

MEMORIA DESCRIPTIVA

REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

La materia de la presente memoria descriptiva está relacionada y reivindica prioridad de la solicitud de Patente US No. 17/171.664, presentada el 9 de febrero de 2021, cuya divulgación completa se incorpora por referencia en el presente documento.

CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCIÓN

El objeto de la presente memoria descriptiva se refiere, en general, a la compactación y densificación de materiales granulares del subsuelo y, muy en particular, a métodos y aparatos para compactar suelos y materiales granulares, que se depositan de manera natural o consisten en materiales de relleno colocados por el hombre, para el soporte posterior de estructuras, tales como edificaciones, cimientos, losas de piso, paredes, terraplenes, pavimentos y otras mejoras.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

Las instalaciones pesadas o sensibles a los asentamientos, que están ubicadas en áreas que contienen suelos blandos, sueltos o débiles, a menudo se sostienen sobre cimientos profundos. Estos cimientos profundos suelen estar hechos de pilotes hincados o pilares de hormigón 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.

Otra forma de sostener tales estructuras es excavar los suelos blandos, sueltos o débiles y luego rellenar la excavación con material más competente. Normalmente se excava toda la zona bajo los cimientos de la edificación y se sustituye hasta 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 drenaje o apuntalamiento costoso para estabilizar la excavación.

Otra forma adicional de soportar tales estructuras es tratar el suelo con “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 que se desarrolle una gran onda de compresión en el suelo. La onda de compresión compacta el suelo, siempre que el suelo tenga una gradación suficiente para ser tratable. Existe una variedad de formas de peso para lograr la compactación por medio de este método, como las descritas en la patente

US No. 6.505.998. Si bien la compactación dinámica profunda puede ser económica para ciertos sitios, tiene la desventaja de que induce grandes olas como resultado del peso que golpea el suelo. Estas ondas pueden dañar las estructuras. La técnica es deficiente porque solo se puede aplicar a una pequeña banda de gradaciones de suelo (tamaños de partículas) y no es adecuada para materiales con partículas finas apreciables.

En los últimos años, las columnas de áridos 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 por medio del uso de una variedad de métodos que incluyen el método de perforación y apisonamiento descrito en las patentes US No. 5.249.892 y No. 6.354.766; el método de mandril accionado por cabezal del pisón descrito en la Patente US No. 7.226.246; el método del mandril accionado por cabezal del pisón con elementos de restricción descrito en la patente US No. 7.604.437; y el método de mandril cónico accionado descrito en la Patente US No. 7.326.004; cuyas divulgaciones completas se incorporan por referencia en su totalidad.

El método de columna corta de áridos (Patentes US No. 5.249.892 y No. 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 orificio se mantiene fácilmente. El método generalmente consiste en: a) perforar una cavidad u orificio generalmente cilíndrico en el suelo de cimentación (generalmente, alrededor de 30 pulgadas (76,2 cm)); b) compactar el suelo en el fondo de la cavidad; c) instalar una capa relativamente delgada de áridos en la cavidad (generalmente, alrededor de 12 a 18 pulgadas (30,4 a 45,7 cm)); d) apisonar la elevación de áridos con un cabezal del pisón biselado especialmente diseñado; y e) repetir el proceso para formar una columna de áridos que generalmente se extiende hasta la superficie del suelo. Es fundamental para el proceso la aplicación de suficiente energía al cabezal del pisón biselado 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 de manera eficiente a los suelos de la matriz durante la carga de la columna.

El método del mandril accionado por el cabezal de apisonamiento (patente US No. 7.226.246) es una forma de desplazamiento del método de columna de áridos cortos. Este método generalmente consiste en clavar un tubo hueco (mandril) en el suelo sin necesidad de perforar. El tubo está equipado con un cabezal del pisón en la parte inferior que tiene un diámetro mayor que el tubo y que tiene un fondo plano y lados biselados. El mandril se impulsa hasta el fondo de diseño de la elevación de la columna, se llena con áridos y luego se levanta, lo que permite que los áridos fluyan fuera del tubo y entre en la cavidad creada

al retirar el mandril. Luego, el cabezal del pisón se vuelve a introducir en los áridos para compactar los áridos. La forma de fondo plano del cabezal del pisón compacta los áridos; los lados biselados fuerzan los áridos hacia las paredes laterales del orificio lo cual aumenta las tensiones laterales en el suelo circundante. El método del mandril accionado por el cabezal del pisón con elementos de restricción (patente US No. 7.604.437) utiliza una pluralidad de elementos de restricción instalados dentro del cabezal del pisón 112 para restringir el flujo de retorno de áridos hacia el cabezal del pisón durante la compactación.

El método del mandril cónico accionado (patente US No. 7.326.004) es otro medio para crear una columna de áridos 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 conicidad de aproximadamente 1 a aproximadamente 5 grados desde la vertical. El mandril se introduce en el suelo, lo que hace que la tierra de la matriz se desplace hacia abajo y hacia los lados durante el proceso de hincado. Después de alcanzar el fondo de diseño de la elevación de la columna, se retira el mandril, lo que deja una cavidad en forma de cono en el suelo. La forma cónica del mandril permite estabilizar temporalmente las paredes laterales del orificio de modo que los áridos se puedan introducir en la cavidad desde la superficie del suelo. Después de colocar una elevación de áridos, el mandril se vuelve a introducir en los áridos para compactar los áridos y forzarlos hacia las paredes laterales del orificio. A veces, se utiliza un mandril más grande para compactar los áridos cerca de la parte superior de la columna.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente memoria descriptiva se refiere, en general, a un aparato para densificar y compactar materiales granulares. En algunas modalidades, el aparato puede incluir un eje de impulso 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 eje de impulso. Los elementos de expansión diametral se pueden unir a una superficie inferior del eje de impulso, o se pueden unir a una placa base unida al extremo inferior del eje de impulso. La placa base se puede cambiar.

Los elementos de expansión diametral pueden incluir una o varias cadenas, cables, cables metálicos y/o un entramado de cadenas, cables o cables metálicos conectados vertical u horizontalmente. Los elementos de expansión diametral se pueden configurar y dimensionar en consecuencia para lograr el grosor de elevación deseado, el área de superficie de compactación y/o el flujo del suelo de acuerdo con el tipo de material y/o los requisitos del proyecto. Además, los elementos de expansión diametral se pueden alojar dentro de una punta de sacrificio que se puede conectar de forma liberable a una parte

inferior del eje de impulso. El aparato también puede incluir una o más estructuras de ala unidas al eje de impulso que están configuradas para aflojar suelos de campo libre alrededor del eje de impulso.

En ciertas otras modalidades, el aparato puede incluir un eje de impulso, una cámara de compactación en un extremo inferior del eje de impulso 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 pasaje de flujo continuo exterior del eje de impulso y está configurado para aceptar materiales granulares desde el exterior del eje de impulso. El eje de impulso puede ser del mismo tamaño y/o diámetro, de mayor tamaño y/o diámetro, o de menor tamaño y/o diámetro que la cámara de compactación. Además, la cámara de compactación puede estar conectada al eje de impulso a través de una placa de transferencia de carga y puede incorporar, además, una o más placas de refuerzo conectadas al eje de impulso y la placa de transferencia de carga.

Ciertas modalidades del aparato pueden incluir uno o más elementos de expansión y restricción diametral unidos a uno o ambos interiores o exteriores de la cámara de compactación. Uno o más elementos de expansión y restricción diametral también se pueden unir a la placa de transferencia de carga. El aparato puede incluir tanto elementos de restricción diametral interior como elementos de expansión diametral exterior. Además, los elementos de restricción diametral interior y los elementos de expansión diametral exterior pueden o no estar conectados entre sí. El eje de impulso puede incluir un tubo hueco, una configuración sustancialmente de viga en I que puede incluir, además, una abertura en la configuración de viga en I, o una configuración de eje cilíndrico sólido. El aparato se puede configurar, además, para que se inserte en una cavidad previamente perforada.

En ciertos otros aspectos de la presente memoria descriptiva, se presenta un aparato para densificar y compactar materiales granulares de acuerdo con otras modalidades. El aparato puede incluir un eje de impulso, una cámara de compactación y uno o más elementos de restricción diametral, en donde la cámara de compactación comprende un tubo y el eje de impulso está instalado en un extremo del tubo. El aparato puede estar configurado para que se inserte en una cavidad previamente perforada. En algunas modalidades, el eje de impulso 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 eje de impulso se puede extender hacia el interior del tubo. Ciertas modalidades también pueden incluir un anillo de refuerzo ajustado alrededor de un extremo inferior de la cámara de compactación, y pueden incluir, además, una almohadilla de desgaste sustancialmente en forma de anillo que se apoya en el anillo de refuerzo.

Las modalidades del aparato también pueden incluir un anillo que se puede asegurar a la cámara de compactación y se puede posicionar cerca del extremo del eje de impulso

que incluye una disposición de los elementos de restricción diametral. Una segunda disposición de elementos de restricción diametral puede estar asegurada al eje de impulso. El anillo se puede remover, de manera opcional.

