dentro de la cámara 318 de compactación mediante, por ejemplo, soldadura o atornillado.

Como se muestra en la FIG. 8C, los elementos 114 de restricción diametral pueden unirse y colgarse de la superficie inferior del anillo 322, los bordes inferiores de los cuatro puntales o placas 320, y alrededor del perímetro de la placa o tapa 312. Los elementos 114 de restricción diametral pueden fabricarse a partir de cadenas, cables o cuerda de alambre individuales, o una red de cadenas, cables o cuerdas de alambre conectados vertical y horizontalmente. En un ejemplo específico, los elementos 114 de restricción diametral son cadenas de aleación de grado 100 de 19 pulgadas (48.3 cm) de longitud, media pulgada (1.3 cm), que están soldadas al anillo 322, los puntales o placas 320, y la placa o tapa 312.

Con referencia ahora a la FIG. 9A, se ilustra una vista lateral de un aparato 400 de compactación de suelo que comprende los elementos 114 de restricción diametral, según otra realización. La FIG. 9B y la FIG. 9C ilustran una vista superior y una vista inferior, respectivamente, del aparato 400 de compactación de suelo de la FIG. 9A.

En este ejemplo, el aparato 400 de compactación de suelo comprende típicamente un tubo 410 de revestimiento. El extremo inferior del tubo 410 de revestimiento puede cerrarse utilizando una placa o tapa 412, haciendo de este modo

que el tubo 410 de revestimiento sea un tubo de extremo cerrado. El extremo superior del tubo 410 de revestimiento tiene típicamente una brida 414 para conectarse a la punta del árbol 110 de accionamiento. En un ejemplo, el tubo 410 de revestimiento tiene aproximadamente 40 pulgadas (101.6 cm) de largo y tiene una OD de aproximadamente 7 pulgadas (17.8 cm), una ID de aproximadamente 5 pulgadas (12.7 cm) y, por lo tanto, un grosor de pared de aproximadamente 1 pulgada (2.5 cm). El tubo 410 de revestimiento, la placa o tapa 412, y la brida 414 se pueden sujetar entre sí mediante, por ejemplo, soldadura.

El extremo inferior del tubo 410 de revestimiento de extremo cerrado está montado en un extremo de una cámara 418 de compactación. En un ejemplo, la cámara 418 de compactación es un tubo que tiene una longitud L1 de aproximadamente 40 pulgadas (101.6 cm), un OD de aproximadamente 27 pulgadas (68.6 cm), un ID de aproximadamente 25 pulgadas (63.5 cm), y por lo tanto un espesor de pared de aproximadamente 1 pulgada (2.5 cm). En un ejemplo, el tubo 410 de revestimiento se extiende dentro de la cámara 418 de compactación a una distancia de aproximadamente 26 pulgadas (66.0 cm).

El tubo 410 de revestimiento puede estar soportado dentro de la cámara 418 de compactación por, por ejemplo, tres puntales o placas 420 dispuestas radialmente alrededor del tubo 410 de revestimiento (por ejemplo, uno a las 12 en punto, uno a las 4 en punto, y uno a las 8 en punto). En un ejemplo, los puntales o placas 420 tienen aproximadamente 1 pulgada (2.5 cm) de espesor. Los puntales o placas 420 pueden extenderse dentro de la cámara 418 de compactación una distancia d1, o, por ejemplo, aproximadamente 24 pulgadas (61.0 cm). El extremo superior de los puntales o placas 420 puede cuadrarse alrededor del borde superior del tubo 410 de revestimiento como se muestra. El extremo inferior de los puntales o placas 420 también puede ser cuadrado. La placa o tapa 412 en el extremo del tubo 410 de revestimiento puede extenderse ligeramente por debajo del extremo inferior de los puntales o placas 420. El tubo 410 de revestimiento, la cámara 418 de compactación y los puntales o placas 420 se pueden sujetar entre sí mediante, por ejemplo, soldadura.

Además, se puede proporcionar un anillo 422 dentro de la cámara 418 de compactación y cerca del extremo inferior de los puntales o placas 420. En un ejemplo, el anillo 422 tiene una altura de aproximadamente 2 pulgadas (5.1 cm), un OD de aproximadamente 25 pulgadas (63.5 cm), un ID de aproximadamente 23 pulgadas (58.4 cm) y, por lo tanto, un grosor de pared de aproximadamente 1 pulgada (2.5 cm). El anillo 422 se puede sujetar dentro de la cámara 418 de compactación, por ejemplo, mediante soldadura o atornillado.

Los elementos 114 de restricción diametral están unidos típicamente y cuelgan desde la superficie inferior del anillo 422, alrededor del perímetro de la placa o tapa 412, y desde la parte inferior de los puntales 420. Los elementos 114 de restricción diametral pueden fabricarse a partir de cadenas, cables o cuerdas de alambre individuales, o una red de cadenas, cables o cuerdas de alambre conectados vertical y horizontalmente. En un ejemplo, hay treinta y dos (32), cadenas de aleación de grado 100 de 14 pulgadas (35.6 cm) de largo, media pulgada (1.3 cm), soldadas al anillo 422 y catorce (14), cadenas de aleación grado 100, de 20 pulgadas (50.8 cm) de largo, de media pulgada (1.3 cm) soldadas a la placa o tapa 412.

Habiendo descrito en general la invención, varias realizaciones se describen más específicamente mediante ilustración en los siguientes EJEMPLOS específicos, que describen adicionalmente diferentes formas de realización del aparato de compactación de suelos.

Ejemplo I

En un ejemplo, se demostró un método de compactación de agregado usando una realización de la materia objeto divulgada en esta memoria en una cavidad pretaladrada en pruebas de campo a escala real. El mandril de compactación estaba comprendido por un árbol de accionamiento de "viga en I" con una cámara de compactación de flujo continuo de 16 pulgadas (40.6 cm) de diámetro en la parte inferior, similar al aparato 200 de compactación de suelo mostrado en las Figs. 6, 7A y 7B.

Se instalaron muelles de prueba con un diámetro de 20 pulgadas (50.8 cm) a una profundidad de 30 pies (9.1 m). Los pilares se construyeron taladrando una cavidad cilíndrica a la profundidad especificada. Después de taladrar, se vertió el agregado de piedra en la cavidad hasta que hubo una elevación aproximada de 3 pies de espesor de piedra no compactada en el fondo de la cavidad. El mandril se bajó a la cavidad hasta que llegó a la parte superior de la piedra. Se comenzó el martillo y se bajó el mandril dentro de la piedra hasta que se engancharon los elementos de restricción diametral en la parte inferior. Luego, el mandril se introdujo en la piedra, compactando la piedra y empujando la piedra hacia abajo y lateralmente hacia el suelo circundante.

Mientras el mandril estaba en la cavidad y compactaba la elevación inferior de la piedra, se vertió agregado adicional en la cavidad hasta que el agregado estaba aproximadamente a 10 pies (3.0 m) por encima del cabezal de compactación. El mandril se elevó a 6 pies (1.8 m), haciendo que los elementos de restricción diametral se desplieguen y permitiendo que el agregado pase a través del cabezal de compactación (a través de los pasajes de flujo continuo). A continuación, el mandril se hundió en el agregado a 3 pies (0.9 m), haciendo que los elementos de restricción diametral se unan y compacten el agregado entre la elevación inicial y el cabezal de compactación y empujen el agregado lateralmente hacia la piedra circundante. El mandril se elevó posteriormente 6 pies (1.8 m) y se bajó 3 pies

(0.9 m) compactando cada elevación del agregado en incrementos de 3 pies (0.9 m), hasta alcanzar la superficie del suelo. El nivel de piedra se mantuvo por encima de la parte superior de la cabeza de compactación durante la construcción del muelle.

Se realizaron pruebas de módulo en dos muelles contruidos, uno para un muelle construido a una profundidad de 30 pies (9.1 m) utilizando piedra triturada limpia y uno a una profundidad de 30 pies (9.1 m) con el fondo de 10 pies (3.0 m) de agregado compactado que consiste en piedra triturada limpia y los 20 pies superiores (6.1 m) de agregado compactado que consiste en arena de hormigón. Los resultados mostrados en la representación 1000 de la FIG. 10 indican que los pilares contruidos confirmaron el diseño y fueron suficientes para soportar la estructura.

Se instalaron más de 5,000 muelles en este sitio con la técnica descrita anteriormente. Los métodos de sustitución tradicionales tales como los descritos en la patente de EE. UU. Los números 5,249,892 y 6,354,766 no eran factibles en este sitio porque las cavidades perforadas eran inestables por debajo de una profundidad de 10 pies (3.0 m). El método de instalación descrito en este documento permitió que el cabezal de piedra sobre la cámara de compactación cubriera temporalmente los suelos de la excavación durante la construcción del muelle. La ventaja de poder dejar el mandril en la cavidad como agregado se agregó y permitió una tasa de instalación promedio de aproximadamente 145 pies (44.2 m) de muelle por hora, una tasa estimada en aproximadamente un 30 por ciento más rápida que la observada tradicionalmente, métodos de reemplazo. Además, la presente invención fue ventajosa con respecto al método de desplazamiento descrito en la patente de EE. UU. No. 7,226,246 porque permitió desarrollar capacidades más altas en los suelos cohesivos superiores con respecto a los métodos de desplazamiento.

Ejemplo II

En otro ejemplo de una realización del tema divulgado aquí, un método para compactar el agregado en una cavidad pretaladrada con un mandril que tiene una cámara de compactación de flujo de 28 pulgadas (71.1 cm) de diámetro similar a las Figs. 8A-8C se demostró en pruebas de campo a gran escala. Se construyó un muelle de prueba de módulo para verificar el rendimiento del método de construcción.

La cavidad para el muelle de prueba se taladró a una profundidad de 12 pies (3.7 m). Después de taladrar, el mandril se bajó dentro de la cavidad hasta que la cámara de compactación llegó al fondo. Se vertió un agregado de piedra limpia en la cavidad hasta que hubo suficiente piedra no compactada para crear una elevación compactada de 2 pies (0.6 m) de espesor. El mandril se elevó 3 pies (0.9 m) y se bajó 3 pies (0.9 m) para empujar la piedra en el suelo subyacente. Luego se quitó el mandril y se colocó un ensamblaje revelador en la cavidad, en la parte superior de la elevación compactado inicial.

El mandril se bajó de nuevo a la cavidad y el agregado de piedra triturada se vertió en la cavidad hasta que alcanzó la superficie del suelo. El mandril se elevó 3 pies (0.9 m), permitiendo que el agregado pasara a través del cabezal de compactación (a través del pasaje de flujo continuo) y luego se hundiera en el agregado 1.5 pies (0.5 m), provocando que los elementos de restricción diametral se unieran y compactaran el agregado y empujaran el agregado lateralmente hacia el suelo circundante. A continuación, el mandril se elevó 3 pies (0.9 m) y se bajó 1.5 pies (0.5 m) hasta alcanzar la superficie del suelo. El nivel de piedra se mantuvo por encima de la cámara de compactación durante toda la construcción del muelle.