En ciertas otras modalidades, el aparato puede incluir un tubo de impulso fijado a un extremo inferior del eje de impulso, donde un extremo inferior del tubo de impulso se puede extender hacia la cámara de compactación, y, además, donde el tubo de impulso puede estar asegurado a la cámara de compactación por uno o más puntales o placas que se extienden desde los lados de la cámara de compactación radialmente hacia el interior del tubo de impulso. Uno o más puntales o placas se pueden extender a lo largo del tubo de impulso por encima de la cámara de compactación hasta un punto de terminación, donde se estrecha desde los lados de la cámara de compactación hasta el punto de terminación. Además, un extremo inferior del tubo de impulso se puede cerrar por medio del uso de una placa o tapa y la placa o tapa se extiende por debajo de un extremo inferior de uno o más puntales o placas.

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

En otras modalidades, se puede utilizar una línea de inyección de aire que se extiende a lo largo del eje de impulso con al menos un puerto de descarga a lo largo del mandril para proporcionar la presión de aire positiva necesaria para aumentar el flujo de áridos interior y/o exterior durante las instalaciones. El puerto de descarga puede estar localizado, por ejemplo, a lo largo del eje de impulso en una ubicación por encima de la cámara de compactación. Algunas otras realizaciones pueden incluir múltiples líneas de inyección de aire con uno o más puertos de descarga a lo largo del eje de impulso. En tales modalidades, los puertos de descarga pueden estar orientados de tal manera que la presión de aire se dirige hacia el exterior hacia la cavidad del suelo para facilitar el flujo de áridos exterior, hacia el interior hacia el eje de impulso o hacia abajo a lo largo del eje de impulso para facilitar el flujo de áridos interior, o una combinación de los mismos.

Ciertos otros aspectos de la presente memoria descriptiva incluyen un método para densificar y compactar materiales granulares, el método incluye los pasos de (a) proporcionar un aparato de compactación, que comprende un eje de impulso de extremo cerrado que tiene un primer diámetro y uno o más elementos de expansión diametral, en donde uno o más elementos de expansión diametral se expanden cuando el aparato es impulsado hacia abajo formando superficies de compactación que tienen un segundo diámetro mayor que el

primer diámetro del eje de impulso, (b) impulsar el aparato de compactación en suelos de campo libre a una profundidad especificada, (c) elevar el aparato de compactación a una distancia especificada, y (d) repetir el impulso y la elevación del aparato de compactación. El método también puede incluir repetir los pasos de impulso y elevación de forma incremental hasta que el aparato de compactación se haya elevado a o cerca de una elevación original del suelo. En tales modalidades, cada uno de los impulsos repetidos del aparato de compactación puede ser a una distancia generalmente menor que la distancia a la que se levantó previamente el aparato de compactación.

El impulso del aparato de compactación se puede realizar por medio del uso de un martillo de impacto o vibratorio. En ciertas modalidades, la elevación del aparato de compactación permite que los materiales circundantes fluyan alrededor del aparato de compactación para llenar un vacío creado al elevar el aparato de compactación. En algunas modalidades, uno o más elementos de expansión diametral se pueden colocar 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 en relación con el aparato de compactación para que cuelguen de una parte inferior del aparato de compactación. El método puede, en algunas modalidades, crear una columna bien compactada de suelo densificado debajo y alrededor de uno o más elementos de expansión diametral.

Ciertas otras modalidades de métodos de densificación y compactación de materiales granulares incluyen los pasos de (a) proporcionar un aparato de compactación, que comprende un eje de impulso, una cámara de compactación en un extremo inferior del eje de impulso y uno o más elementos de expansión diametral, donde el aparato comprende, además, una abertura en una superficie superior de la cámara de compactación, que comprende un pasaje de flujo continuo exterior del eje de impulso y configurado para aceptar materiales granulares desde el exterior del eje de impulso, (b) impulsar el aparato de compactación en suelos de campo libre a una profundidad especificada, (c) elevar el aparato de compactación una distancia especificada de tal manera que uno o más elementos de restricción diametral se muevan hacia abajo en relación con el aparato de compactación para colgar de las conexiones al aparato de compactación, lo cual permite que los materiales granulares localizados por encima de la parte superior de la cámara de compactación fluyan a través del pasaje de flujo continuo, (d) volver a impulsar el aparato hacia abajo en los suelos de campo libre lo cual provoca que uno o más elementos de restricción diametral se amontonen formando superficies de compactación, y (e) repetir el impulso y elevación 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 eje de impulso, una cámara de compactación y uno o más

elementos de restricción diametral, donde la cámara de compactación comprende un tubo y el eje de impulso se instala en un extremo del tubo, (b) impulsar el aparato de compactación en suelos de campo libre a una profundidad específica, (c) elevar el aparato de compactación a una distancia específica de modo que uno o más elementos de restricción diametral se muevan hacia abajo en relación con el aparato de compactación para colgar de las conexiones al aparato de compactación, lo que permite que los materiales granulares localizados sobre una parte superior de la cámara de compactación fluyan alrededor del exterior del eje de impulso y dentro de la cámara de compactación, (c) volver a impulsar el aparato hacia abajo en los suelos de campo libre lo cual provoca que uno o más elementos de restricción diametral se amontonen formando superficies de compactación; y (d) repetir el impulso y elevación del aparato de compactación.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Una vez descrito el objeto de la presente memoria descriptiva en términos generales, se hará referencia ahora a los Dibujos adjuntos, que no están necesariamente dibujados a escala, y en los que:

la Figura 1A y la Figura 1B ilustran vistas laterales de un ejemplo del aparato de compactación de suelos divulgado en las posiciones elevada y baja, respectivamente, y que comprende una disposición de elementos de expansión diametral;

la Figura 2 ilustra una vista lateral del aparato de compactación de suelo de la Figura 1A y la Figura 1B y, además, comprende una punta de sacrificio;

la Figura 3A y la Figura 3B ilustran una vista lateral y una vista en planta, respectivamente, de otro ejemplo del aparato de compactación de suelos de la presente memoria descriptiva, que comprende otra disposición de elementos de expansión/restricción diametral;

la Figura 4A y la Figura 4B ilustran una vista lateral y una vista en planta, respectivamente, de otro ejemplo del aparato de compactación de suelos de la presente memoria descriptiva, que comprende otra disposición de elementos de restricción diametral;

la Figura 5 ilustra una vista lateral del aparato de compactación de suelo de la Figura 4A y la Figura 4B, donde el aparato se utiliza para compactar materiales granulares dentro de una cavidad formada previamente;

la Figura 6 ilustra una vista lateral de otro ejemplo de un aparato de compactación de suelo que comprende un anillo removible de elementos de restricción diametral;

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

la Figura 8A ilustra una vista lateral de un aparato de compactación de suelo que comprende los elementos de restricción diametral, de acuerdo con otra modalidad;

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

la Figura 9A ilustra una vista lateral de un aparato de compactación de suelo que comprende elementos de restricción diametral, de acuerdo con otra modalidad;

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

la Figura 10 muestra un diagrama de la prueba de modulo de carga para un mandril de 16 pulgadas (40,6 cm) substancialmente similar al mandril de la Figura 6, Figura 7A, y Figura 7B en un EJEMPLO I;

la Figura 11 muestra un diagrama de los resultados de la prueba de modulo de carga para un mandril de 28 pulgadas (71,1 cm) substancialmente similar al mandril de las Figuras 8A-8C en un EJEMPLO II;

la Figura 12A y la Figura 12B ilustran vistas laterales de un aparato de compactación de suelo de una modalidad adicional en las posiciones elevada y baja, respectivamente, y que comprende una disposición de elementos separados de restricción y expansión diametral;

la Figura 13A y la Figura 13B muestran ilustraciones de las posiciones elevada y baja del aparato descrito con referencia a la Figura 12A y la Figura 12B, respectivamente;

la Figura 14A y la Figura 14B ilustran vistas laterales de un ejemplo del aparato de compactación de suelo de la presente memoria descriptiva descrito en las posiciones elevada y baja, respectivamente, y que comprende una disposición de elementos de expansión diametral y un tubo de alimentación con un pasaje de flujo continuo interno;

la Figura 15A y la Figura 15B ilustran vistas laterales de un ejemplo del aparato de compactación de suelo de la presente memoria descriptiva en las posiciones elevada y baja, respectivamente, y que comprende una disposición de elementos de expansión diametral y un eje de impulso de extremo cerrado;

la Figura 16A y la Figura 16B ilustran una vista lateral y una vista superior, respectivamente, de un aparato de compactación de suelos de una modalidad adicional que comprende uno o más tubos interiores de inyección de aire para aumentar el flujo interior de áridos;

la Figura 17A y la Figura 17B ilustran una vista lateral y una vista superior, respectivamente, de un aparato de compactación de suelo de una modalidad adicional que comprende uno o más tubos de inyección de aire exterior para incrementar el flujo de áridos exterior; y

la Figura 18 muestra un diagrama de la resistencia de penetración del cono versus la profundidad medida en el centro de dos pilares donde un pilar fue instalado por medio del uso de la presente invención con tubos de inyección de aire similares al mandril en la Figura