Los resultados de la prueba de módulo se muestran en la gráfica 1100 de la FIG. 11. La prueba se realizó utilizando una configuración de prueba y una secuencia utilizada para una "prueba de carga rápida de pilote" descrita en ASTM D1493. Los resultados de la prueba muestran una gráfica de la parte superior aplicada de la tensión del muelle en el eje x y la parte superior de la deflexión del muelle en el eje y. Los resultados indican que los muelles contruidos confirmaron el diseño y fueron suficientes para soportar la estructura.

Varios cientos de muelles se instalaron en este sitio con la técnica descrita anteriormente a profundidades de hasta 40 pies (12.2 m). La ventaja de poder dejar el mandril en la cavidad como agregado se agregó permitiendo un tiempo de instalación que es más rápido de lo que normalmente se observa para los métodos de reemplazo tradicionales. Además, la presente divulgación fue ventajosa con respecto al método de desplazamiento descrito en la patente de EE. UU. No. 7,226,246 porque permitió desarrollar capacidades más altas en los suelos cohesivos superiores con respecto a los métodos de desplazamiento.

Siguiendo la convención de la ley de patentes de larga data, los términos "un", "una" y "el" se refieren a "uno o más" cuando se usan en esta solicitud, incluyendo las reivindicaciones. Por lo tanto, por ejemplo, la referencia a "un sujeto" incluye una pluralidad de sujetos, a menos que el contexto claramente indique lo contrario (por ejemplo, una pluralidad de sujetos), y así sucesivamente.

A lo largo de esta memoria descriptiva y las reivindicaciones, los términos "comprende", "comprende" y "que comprende" se usan en un sentido no exclusivo, excepto cuando el contexto requiera lo contrario. Del mismo modo, el término "incluir" y sus variantes gramaticales están destinadas a ser no limitativas, de modo que la cita de los ítems en una lista no excluye otros ítems similares que pueden ser sustituidos o añadidos a los ítems enumerados.

Para los propósitos de esta especificación y reivindicaciones adjuntas, a menos que se indique lo contrario, todos los números expresan cantidades, tamaños, dimensiones, proporciones, formas, formulaciones, parámetros, porcentajes, parámetros, cantidades, características y otros valores numéricos utilizados en la especificación y las reivindicaciones, deben entenderse como modificados en todos los casos por el término “aproximadamente”, aunque el término “aproximadamente” puede no aparecer expresamente con el valor, cantidad o rango. Por consiguiente, a menos que se indique lo contrario, los parámetros numéricos establecidos en la siguiente especificación y reivindicaciones adjuntas no son ni deben ser exactos, pero pueden ser aproximados y/o más grandes o más pequeños según se desee, reflejando tolerancias, factores de conversión, redondeo, error de medición y similares, y otros factores conocidos por los expertos en la técnica, dependiendo de las propiedades deseadas que se busca obtener mediante la materia objeto divulgada actualmente. Por ejemplo, el término “aproximadamente”, cuando se refiere a un valor, puede abarcar variaciones de, en algunas realizaciones, $\pm 100\%$ en algunas realizaciones $\pm 50\%$, en algunas realizaciones $\pm 20\%$, en algunas realizaciones $\pm 10\%$, en algunas realizaciones $\pm 5\%$, en algunas realizaciones $\pm 1\%$, en algunas realizaciones $\pm 0.5\%$, y en algunas realizaciones $\pm 0.1\%$ de la cantidad especificada, ya que tales variaciones son apropiadas para realizar los métodos descritos o emplear las composiciones divulgadas.

Además, el término “aproximadamente” cuando se utiliza en conexión con uno o más números o rangos numéricos, debe entenderse que se refiere a todos esos números, incluidos todos los números en un rango y modifica ese rango extendiendo los límites por encima y por debajo de los valores numéricos establecidos. La cita de los rangos numéricos por extremos finales incluye todos los números, por ejemplo, todos los enteros, incluidas fracciones de estos, subsumidos dentro de ese rango (por ejemplo, la cita de 1 a 5 incluye 1, 2, 3, 4 y 5, así como fracciones de los mismos, por ejemplo, 1.5, 2.25, 3.75, 4.1, y similares) y cualquier rango dentro de ese rango.

Aunque la materia objeto anterior se ha descrito con cierto detalle a modo de ilustración y ejemplo a efectos de claridad de comprensión, los expertos en la técnica entenderán que pueden realizarse ciertos cambios y modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (100) para densificar y compactar materiales granulares que comprenden un árbol (110) de accionamiento, cámara (124) de compactación en un extremo inferior del árbol de accionamiento, y uno más elementos (114) de expansión y restricción diametrales en donde el aparato adicionalmente comprende una abertura en una superficie superior de la cámara de compactación que comprende un pasaje (122) de flujo continuo exterior del árbol de accionamiento y configurado para aceptar materiales granulares del exterior del árbol de accionamiento.
2. El aparato de la reivindicación 1 en el que el uno o más elementos (114) diametrales de expansión y restricción están unidos a uno o ambos de un interior o exterior de la cámara (124) de compactación.
3. El aparato de la reivindicación 1, en el que el uno o más elementos (114) diametrales de expansión y restricción comprenden elementos (1141) de restricción diametral interiores y elementos (114E) de expansión diametral exteriores.
4. El aparato de la reivindicación 3 en el que los elementos (1141) de restricción de diámetro interior y los elementos (114E) de expansión de diámetro exterior están conectados o no conectado el uno al otro.
5. El aparato de la reivindicación 1 en el que el árbol (110) de accionamiento es uno del mismo tamaño y/o diámetro, mayor tamaño y/o diámetro, o menor tamaño y/o diámetro que la cámara (124) de compactación.
6. El aparato de la reivindicación 1 en el que la cámara (124) de compactación está conectada al árbol (110) de accionamiento a través de una placa (126) de transferencia de carga.
7. El aparato de la reivindicación 6 que comprende además una o más placas (128) de refuerzo conectadas al árbol (110) de accionamiento y la placa (126) de transferencia de carga.
8. El aparato de la reivindicación 6 en el que el uno o más elementos (114) diametrales de expansión y restricción están unidos a la placa (126) de transferencia de carga.
9. El aparato de la reivindicación 1 en el que el árbol (110) de accionamiento comprende un tubo hueco.
10. El aparato de la reivindicación 1 en el que el árbol (110) de accionamiento comprende sustancialmente una configuración de viga en I
11. El aparato de la reivindicación 1, en el que el aparato está configurado para insertarse en una cavidad pretaladrada.
12. El aparato de la reivindicación 1 en el que el árbol (110) de accionamiento comprende sustancialmente una configuración de árbol cilíndrico sólido.
13. Un método de densificación y compactación de materiales granulares, el método que comprende:
 - a. proporcionar un aparato (100) de compactación que comprende un árbol (110) de accionamiento, una cámara (124) de compactación en un extremo inferior del árbol de accionamiento, y uno o más elementos (114) de expansión o restricción diametral en donde el aparato adicionalmente comprende una abertura en una superficie superior de la cámara de compactación que comprende un pasaje (122) de flujo continuo exterior del árbol de accionamiento y configurado para aceptar materiales granulares de fuera del árbol de accionamiento;
 - b. empujar el aparato de compactación dentro de los suelos de campo libre a una profundidad especificada;
 - c. levantar el aparato de compactación a una distancia especificada tal que uno o más elementos de restricción diametral se muevan hacia abajo con respecto al aparato de compactación para colgar de las conexiones al aparato de compactación permitiendo así que los materiales granulares ubicados encima de una parte superior de la cámara de compactación fluyan a través del flujo a través del paso de flujo,
 - d. Reempujar el aparato hacia abajo en los suelos de campo libre haciendo que el uno o más elementos de restricción diametral se agrupen formando superficies de compactación; y
 - e. repetir el empuje y la elevación del aparato de compactación.

14. El método de la reivindicación 13, en el que el aparato de compactación se acciona y se levanta repetidamente de manera incremental hasta que el aparato de compactación se ha levantado hasta o cerca de una elevación de terreno original.