17A y la Figura 17B y el otro pilar fue instalado por medio del uso del aparato de compactación de suelo sin tubos de inyección de aire.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

El objeto de la presente memoria descriptiva será descrito ahora con más detalle, en lo sucesivo, con referencia a los Dibujos adjuntos, en los que se muestran algunas, pero no todas las modalidades del objeto de la presente memoria descriptiva. Números similares se refieren a elementos similares. El objeto de la presente memoria descriptiva se puede incorporar de muchas formas diferentes y no se debe interpretar como limitado a las modalidades establecidas en el presente documento; más bien, estas modalidades se proporcionan para que esta divulgación satisfaga los requisitos legales aplicables. De hecho, muchas modificaciones y otras modalidades del objeto de la presente memoria descriptiva establecido en este documento vendrán a la mente de un experto en la técnica a la que pertenece el tema de la presente memoria descriptiva que tiene el beneficio de las enseñanzas presentadas en las descripciones anteriores y los Dibujos asociados. Por lo tanto, se debe entender que el objeto de la presente memoria descriptiva no se debe limitar a las modalidades específicas divulgadas y que las modificaciones y otras modalidades están destinadas a ser incluidas dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

En algunas modalidades, el objeto de la presente memoria descriptiva proporciona métodos y aparatos para compactar suelos y materiales granulares que se depositan de manera natural o consisten en materiales de relleno colocados por el hombre para el soporte posterior de estructuras, tales como edificaciones, cimientos, losas de piso, paredes, terraplenes, pavimentos y otras mejoras. Es decir, el objeto de la presente memoria descriptiva proporciona diversas modalidades 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, cables o cables metálicos individuales, o de un entramado de cadenas, cables o cables metálicos 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 (1,27 cm).

Las modalidades del aparato de compactación de suelo incluyen, pero no se limitan a, ejes de transmisión de extremos cerrados, ejes de transmisión de extremos abiertos, pasajes de flujo continuo, pasajes sin flujo continuo, anillos removibles para sujetar los elementos de expansión/restricción diametral y cualquier combinación del mismo.

En un método de ejemplo de uso del aparato de compactación de suelo descrito en la presente memoria descriptiva, después del impulso inicial, el aparato de compactación de suelo se eleva y los elementos de expansión diametral cuelgan libremente por gravedad

desde la parte inferior del eje de impulso. A medida que se eleva el eje de impulso, los suelos de campo libre fluyen hacia la cavidad dejada por el eje de impulso. Después de elevar el eje de impulso a la distancia prescrita, el eje de impulso se vuelve a impulsar hacia abajo hasta una profundidad preferiblemente menor que la profundidad inicial de penetración 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 eje de impulso. Este proceso crea una columna bien compactada de suelo densificado debajo y alrededor de los elementos de expansión diametral. Este proceso de elevar el eje de impulso hacia arriba y volver a bajarlo se repite gradualmente hasta que el eje de impulso haya sido elevado a o cerca de una elevación original del suelo.

Con referencia ahora a la Figura 1A y la Figura 1B, se ilustra un aparato de compactación de suelo 100 de acuerdo con una modalidad, en donde el aparato de compactación de suelo 100 se utiliza para compactar materiales granulares. Es decir, la Figura 1A y la Figura 1B son vistas laterales del aparato de compactación de suelo 100 de la presente memoria descriptiva en las posiciones elevada y baja, respectivamente, y que comprende una disposición de elementos de expansión diametral 114. El aparato de compactación de suelos 100 que se muestra en la Figura 1A y la Figura 1B se puede insertar o impulsar en suelos de campo libre (es decir, suelo que existe en su estado natural o colocado debajo del nivel del suelo). El aparato de compactación de suelo 100 comprende un eje de impulso 110. En este ejemplo, el eje de impulso 110 es un eje de impulso de extremo cerrado y superior cerrado. Es decir, se proporciona una placa base 112 en el extremo del eje de impulso 110 que se introduce en el suelo, lo cual forma el eje de impulso de extremo cerrado o de fondo cerrado.

Además, una disposición de elementos de expansión diametral 114 está unida a la parte inferior del eje de impulso 110 por medio de, por ejemplo, una placa de montaje 116. Por ejemplo, los elementos de expansión diametral 114 se pueden sujetar a la placa de montaje 116. Luego, la placa de montaje 116 se puede atornillar a la placa base 112. En este ejemplo, los elementos de expansión diametral 114 están localizados en el fondo cerrado del eje de impulso 110 que se utiliza para compactar materiales granulares.

Los elementos de expansión diametral 114 se pueden fabricar a partir de cadenas, cables, cables metálicos o similares individuales, o un entramado de cadenas, cables, cables metálicos o similares conectados vertical y horizontalmente. En un ejemplo específico, los elementos de expansión diametral 114 son cadenas de aleación de grado 100 de media pulgada (1,27 cm). En la modalidad que se muestra en la Figura 1A y la Figura 1B, cuando el aparato de compactación de suelo 100 se impulsa inicialmente hacia abajo en suelo de campo abierto, los elementos de expansión diametral 114 se pueden colocar dentro de una

punta de sacrificio 118, como se muestra en la Figura 2. La punta de sacrificio 118 puede tener una profundidad suficiente, tal como 6 pulgadas (15,2 cm), para alojar los elementos de expansión diametral 114.

Después del impulso inicial (ver Figura 1B), el aparato de compactación de suelo 100 se eleva y los elementos de expansión diametral 114 cuelgan libremente por gravedad desde la parte inferior del eje de impulso 110 (ver Figura 1A). A medida que se eleva el eje de impulso 110, los suelos de campo libre (o áridos agregados adicionalmente) fluyen hacia la cavidad dejada por el eje de impulso 110. Opcionalmente, una o más alas 120 están unidas a los lados exteriores del eje de impulso 110. Las alas 120 pueden actuar para aflojar los suelos de campo libres alrededor del eje de impulso 110.

Después de elevar el eje de impulso 110 a la distancia prescrita, el eje de impulso 110 se vuelve a impulsar hacia abajo hasta una profundidad preferiblemente menor que la profundidad inicial de penetración en los materiales subyacentes. Esto permite que los elementos de expansión diametral 114 tengan la oportunidad de expandirse radialmente (ver la Figura 1B) formando una superficie de compactación CS que tiene un diámetro mayor que la placa base 112. En un ejemplo, el diámetro Di1 del eje de impulso 110 y la placa base 112 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 debajo y alrededor de los elementos de expansión diametral 114. Este proceso de elevar el eje de impulso 110 hacia arriba y de impulsarlo hacia abajo se repite gradualmente hasta que el eje de impulso 110 se haya elevado a o cerca de una elevación original del suelo.

Los elementos de expansión diametral 114 están configurados y dimensionados en consecuencia para lograr el grosor de elevación deseado, el área de superficie de compactación y el flujo del suelo en función del tipo de material y los requisitos del proyecto. La placa de base 112 y los elementos de expansión diametral 114 (con la placa de montaje 116) normalmente se pueden cambiar. La configuración de la placa de base intercambiable 112 con los elementos de expansión diametral 114 adjuntos se puede adaptar a los requisitos del proyecto, lo que elimina tener que fabricar mandriles de eje de impulso separados y, por lo tanto, es un método efectivo y de bajo costo. El aparato de compactación de suelos 100 que se muestra en la Figura 1A y la Figura 1B tiene la ventaja de ser fácil de fabricar, construir y mantener.

Con referencia ahora a la Figura 3A y la Figura 3B, se ilustra una vista lateral y una vista en planta, respectivamente, de otro ejemplo más del aparato de compactación de suelo 100 de la presente memoria descriptiva, que comprende otra disposición de elementos de restricción/expansión diametral 114. En este ejemplo, un pasaje de flujo continuo 122 alrededor del eje de impulso 110 y dentro de una cámara de compactación 124 facilita el flujo

de áridos hacia la cámara de compactación 124 desde el exterior del eje de impulso 110. En un ejemplo, el eje de impulso 110 es una viga en I o una viga en H que proporciona la disposición de “flujo continuo”, en la que el suelo puede fluir a través del eje de impulso 110 y hacia los pasajes de flujo continuo 122 de la viga I o viga H (y cámara de compactación 124). En el caso que se utilice una viga en H como eje de impulso 110, las dos bridas exteriores de la viga en H también pueden ayudar a cubrir las paredes de la cavidad del suelo mientras el mandril se baja y eleva en la cavidad. También se contempla que el eje de impulso 110 pueda ser un eje cilíndrico sólido (con puntales o conexiones similares a la cámara de compactación) o similar.

El aparato de compactación de suelos 100 que se muestra en la Figura 3A y la Figura 3B comprende, además, una cámara de compactación 124. Es decir, la cámara de compactación 124 está conectada mecánicamente al extremo inferior del eje de impulso 110. La cámara de compactación 124 tiene, por ejemplo, forma de cilindro. La cámara de compactación 124 puede tener el mismo tamaño o diámetro que el eje de impulso 110 o la cámara de compactación 124 puede ser mayor o menor que el eje de impulso 110. En la Figura 3A y la Figura 3B, la cámara de compactación 124 tiene un área de sección transversal más grande que el eje de impulso 110. En un ejemplo, la longitud de la cámara de compactación 124 es de aproximadamente 24 pulgadas (61 cm).