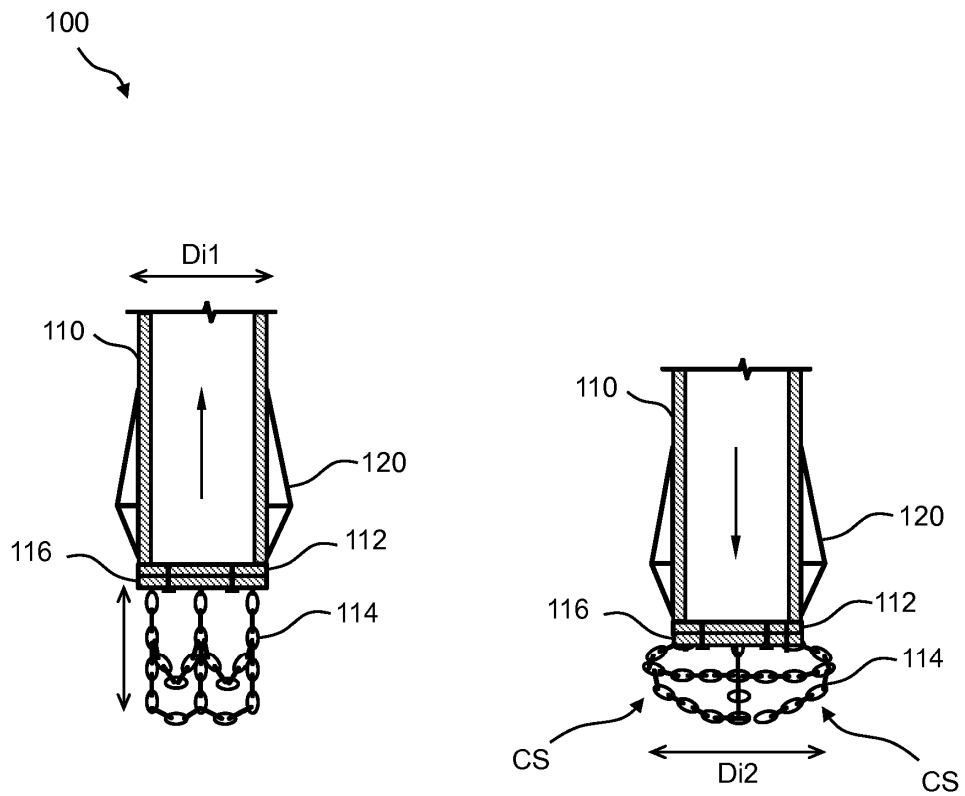


FIG. 1A

FIG. 1B

100
↘

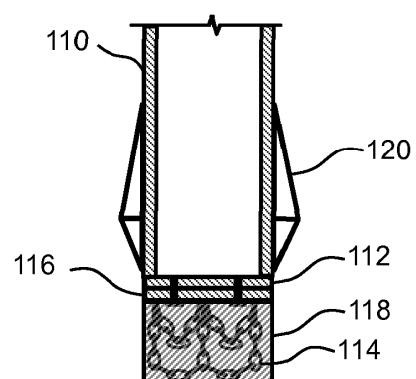


FIG. 2

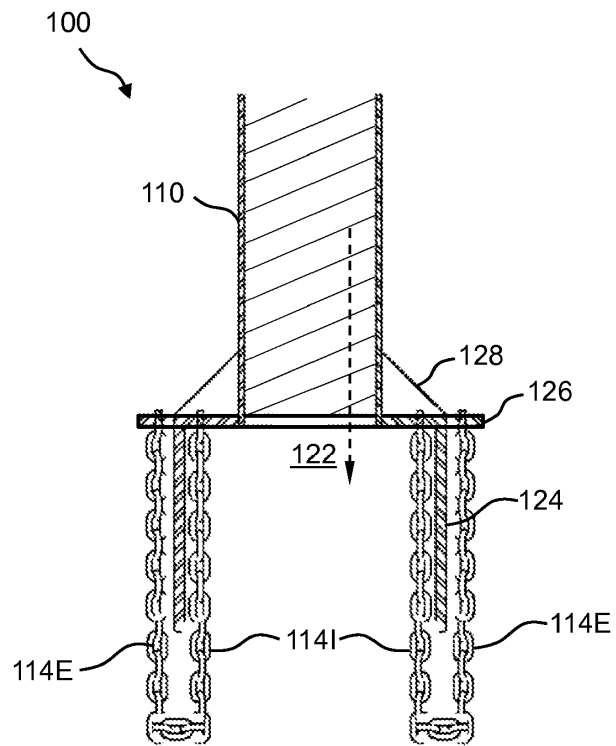


FIG. 3A

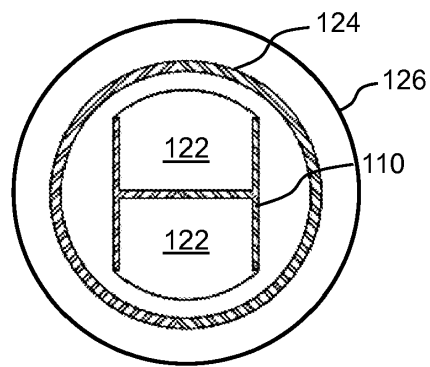


FIG. 3B