La cámara de compactación 124 se puede conectar al eje de impulso 110 con una placa de transferencia de carga 126 con el uso opcional de una o más placas de refuerzo 128. La cámara de compactación 124 puede estar abierta en su superficie inferior permitiendo la intrusión de materiales granulares en la cámara de compactación 124 cuando el aparato de compactación de suelo 100 es impulsado hacia abajo. En la modalidad que se muestra en la Figura 3A y la Figura 3B, la cámara de compactación 124 también puede estar generalmente abierta en su superficie superior para facilitar los pasajes de flujo 122. Es decir, la placa de transferencia de carga 126 puede ser una placa en forma de anillo con una abertura en la parte central de la misma.

Además, en la modalidad que se muestra en la Figura 3A y la Figura 3B, tanto los elementos de restricción diametral interior 114I como los elementos de expansión diametral exterior 114E están unidos a la placa de transferencia de carga 126. En este ejemplo, los elementos de “restricción” diametral interior 114I significan el interior de la cámara de compactación 124 y los elementos de “expansión” diametral exterior 114E significan el exterior de la cámara de compactación 124. Los elementos de restricción diametral interior 114I y los elementos de expansión diametral exterior 114E pueden o no estar conectados entre sí. Los elementos de restricción/expansión diametral 114 (que generalmente incluyen elementos de restricción diametral interior 114I y elementos de expansión diametral exterior 114E) generalmente pueden consistir en eslabones de cadena individuales, cable o cable

metálico o un entramado de elementos conectados que cuelgan hacia abajo desde la placa de transferencia de carga 126. En un ejemplo específico, los elementos de expansión/restricción diametral 114 son cadenas de aleación de grado 100 de media pulgada (1,27 cm).

En la modalidad que se muestra en la Figura 3A y la Figura 3B, el aparato de compactación de suelo 100 se puede utilizar para compactar y densificar suelos granulares en el campo libre o dentro de una cavidad previamente perforada. Cuando el aparato de compactación de suelo 100 se extrae hacia arriba a través del suelo de campo libre o dentro de una cavidad formada previamente, los elementos de expansión/restricción diametral 114 cuelgan verticalmente hacia abajo y ofrecen poca resistencia al movimiento ascendente del aparato de compactación de suelo 100. Cuando el aparato de compactación de suelo 100 se impulsa hacia abajo, los elementos de expansión/restricción diametral 114 se acoplan a los materiales en los que se introduce el aparato de compactación de suelo 100 porque estos materiales (es decir, suelo de campo libre o áridos colocados en un orificio previamente perforado) se mueven hacia arriba en relación con el aparato de compactación de suelo 100 impulsado hacia abajo.

Los materiales enganchados provocan que los elementos de expansión/restricción diametral 114 se “expandan” o se “agrupen”, inhibiendo así sustancialmente cualquier movimiento ascendente adicional del suelo o de los materiales áridos. Los elementos de restricción diametral interior 114I por lo tanto “se agrupan” en el interior de la cámara de compactación 124 lo que provoca que la cámara de compactación 124 se “tapone” con el material de suelo que se mueve hacia arriba durante los movimientos hacia abajo del mandril. Esto crea una superficie de compactación CS efectiva que luego se utiliza para compactar los materiales directamente debajo del fondo del aparato de compactación de suelo 100. Los elementos de expansión diametral exterior 114E también se “expanden” en el exterior de la cámara de compactación 124 inhibiendo así el movimiento ascendente del suelo o los materiales áridos en el exterior de la cámara de compactación. Este mecanismo, por lo tanto, aumenta efectivamente el área de la sección transversal de la superficie de compactación CS durante las carreras de compactación hacia abajo. El aumento del área de la sección transversal permite el uso del aparato de compactación de suelos 100 con un área de la sección transversal efectiva que es mayor durante la compactación que durante la extracción, ofreciendo una gran eficiencia y ahorros en costos de maquinaria y herramientas durante la construcción.

Con referencia ahora a la Figura 4A y la Figura 4B, se ilustran una vista lateral y una vista en planta, respectivamente, de otro ejemplo más del aparato de compactación de suelo 100 de la presente memoria descriptiva, que comprende otra disposición de elementos de restricción diametral 114. El aparato de compactación de suelos 100 que se muestra en la

Figura 4A y la Figura 4B es sustancialmente el mismo que el aparato de compactación de suelo 100 que se muestra en la Figura 3A y la Figura 3B, excepto que no incluye los elementos de expansión diametral exterior 114E. En este ejemplo, la placa de transferencia de carga 126 no se extiende más allá del diámetro de la cámara de compactación 124 y solo los elementos de restricción diametral interior 114I están unidos a ella. Ambos aparatos de compactación de suelo 100 que se muestran en la Figura 3A, la Figura 3B, la Figura 4A, y la Figura 4B proporcionan un pasaje de flujo continuo 122 eficiente en una disposición exterior del eje de impulso 110 que permite un flujo de material granular mejorado hacia la cámara de compactación 124.

En el aparato de compactación de suelo 100 que se muestra en la Figura 4A y la Figura 4B, cuando se eleva el aparato de compactación de suelo 100, los materiales granulares que se encuentran por encima de la parte superior de la cámara de compactación 124 pueden fluir alrededor del exterior de la cámara de compactación 124 y/o a través o fuera del eje de impulso 110 y hacia el pasaje de flujo continuo 122 para entrar en la cámara de compactación 124 desde arriba. La capacidad de los materiales granulares para fluir a través del pasaje de flujo continuo 122 permite que el aparato de compactación de suelo 100 se eleve hacia arriba con menos fuerza de extracción y, por lo tanto, con mayor eficiencia (a diferencia de una parte superior más generalmente “cerrada” de la cámara de compactación como se aprecia en la técnica anterior). Después que el aparato de compactación de suelo 100 se eleva, se vuelve a impulsar hacia abajo. La acción hacia abajo permite que los elementos de restricción diametral interior 114I se “agrupen” formando así un tapón efectivo que luego se utiliza para compactar los materiales debajo del fondo del aparato de compactación de suelo 100.

El aparato de compactación de suelos 100 que se muestra en la Figura 4A y la Figura 4B es especialmente efectivo para densificar y compactar áridos dentro de cavidades formadas previamente. A modo de ejemplo, la Figura 5 muestra el aparato de compactación de suelo 100 que se muestra en la Figura 4A y la Figura 4B en una cavidad 130, donde el aparato de compactación de suelo 100 se utiliza para compactar materiales granulares dentro de una cavidad formada previamente. En este ejemplo, la cámara de compactación 124 del aparato de compactación de suelo tiene una altura H de aproximadamente 24 pulgadas (61 cm).

En un método ejemplar, la cavidad 130 se forma por medio de perforación u otros medios y el aparato de compactación de suelo 100 se baja dentro de la cavidad 130. Luego se pueden verter los áridos desde la superficie del suelo para formar un montículo en la parte superior de la cámara de compactación 124 dentro de la cavidad 130. Cuando se eleva el aparato de compactación de suelo 100, los áridos pueden fluir a través y alrededor del pasaje de flujo continuo 122 y hacia el interior de la cámara de compactación 124. La elevación

adicional del aparato de compactación de suelo 100 permite que los áridos fluyan por debajo del fondo de la cámara de compactación 124. Cuando el aparato de compactación de suelo 100 es impulsado hacia abajo en los áridos colocados, los elementos de restricción diametral interior 114I se mueven hacia adentro para que se “agrupen” para formar una superficie de compactación. Este mecanismo facilita la compactación de los materiales áridos debajo de la cámara de compactación 124. El aparato de compactación de suelo 100 y el método descrito anteriormente para esta modalidad permiten que el aparato de compactación de suelo 100 permanezca en la cavidad 130 durante los movimientos ascendente/descendente requeridos para el ciclo de compactación y elimina la necesidad de “tirar” el mandril fuera de la cavidad 130 como se requiere en la técnica anterior. El aparato de compactación de suelo 100 y el método eliminan, además, la necesidad de un tubo de alimentación hueco y una tolva que normalmente se requiere para los métodos de desplazamiento utilizados en el campo y descritos anteriormente. Otra ventaja del pasaje de flujo continuo 122 abierto en la parte superior de la cámara de compactación 124 es la capacidad de desarrollar un cabezal de piedra sobre la cámara de compactación para recubrir temporalmente los suelos de la cavidad durante la construcción del pilar, mientras se puede dejar el mandril en la cavidad mientras se agregan los áridos.