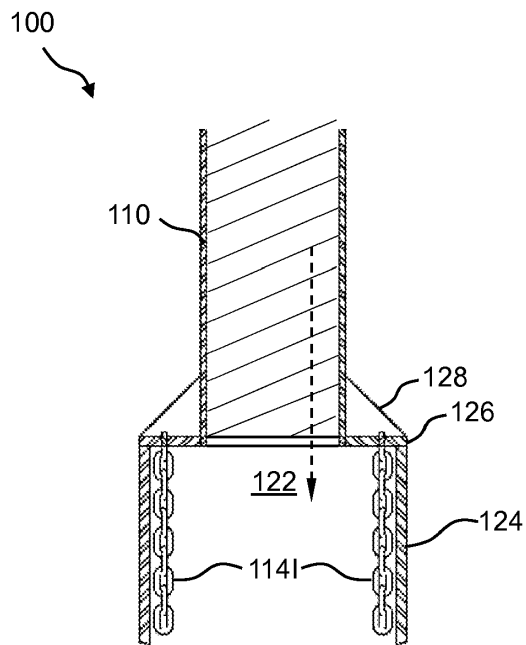


FIG. 4A

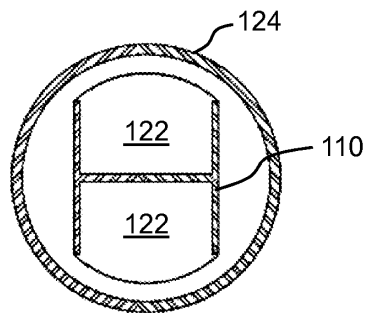


FIG. 4B

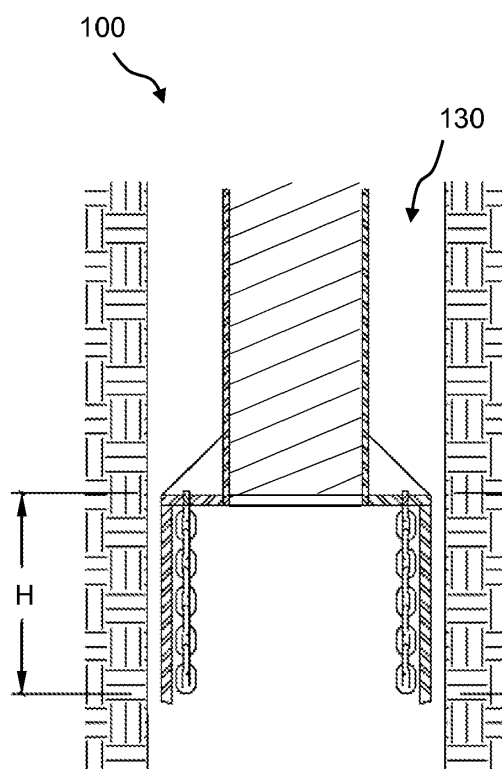


FIG. 5

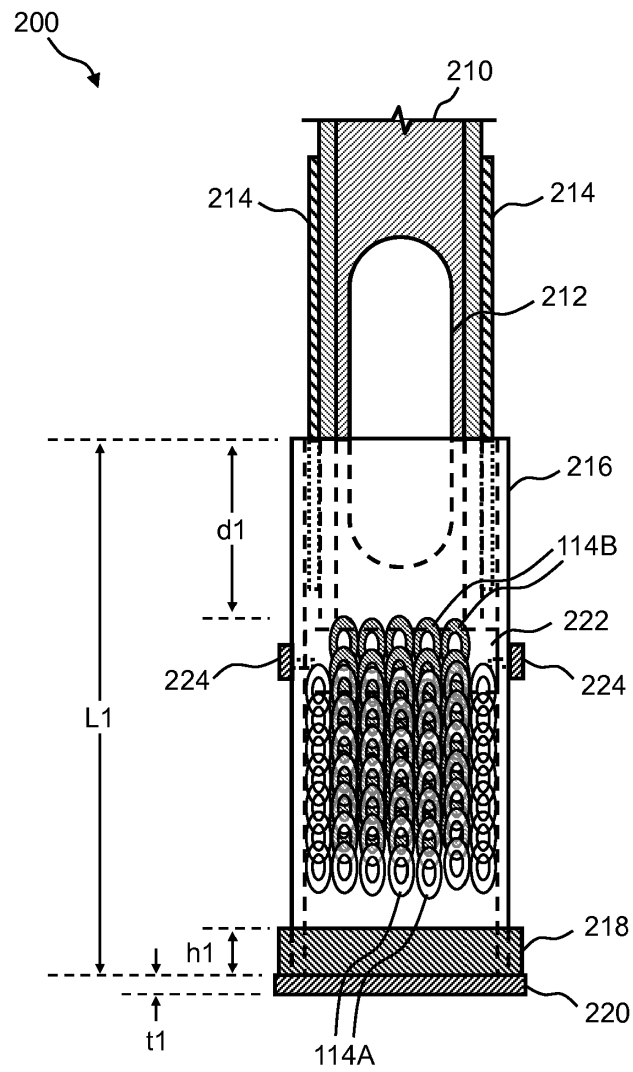


FIG. 6

200
↘

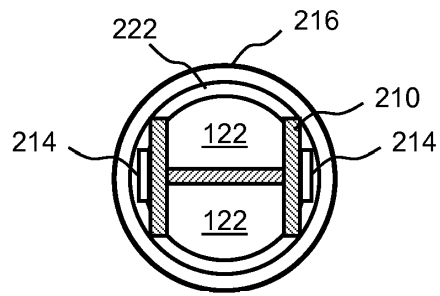


FIG. 7A