Los aparatos de compactación de suelo 100 que se muestran en la Figura 1A a la Figura 3B también se puede utilizar junto con el método para compactar y densificar áridos en orificios perforados previamente como se describe anteriormente en la Figura 4A, la Figura 4B, y la Figura 5. Cuando los aparatos de compactación de suelo 100 que se muestran en la Figura 1A a la Figura 3B se utilizan, los elementos de expansión diametral exterior 114 cuelgan hacia abajo durante la extracción hacia arriba y se expanden/agrupan durante la carrera de compactación hacia abajo. Esto evita que los áridos de abajo se muevan hacia arriba en relación con el exterior del eje de impulso 110 y/o la cámara de compactación 124. La prevención de movimientos ascendentes permite que el cabezal del pisón se agrande de manera efectiva durante la compactación de los áridos. Un cabezal del pisón de mayor tamaño proporciona mayor confinamiento a la capa de áridos colocada y densifica efectivamente una mayor profundidad de áridos dentro de la capa que se coloca. Este mecanismo permite el uso de capas más gruesas de áridos durante la compactación, lo que hace que el proceso sea menos costoso y más eficiente.

Con referencia ahora a la Figura 6, se ilustra una vista lateral de otro aparato de compactación de suelo 200 que comprende un anillo removible de elementos de restricción diametral (definidos con mayor detalle a continuación), de acuerdo con otra modalidad. La Figura 7A y la Figura 7B ilustran una vista desde arriba y una vista desde abajo, respectivamente, del aparato de compactación de suelo 200 de la Figura 6.

El aparato de compactación de suelo 200 incluye un eje de impulso 210. El eje de impulso 210 es generalmente una viga en I o una viga en H que proporciona una disposición de “flujo continuo”, en la que el suelo/áridos pueden fluir a través o fuera del eje de impulso 210 y hacia los pasajes de flujo continuo 122 de la viga en I o la viga en H (ver Figura 7A y 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 (2,8 m). Se puede proporcionar una abertura 212 en la red de la viga en I o la viga en H que forma el eje de impulso 210 para permitir que los áridos u otros materiales en la cavidad sobre el extremo inferior del eje de impulso pasen de la mitad de la cavidad al otro. La abertura 212 puede estar cerca del extremo inferior del eje de impulso 210. En un ejemplo, la abertura 212 tiene extremos redondeados y mide aproximadamente 24 pulgadas (61 cm) de largo y aproximadamente 6 pulgadas (15,2 cm) de ancho. Para superar cualquier pérdida de resistencia en el eje de impulso 210 debido a la presencia de la abertura 212, se puede soldar un par de placas de refuerzo 214, por ejemplo, al eje de impulso 210, es decir, una placa de refuerzo 214 en un lado y otra placa de refuerzo 214 en el otro lado cerca de la abertura 212. En un ejemplo, cada placa de refuerzo 214 tiene aproximadamente 5 pulgadas (12,7 cm) de ancho y aproximadamente 1 pulgada (2,5 cm) de grosor.

En el aparato de compactación de suelos 200, el extremo inferior del eje de impulso 210 se ajusta en un extremo de un tubo 216 de modo que una parte de la abertura 212 quede dentro del tubo 216. Es decir, el eje de impulso 210 se ajusta en el tubo 216 hasta una profundidad d1. En un ejemplo, la profundidad d1 es de aproximadamente 11 pulgadas (27,9 cm). Una vez instalado en el tubo 216, el eje de impulso 210 se puede asegurar en el mismo, por ejemplo, por medio de soldadura. En un ejemplo, el tubo 216 tiene una longitud L1 de aproximadamente 36 pulgadas (91,4 cm), un diámetro exterior (DE) de aproximadamente 16 pulgadas (40,6 cm), un diámetro interior (DI) de aproximadamente 14 pulgadas (35,6 cm), y por lo tanto un grosor de pared de aproximadamente 1 pulgada (2,5 cm).

Puede haber un anillo de refuerzo 218 ajustado alrededor del extremo inferior del tubo 216. En un ejemplo, el anillo de refuerzo 218 tiene una altura h1 de aproximadamente 3 pulgadas (7,6 cm), un DE de aproximadamente 18 pulgadas (45,7 cm), un DI de aproximadamente 16 pulgadas (40,6 cm) y, por tanto, un grosor de pared de aproximadamente de 1 pulgada (2,5 cm). En un ejemplo, el anillo de refuerzo 218 se puede asegurar al tubo 216 por medio de soldadura. Además, una almohadilla de desgaste en forma de anillo 220 puede hacer tope con el extremo del tubo 216 y el anillo de refuerzo 218. En un ejemplo, la almohadilla de desgaste 220 tiene un grosor t1 de aproximadamente 1 pulgada (2,5 cm). La almohadilla de desgaste 220 se puede reemplazar según sea necesario.

El aparato de compactación de suelo 200 también comprende generalmente un anillo removible 222 al que se une una disposición de los elementos de restricción diametral 114. En un ejemplo, el anillo removible 222 tiene una altura de aproximadamente 3 pulgadas (7,6 cm) a aproximadamente 4 pulgadas (10,2 cm), un DE de aproximadamente 14 pulgadas (35,6 cm), un DI de aproximadamente 13 pulgadas (33,0 cm), y por lo tanto un grosor de pared de aproximadamente 0,5 pulgadas (1,3 cm). Al unir los elementos de restricción diametral 114 al anillo removible 222, se forma un anillo removible de los elementos de restricción diametral 114. El anillo removible 222 con los elementos de restricción diametral 114 se puede instalar dentro del tubo 216 y se puede ubicar cerca del extremo del eje de impulso 210 de modo que los elementos de restricción diametral 114 cuelguen hacia el extremo inferior del tubo 216. El anillo removible 222 se puede asegurar dentro del tubo 216, por ejemplo, con pernos 224.

Se puede asegurar otro conjunto de elementos de restricción diametral 114 a la red de la viga en I o viga en H que forma el eje de impulso 210. De aquí en adelante, los elementos de restricción diametral 114 unidos al anillo removible 222 se denominan elementos de restricción diametral 114A. De aquí en adelante, los elementos de restricción diametral 114 unidos a la red del eje de impulso 210 se denominan elementos de restricción diametral 114B.

En un ejemplo, el anillo removible 222 puede ser un anillo continuo de una sola pieza. En este ejemplo, los elementos de restricción diametral 114A se forman, por ejemplo, por medio de la soldadura de veintiséis (26), cadenas de aleación de grado 100 de 14 pulgadas (35,6 cm) de largo y de media pulgada (1,3 cm) al anillo removible 222. En otro ejemplo, el anillo removible 222 puede consistir en dos medios anillos que se colocan juntos dentro del tubo 216. En este ejemplo, los elementos de restricción diametral 114A se forman, por ejemplo, por medio de la soldadura de trece (13), cadenas de aleación de grado 100 de 14 pulgadas (35,6 cm) de largo y media pulgada (1,3 cm) a cada mitad del anillo removible 222.

En un ejemplo, los elementos de restricción diametral 114B unidos a la red del eje de impulso 210 se forman por medio de la soldadura de cinco (5) cadenas de aleación de grado 100 de 14 pulgadas (35,6 cm) de largo y media pulgada (1,3 cm) a la red de la viga en I o viga en H que forma el eje de impulso 210. Cuando el mandril se introduce en los áridos, las cadenas se amontonan, lo que restringe sustancialmente el flujo de áridos hacia arriba y permite que el mandril compacte los áridos. Cuando se extrae el mandril, las cadenas caen, lo que permite que los áridos fluyan hacia abajo en relación con el mandril.

Con referencia ahora a la Figura 8A, se ilustra una vista lateral de un aparato de compactación de suelo 300 que comprende los elementos de restricción diametral 114, de acuerdo con otra modalidad. La Figura 8B y la Figura 8C ilustran una vista desde arriba y una vista desde abajo, respectivamente, del aparato de compactación de suelo 300 de la

Figura 8A. En este ejemplo, el aparato de compactación de suelo 300 puede comprender un tubo 310. El extremo inferior del tubo 310 se puede cerrar por medio del uso de una placa o tapa 312, lo que convierte de esta forma el tubo 310 en un tubo de extremo cerrado. El extremo superior del tubo 310 normalmente tiene una brida 314 para que se conecte a la punta del eje de impulso 110. En un ejemplo, el tubo 310 tiene aproximadamente 40 pulgadas (101,6 cm) de largo y tiene un diámetro exterior de aproximadamente 10 pulgadas (25,4 cm), un diámetro interno de aproximadamente 8 pulgadas (20,3 cm) y, por lo tanto, un grosor de pared de aproximadamente 1 pulgada (2,5 cm). El tubo 310, la placa o tapa 312 y la brida 314 se pueden unir, por ejemplo, por medio de soldadura.

El extremo inferior del tubo de extremo cerrado 310 se ajusta en un extremo de una cámara de compactación 318. En un ejemplo, la cámara de compactación 318 es un tubo que tiene una longitud L1 de aproximadamente 40 pulgadas (101,6 cm), un DE de aproximadamente 33,5 pulgadas (85,1 cm), un DI de aproximadamente 31,5 pulgadas (80 cm) y, por lo tanto, un grosor de pared de aproximadamente 1 pulgada (2,5 cm). En un ejemplo, el tubo 310 se instala en la cámara de compactación 318 a una distancia de aproximadamente 21 pulgadas (53,3 cm).