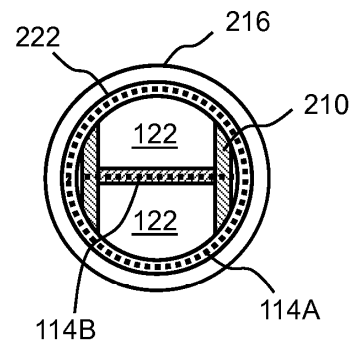


FIG. 7B

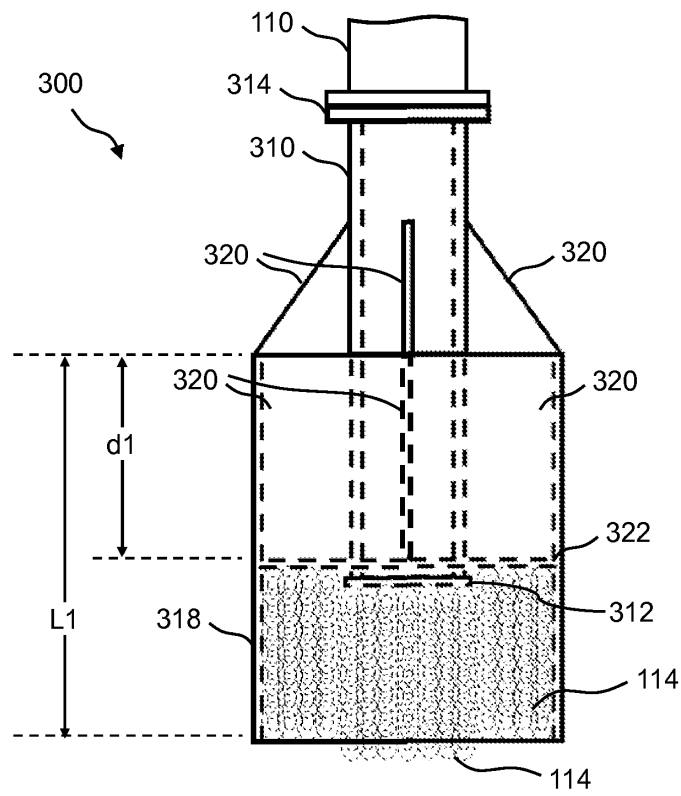


FIG. 8A

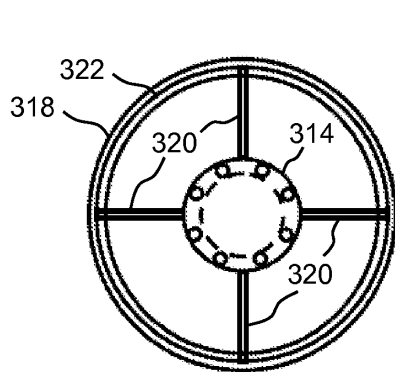


FIG. 8B

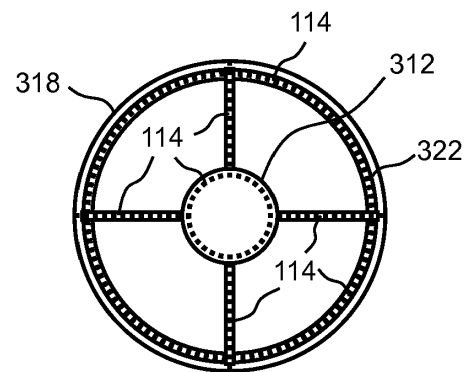


FIG. 8C

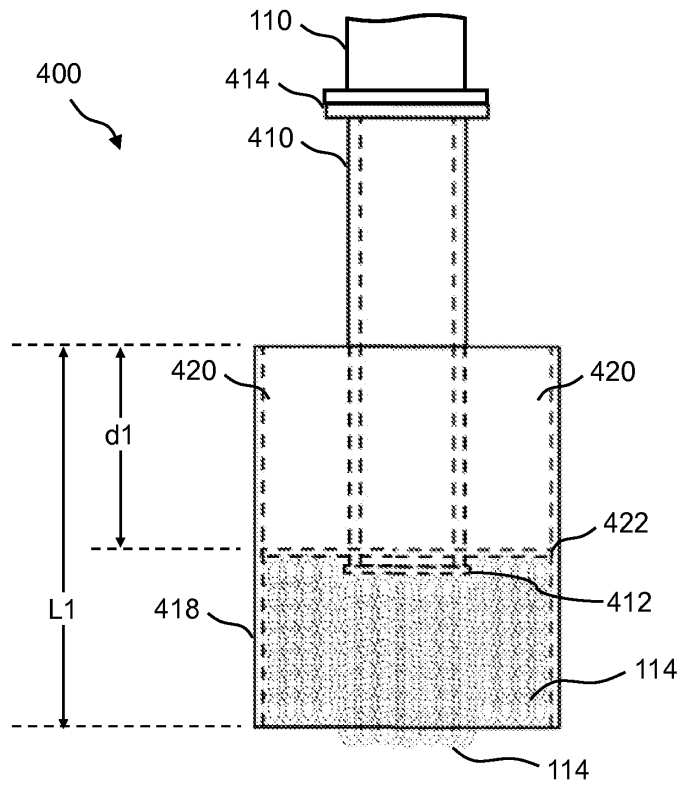


FIG. 9A

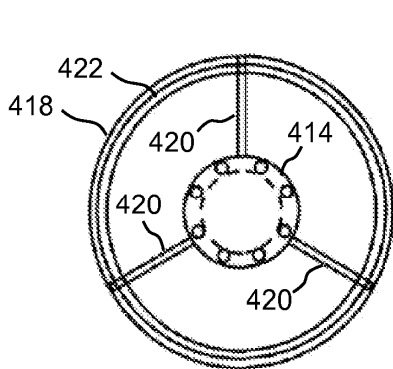


FIG. 9B

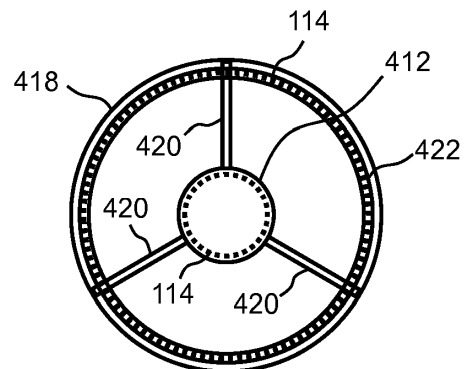


FIG. 9C

1000 ↗

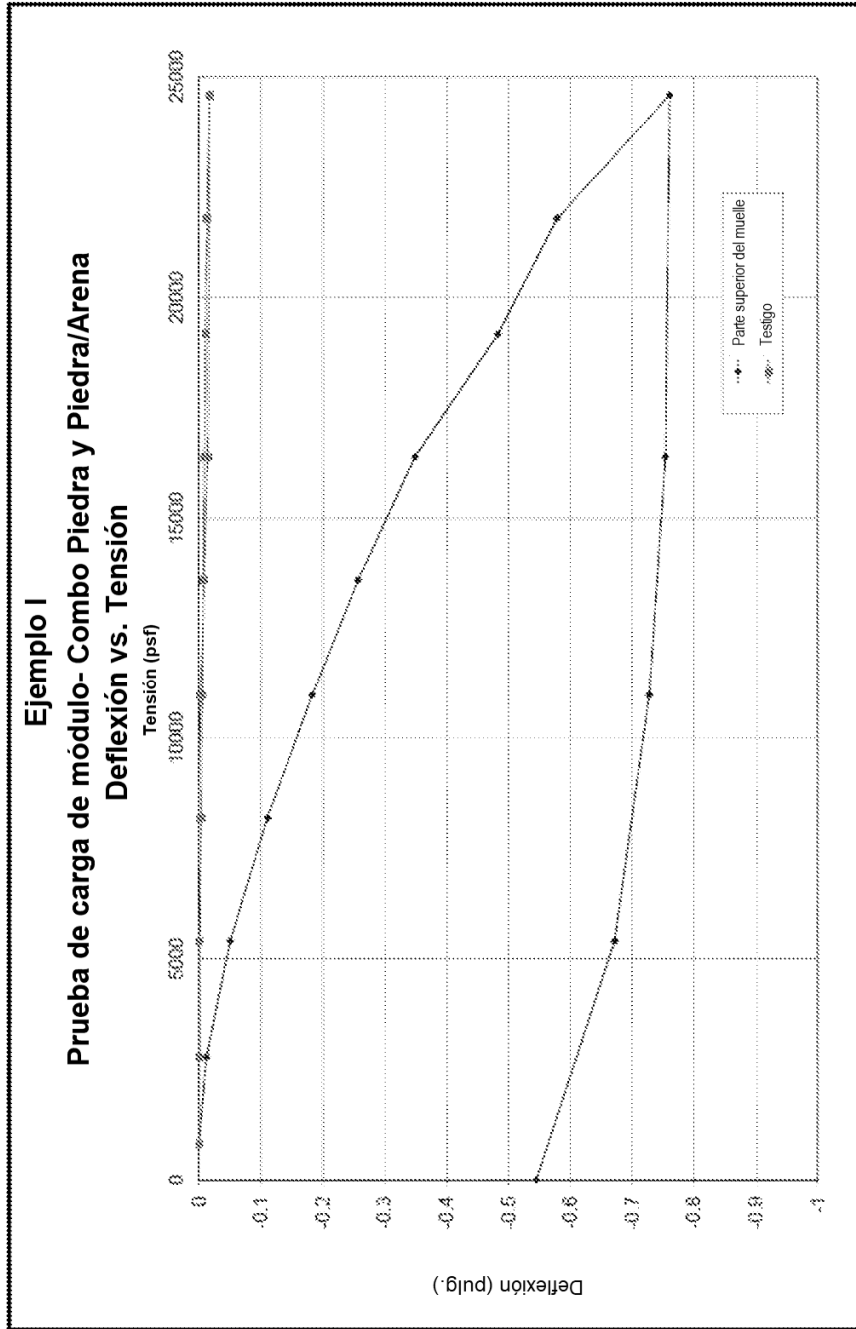


FIG. 10

1100

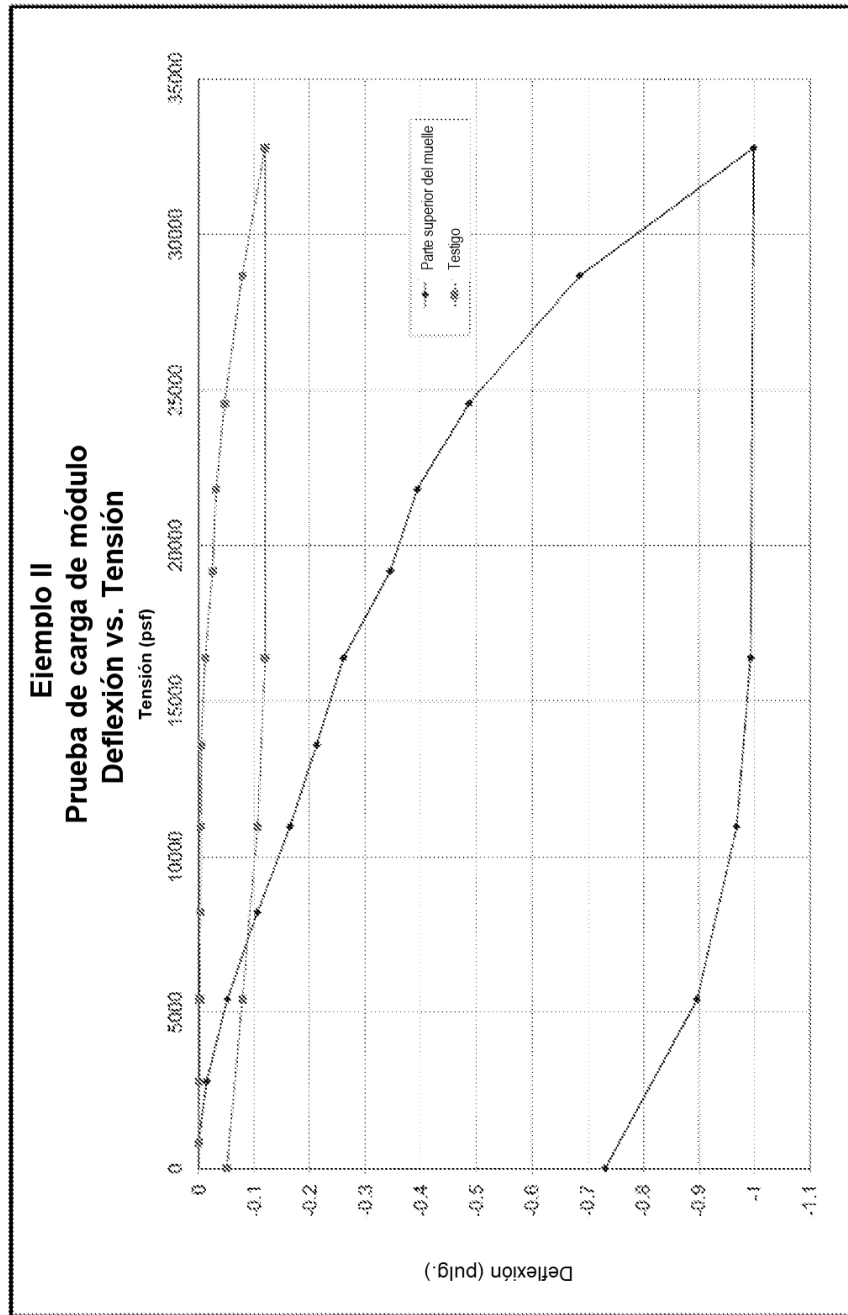


FIG. 11