El tubo 310 puede estar soportado dentro de la cámara de compactación 318, por ejemplo, por cuatro puntales o placas 320 dispuestos radialmente alrededor del tubo 310 (por ejemplo, uno a las 12 en punto, uno a las 3 en punto, uno a las 6 en punto, y uno a las 9 en punto). En un ejemplo, los puntales o placas 320 tienen un grosor de aproximadamente 1 pulgada (2,5 cm). Los puntales o placas 320 generalmente se extienden dentro de la cámara de compactación 318 una distancia d1, o por ejemplo, alrededor de 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 18 o placas 320 normalmente están en escuadra. Alternativamente, los puntales o placas 320 se pueden cuadrar en la parte superior de forma similar al extremo inferior. La placa o tapa 312 al extremo del tubo 310 se puede extender ligeramente por debajo del extremo inferior de los puntales o placas 320. El tubo 310, la cámara de compactación 318 y los puntales o placas 320 se pueden unir entre sí, por ejemplo, por medio de soldadura.

Además, se puede proporcionar un anillo 322 dentro de la cámara de compactación 318 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 DE de aproximadamente 31,5 pulgadas (80 cm), un DI de aproximadamente 29,5 pulgadas (74,9 cm) y, por tanto, un grosor de pared de aproximadamente 1 pulgada (2,5 cm). El anillo 322 se puede sujetar dentro de la cámara de compactación 318, por ejemplo, por medio de soldadura o pernos.

Como se muestra en la Figura 8C, los elementos de restricción diametral 114 se pueden unir y colgar desde 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 de restricción diametral 114 se pueden fabricar a partir de cadenas, cables o cables metálicos individuales, o un entramado de cadenas, cables o cables metálicos conectados vertical y horizontalmente. En un ejemplo específico, los elementos de restricción diametral 114 son cadenas de aleación de grado 100 de 19 pulgadas (48,3 cm) de largo, 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 Figura 9A, se ilustra una vista lateral de un aparato de compactación de suelo 400 que comprende los elementos de restricción diametral 114, de acuerdo con otra modalidad. La Figura 9B y la Figura 9C ilustran una vista desde arriba y una vista desde abajo, respectivamente, del aparato de compactación de suelo 400 de la Figura 9A.

En este ejemplo, el aparato de compactación de suelo 400 normalmente comprende un tubo de impulso 410. El extremo inferior del tubo de impulso 410 se puede cerrar por medio del uso de una placa o tapa 412, lo que convierte de esta forma al tubo de impulso 410 en un tubo de extremo cerrado. El extremo superior del tubo de impulso 410 normalmente tiene una brida 414 para que se conecte a la punta del eje de impulso 110. En un ejemplo, el tubo de impulso 410 tiene aproximadamente 40 pulgadas (101,6 cm) de largo y tiene un DE de aproximadamente 7 pulgadas (17,8 cm), un DI de aproximadamente 5 pulgadas (12,7 cm) y, por lo tanto, un grosor de pared de aproximadamente 1 pulgada (2,5 cm). El tubo de impulso 410, la placa o tapa 412 y la brida 414 se pueden unir, por ejemplo, por medio de soldadura.

El extremo inferior del tubo de impulso de extremo cerrado 410 se ajusta en un extremo de una cámara de compactación 418. En un ejemplo, la cámara de compactación 418 es un tubo que tiene una longitud L1 de aproximadamente 40 pulgadas (101,6 cm), un DE de aproximadamente 27 pulgadas (68,6 cm), un DI de aproximadamente 25 pulgadas (63,5 cm), y por tanto un grosor de pared de aproximadamente 1 pulgada (2,5 cm). En un ejemplo, el tubo de impulso 410 se extiende hacia el interior de la cámara de compactación 418 una distancia de aproximadamente 26 pulgadas (66,0 cm).

El tubo de impulso 410 puede estar soportado dentro de la cámara de compactación 418, por ejemplo, por tres puntales o placas 420 dispuestas radialmente alrededor del tubo de impulso 410 (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 un grosor de aproximadamente 1 pulgada (2,5 cm). Los puntales o placas 420 se pueden extender dentro de la cámara de compactación 418 una distancia d1, o por ejemplo, aproximadamente 24 pulgadas (61 cm). El extremo superior de los puntales o placas 420 se puede cuadrar aproximadamente en el borde superior del tubo de impulso 410 como se muestra. El extremo inferior de los puntales o placas 420 también se puede cuadrar. La placa o tapa 412 en el extremo del tubo de

impulso 410 se puede extender ligeramente por debajo del extremo inferior de los puntales o placas 420. El tubo de impulso 410, la cámara de compactación 418 y los puntales o placas 420 se pueden unir entre sí, por ejemplo, por medio de soldadura.

Además, se puede proporcionar un anillo 422 dentro de la cámara de compactación 418 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 DE de aproximadamente 25 pulgadas (63,5 cm), un DI de aproximadamente 23 pulgadas (58,4 cm) y, por tanto, un grosor de pared de aproximadamente 1 pulgada (2,5 cm). El anillo 422 se puede sujetar dentro de la cámara de compactación 418, por ejemplo, por medio de soldadura o pernos.

Los elementos de restricción diametral 114 normalmente se unen y cuelgan de la superficie inferior del anillo 422, alrededor del perímetro de la placa o tapa 412 y de la parte inferior de los puntales 420. Los elementos de restricción diametral 114 se pueden fabricar a partir de cadenas, cables o cables metálicos individuales, o un entramado de cadenas, cables o cables metálicos 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 y de media pulgada (1,3 cm) soldadas al anillo 422 y catorce (14) cadenas de aleación de grado 100 de 20 pulgadas (50,8 cm) de largo y de media pulgada (1,3 cm) de largo soldadas a la placa o tapa 412.

Modalidad de anillo exterior con elementos exteriores e interiores

Con referencia ahora a la Figura 12A y la Figura 12B, se ilustran vistas laterales de las posiciones elevada y baja, respectivamente, de otro ejemplo del aparato de compactación de suelo 100 que comprende otra disposición de elementos de restricción/expansión diametral interior y exterior 114I y 114E, respectivamente. El aparato de compactación de suelo 100 que se muestra en la Figura 12A y la Figura 12B es sustancialmente el mismo que el aparato de compactación de suelo 100 que se muestra en la Figura 3A y la Figura 3B, excepto que los elementos de expansión diametral exterior 114E no están conectados a los elementos de restricción diametral interior 114I. En este ejemplo, los elementos de expansión diametral exterior están fijados mecánicamente a la placa de transferencia de carga 126 que se extiende más allá del diámetro de la cámara de compactación 124 y que está unida a un anillo circunferencial flotante exterior 140 que es libre de moverse en dirección vertical, hacia arriba y hacia abajo, pero está restringido en dirección lateral, de lado a lado.

En el aparato de compactación de suelo 100 que se muestra en la Figura 12A y la Figura 12B, cuando el aparato de compactación de suelo 100 se eleva, los materiales granulares que están localizados por encima de la parte superior de la cámara de compactación 124 pueden fluir alrededor del exterior de los elementos de expansión diametral exterior 114E y/o a través o exterior del eje de impulso 110 y dentro del pasaje de

flujo continuo 122 para entrar a la cámara de compactación 124 desde arriba. La capacidad de los materiales granulares para fluir a través del pasaje de flujo continuo 122 permite que el aparato de compactación de suelo 100 se eleve hacia arriba con menos fuerza de extracción y por lo tanto con mayor eficiencia (en oposición a una parte superior generalmente “cerrada” de la cámara de compactación como se observa en la técnica anterior). Después de que el aparato de compactación de suelos 100 se eleva, se vuelve a impulsar hacia abajo. La acción descendente permite que el anillo flotante exterior 140 se desplace hacia arriba por el exterior de la cámara de compactación 124 y, además, permite que los elementos de expansión diametral se expandan hacia el exterior lo cual aumenta el diámetro de compactación por debajo de la parte inferior del aparato 100.

El aparato de compactación 100 descrito en la Figura 12A y la Figura 12B se ilustra adicionalmente en la Figura 13A y la Figura 13B. La posición elevada del aparato 100 se ilustra en la Figura 13A. El aumento del diámetro de compactación logrado por el aparato 100 en la posición baja se muestra en la Figura 13B. En este ejemplo, hay veinte (20) cadenas de aleación grado 100 de 18 pulgadas (45,7cm) de largo y media pulgada (1,3cm) soldadas aproximadamente 4 pulgadas (10,2cm) por debajo de la parte superior de la cámara de compactación 124 y conectadas por el anillo flotante exterior 140 que cuelga aproximadamente 2 pulgadas (5,1cm) por encima del fondo del aparato de compactación de suelo 100. En este ejemplo, el aparato de compactación de suelo tiene un diámetro exterior en la posición elevada Di1 de 15 pulgadas (38,1cm) y un diámetro exterior en la posición baja Di2 de aproximadamente 20 pulgadas (50,8cm).

Sólo modalidad exterior

Ahora, en referencia a la Figura 14A y la Figura 14B, se ilustran vistas laterales de las posiciones elevada y baja, respectivamente, de otro ejemplo del aparato de compactación de suelo 100 de la presente memoria descriptiva, que comprende otra disposición de elementos de expansión diametral exterior 114E. El aparato de compactación de suelo 100 que se muestra en la Figura 14A y la Figura 14B puede ser sustancialmente el mismo que el aparato de compactación de suelo 100 que se muestra en la Figura 12A y la Figura 12B, excepto que el mandril está diseñado de tal manera que solo los elementos de expansión diametral exterior 114E están presentes y están fijados mecánicamente al eje de impulso 110 de una manera diferente, tal como la fijación en un punto de muesca N. El punto de entalla N puede consistir en una muesca que se forma entre diferentes grosores de pared en el eje de impulso, por ejemplo un primer grosor de pared formado en una parte superior del eje de impulso 110 para formar un primer diámetro Di1 y un segundo grosor de pared formado en una parte inferior del eje de impulso 110 para formar un segundo diámetro Di2. Un anillo circunferencial flotante exterior 140 similar puede ser utilizado en el extremo

terminal de los elementos de expansión diametral exterior 114E y es libre de moverse en dirección vertical, hacia arriba y hacia abajo, pero está restringido en dirección lateral, de lado a lado. La Figura 14A y la Figura 14B muestran el uso con un tubo de alimentación que tiene un paso de flujo interno 122, mientras que la Figura 15A y la Figura 15B muestran el uso con un eje de impulso de extremo cerrado pero con una disposición similar de los elementos de expansión diametral exterior 114E.

Modalidad mejorada con aire

Ahora, en referencia a la Figura 16A y la Figura 16B, se ilustra una vista lateral y una vista en planta, respectivamente, de otro ejemplo del aparato de compactación de suelos 100 de la presente memoria descriptiva, que comprende al menos un tubo de inyección de aire interior 150 con al menos un puerto de inyección 152 utilizado para suministrar la presión positiva de aire requerida para aumentar el flujo interior de áridos por el(los) pasaje(s) 122. En este ejemplo, los tubos de inyección de aire 150 y 152 se utilizan para suministrar la presión positiva de aire requerida para aumentar el flujo interior de áridos por el(los) pasaje(s) de flujo continuo 122.

En este ejemplo, los tubos de inyección de aire 150 están fijados a las bridas interiores del eje de impulso 110 con múltiples puertos de descarga 152 localizados por encima de la cámara de compactación 124. Los puertos de inyección de aire 152 pueden estar dirigidos hacia el centro del eje de impulso 110 o hacia abajo a lo largo del eje de impulso 110 para contener el flujo de presión de aire dentro del interior del eje de impulso 110. El suministro de presión de aire positivo enfocado hacia el interior del eje impulsor 110 es útil para facilitar el flujo de áridos hacia abajo a través del (los) pasaje(s) de flujo continuo 122 para entrar a la cámara de compactación 124 desde arriba al reducir cualquier puenteo de áridos que pueda ocurrir entre las bridas interiores del eje impulsor 110 y las paredes laterales de la cavidad de suelo formada previamente o desplazada. En un ejemplo, el tubo de inyección de aire 150 tiene un diámetro nominal de 0,75 pulgadas (1,9 cm) con múltiples puertos de inyección de aire 152 de aproximadamente 0,125 pulgadas (3,1 mm) de diámetro localizados a más de 1 pulgada (2,54 cm) por encima de la cámara de compactación 124 y espaciados aproximadamente 3 pies (0,9 m) de centro a centro a lo largo de la longitud del eje de impulso 110.

Una modalidad adicional del aparato de compactación de suelo 100 se ilustra en una vista lateral y una vista en planta en la Figura 17A y la Figura 17B, respectivamente. El aparato de compactación de suelo 100 que se muestra en la Figura 17A y la Figura 17B es sustancialmente el mismo que el aparato de compactación de suelo 100 que se muestra en la Figura 16A y la Figura 16B, excepto que los tubos de inyección de aire 150 están

localizados en la brida exterior del eje de impulso 110 y los puertos de inyección 152 están dirigidos hacia afuera del eje de impulso 110 para incrementar el flujo de áridos exterior.

En este ejemplo, los cuatro tubos de inyección de aire 150 están fijados al exterior de las bridas del eje de impulso con múltiples puertos de descarga 152 localizados por encima de la cámara de compactación 124 y dirigidos hacia el exterior, hacia el suelo de campo libre. El suministro de presión de aire positiva enfocada hacia el exterior del eje de impulso 110 es útil para inducir el asentamiento de los suelos de campo libre granulares en la cavidad creada al introducir el aparato de compactación de suelos 100 en el suelo. Cuando el aparato de compactación de suelos 100 se eleva, los materiales granulares asentados pueden fluir alrededor del exterior de la cámara de compactación o entre las bridas del eje de impulso 110 y hacia el paso de flujo continuo 122 para entrar en la cámara de compactación 124 desde arriba. Cuando el aparato de compactación de suelos 100 se vuelve a impulsar hacia abajo, los suelos de campo libre granulares asentados se pueden compactar en su lugar por debajo de la parte inferior del aparato 100. La capacidad de los materiales granulares de campo libre exteriores para fluir en la cámara de compactación 124 aumenta el volumen de áridos que puede ser compactado por debajo del suelo.

Después de haber descrito, en general, la invención, varias modalidades se describen muy específicamente por medio de ilustración en los siguientes EJEMPLOS específicos, que describen adicionalmente diferentes modalidades del aparato de compactación de suelo.

EJEMPLO I

En un ejemplo, se demostró en pruebas de campo a gran escala un método para compactar áridos por medio del uso de una modalidad del objeto descrito en el presente documento en una cavidad perforada previamente. El mandril de compactación constaba de un eje de impulso 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 de compactación de suelo 200 que se muestra en las Figuras 6, 7A y 7B.

Se instalaron pilares de prueba con un diámetro de 20 pulgadas (50,8 cm) a una profundidad de 30 pies (9,1 m). Los pilares se construyeron al perforar una cavidad cilíndrica a la profundidad especificada. Después de perforar, se vertieron áridos de piedra en la cavidad hasta que hubo una elevación de aproximadamente 3 pies de grosor de piedra sin compactar en el fondo de la cavidad. Luego se bajó el mandril dentro de la cavidad hasta que alcanzó la parte superior de la piedra. Se puso en marcha el martillo y se introdujo el mandril en la piedra hasta que los elementos de restricción diametral del fondo se acoplaron. A continuación, el mandril se clavó 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 capa inferior de piedra, se vertieron áridos adicionales en la cavidad hasta que los áridos estuvieron aproximadamente a 10 pies (3,0 m) por encima del cabezal de compactación. Luego, el mandril se elevó 6 pies (1,8 m), lo que provocó que los elementos de restricción diametral se desplegaran y permitieran que los áridos pasaran a través del cabezal de compactación (a través de los pasajes de flujo continuo). Luego, el mandril se hundió en los áridos 0,9 m (3 pies), lo que provocó que los elementos de restricción diametral aglutinaran y compactaran los áridos entre la elevación inicial y el cabezal de compactación y empujaran los áridos lateralmente hacia la piedra circundante. Posteriormente, el mandril se elevó 6 pies (1,8 m) y se bajó 3 pies (0,9 m), compactando cada elevación de áridos 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 del cabezal de compactación durante la construcción del pilar.

Se realizaron pruebas de módulo en dos de los pilares construidos, uno para un pilar construido a una profundidad de 30 pies (9,1 m) por medio del uso de piedra triturada limpia y otro a una profundidad de 30 pies (9,1 m) con el fondo 10 pies (3,0 m) de áridos compactados consistente en piedra triturada limpia y los 20 pies (6,1 m) superiores de áridos compactados consistentes en arena de concreto. Los resultados que se muestran en el gráfico 1000 de la Figura 10 indican que los pilares construidos confirmaron el diseño y fueron suficientes para soportar la estructura.

En este sitio se instalaron más de 5.000 pilares con la técnica descrita anteriormente. Los métodos de reemplazo tradicionales, tales como los descritos en las patentes US No. 5.249.892 y 6.354.766, no eran factibles en este sitio porque las cavidades perforadas eran inestables por debajo de los 10 pies (3,0 m) de profundidad. El método de instalación descrito en el presente documento permitió que el cabezal de piedra sobre la cámara de compactación cubriera temporalmente los suelos asentados durante la construcción del pilar. La ventaja de poder dejar el mandril en la cavidad a medida que se agregaban áridos permitió una velocidad de instalación promedio de aproximadamente 145 pies (44,2 m) de pilar por hora, una velocidad estimada en aproximadamente un 30 por ciento más rápida de lo que normalmente se observa para métodos de reemplazo tradicionales. Además, la presente invención fue ventajosa sobre el método de desplazamiento descrito en la patente US No. 7.226.246 porque permitió desarrollar mayores capacidades en los suelos cohesivos superiores en relación con los métodos de desplazamiento.

EJEMPLO II

En otro ejemplo de una modalidad del tema descrito en el presente documento, un método para compactar áridos en una cavidad perforada previamente con un mandril que tiene una cámara de compactación de flujo continuo de 28 pulgadas (71,1 cm) de diámetro

similar a las Figuras 8A-8C se demostró en pruebas de campo a gran escala. Se construyó un pilar de prueba de módulo para verificar el desempeño del método de construcción.

La cavidad para el pilar de prueba se perforó a una profundidad de 12 pies (3,7 m). Después de perforar, el mandril se introdujo en la cavidad hasta que la cámara de compactación llegó al fondo. Se vertieron áridos de piedra limpia en la cavidad hasta que hubo suficiente piedra sin compactar para crear una elevación compactada de 2 pies (0,6 m) de grosor. El mandril se elevó 3 pies (0,9 m) y se bajó 3 pies (0,9 m) para clavar la piedra en el suelo subyacente. Luego se retiró el mandril y se colocó un conjunto testigo en la cavidad, encima de la elevación compactada inicial.

El mandril se volvió a bajar a la cavidad y se vertieron áridos de piedra triturada en la cavidad hasta que alcanzó la superficie del suelo. El mandril se elevó 3 pies (0,9 m), lo que permitió que los áridos pasaran a través del cabezal de compactación (a través del pasaje de flujo continuo), y luego se introdujo en los áridos 1,5 pies (0,5 m), lo que provocó que los elementos de restricción diametral aglutinaran y compactaran los áridos y empujaran los áridos lateralmente hacia el suelo circundante. Posteriormente, 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 la construcción del pilar.

Los resultados de la prueba del módulo se muestran en el gráfico 1100 de la Figura 11. La prueba se llevó a cabo por medio del uso de una configuración y una secuencia de prueba utilizadas para una “prueba de carga de pila rápida” descrita en la norma ASTM D1493. Los resultados de la prueba muestran un gráfico de la tensión aplicada en la parte superior del pilar en el eje x y la deflexión en la parte superior del pilar en el eje y. Los resultados indican que los pilares construidos confirmaron el diseño y fueron suficientes para soportar la estructura.

Se instalaron varios cientos de pilares 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 permitió un tiempo de instalación más rápido de lo que normalmente se observa con los métodos de reemplazo tradicionales. Además, la presente invención fue ventajosa sobre el método de desplazamiento descrito en la patente US No. 7.226.246 porque permitió desarrollar mayores capacidades en los suelos cohesivos superiores en relación con los métodos de desplazamiento.

EJEMPLO III

En otro ejemplo de una modalidad de la materia divulgada en el presente documento, un método de compactación de agregados en el suelo con un mandril que tiene una cámara de compactación de flujo continuo de 15 pulgadas (38,1 cm) de diámetro exterior similar a las Figuras 12 A - 13B se demostró en pruebas a escala real.

El mandril se introdujo en el suelo granular hasta una profundidad de aproximadamente 10 pies (3,0 m). Durante el impulso inicial del mandril, se observó que las cadenas de expansión diametral exterior se “agrupaban” hacia arriba y hacia afuera para formar un área de compactación ensanchada como la que se muestra en la Figura 13B. El diámetro de la cavidad creada por el desplazamiento vertical del mandril y el área de compactación ensanchada se midió en aproximadamente 20 pulgadas (50,8cm). Con el mandril en el fondo de la cavidad, se vertieron áridos limpios en la cavidad hasta llegar a la superficie del suelo. El mandril se elevó 3 pies (0,9 m) para permitir que el árido pasara a través de la cámara de compactación (a través del paso de flujo continuo) y a través del espacio anular entre el diámetro exterior del mandril en la posición elevada y la cavidad ampliada creada por el mandril durante el impulso inicial. A continuación, el mandril se impulsó 2 pies (0,6 m) lo que provocó que los elementos de expansión/restricción diametral aglutinaran y compactaran el árido en la zona ensanchada bajo el mandril. Se continuó con la carrera ascendente/descendente de 3 pies/2 pies hasta llegar a la superficie del suelo. El nivel de árido limpio se mantuvo por encima de la cámara de compactación durante toda la construcción del pilar.

La ventaja de la mayor área de compactación creada por los elementos de expansión diametral exterior (cadenas) permitió un flujo de árido más eficiente al crear una cavidad ampliada en la que el material podía fluir alrededor del diámetro exterior del mandril mientras se elevaba. Esta técnica también aumenta la capacidad de utilizar áridos más finos para el material de relleno en los casos en los que no disponer de suficiente área de flujo continuo era un factor limitante.

EJEMPLO IV

En otro ejemplo de una modalidad de la materia divulgada en el presente documento, un método de compactación de áridos en el suelo con un mandril que tiene una cámara de compactación de flujo continuo de 12 pulgadas (30,5 cm) de diámetro con tubos de inyección de aire exterior para aumentar el flujo de áridos similar a las Figuras 17A y 17B se demostró en pruebas a escala real.

Se instalaron varios pilares de prueba con una máquina base Liebherr 125 equipada con un compresor de aire con un caudal de aire nominal de 185 pies cúbicos por minuto. Una manguera de aire salía del compresor y se conectaba a un acople de aire montado en la parte superior del mandril. El acople de aire desembocaba en un divisor que unía dos tubos de inyección de aire de acero de 1 pulgada (2,5 cm) de diámetro nominal que bajaban por el exterior de las bridas opuestas del eje de impulso de la viga en I. Aproximadamente a 3 pies por encima de la cámara de compactación, los tubos de aire se dividieron de nuevo por segunda vez en dos tubos de 0,75 pulgadas (1,9 cm) de diámetro nominal que bajaban

por los bordes exteriores de las bridas del eje de impulso, formando un total de cuatro tubos de inyección de aire por encima de la cámara de compactación. A lo largo de cada uno de los cuatro tubos de inyección de aire había tres puertos de inyección de 0,125 pulgadas (3,1 mm) de diámetro espaciados 1 pie de centro a centro para un total de doce puertos de inyección. Los puertos de inyección estaban orientados en paralelo a la brida para dirigir la presión del aire hacia el exterior y cortar el suelo circundante.

Los pilares de prueba se construyeron al introducir el mandril suministrado con presión de aire positiva en el perfil de arena limpia suelta hasta una profundidad de aproximadamente 20 pies (6,1 m). Se añadió relleno de áridos limpios a la cavidad hasta alcanzar la superficie del suelo. El mandril se elevó 4 pies (1,2 m) para permitir que el relleno de áridos, además, de cualquier arena asentada del suelo circundante (inducida por la presión de aire exterior) pasaran a través de la cámara de compactación (a través del paso de flujo continuo). A continuación, el mandril se desplazó 3 pies (0,9 m), lo que provocó que los elementos de restricción diametral aglutinaran y compactaran el árido situado bajo el mandril. Se continuó con la carrera ascendente/descendente de 4 pies/3 pies hasta alcanzar la superficie del suelo. El nivel de árido limpio se mantuvo por encima de la cámara de compactación durante toda la construcción del pilar. El compresor de aire estuvo encendido y suministrando presión de aire positiva al mandril durante todo el proceso de construcción.

En este ejemplo, se realizaron pruebas de penetración de cono para medir la densidad del suelo a través de los centros de dos pilares de prueba, donde uno de los pilares de prueba fue construido con un patrón de carrera ascendente/descendente de 4 pies/3 pies y la técnica de inyección de aire descrita anteriormente y el otro se construyó con un patrón de carrera ascendente/descendente de 4 pies/3 pies sin el uso de aire. Las pruebas de penetración de cono se realizaron al avanzar verticalmente una varilla de acero de 1,25 pulgadas (3,2 cm) de diámetro fijada con una punta de cono ligeramente más grande de 1,45 pulgadas (3,7) cm de diámetro a través del centro del pilar de áridos a una velocidad de aproximadamente 2 pulgadas por segundo mientras se medía simultáneamente la resistencia a la penetración con la profundidad por medio del uso de una célula de carga externa. La resistencia a la penetración fue medida por una celda de carga externa con una tasa de muestreo de 2 muestras por segundo, o equivalentemente, 1 muestra por pulgada de profundidad de penetración.

La FIG. 18 muestra un gráfico de la resistencia a la penetración del cono medida en toneladas por pie cuadrado (tsf) versus la profundidad bajo la superficie del suelo en pies tanto para el pilar construido por medio del uso de inyección de aire como para el pilar construido sin usar inyección de aire. La FIG. 18 muestra que la resistencia a la penetración del cono para el pilar construido utilizando la técnica de inyección de aire fue mayor que la del pilar construido sin inyección de aire en aproximadamente 25-50 tsf en los 10 pies

superiores y 50-75 tsf de 10 a 20 pies. El aumento de la resistencia a la penetración del cono indica un pilar de mayor rigidez que se asocia a una mayor dosificación de áridos durante la instalación. La ventaja de inyectar aire a presión durante la construcción dio como resultado un mejor flujo de áridos que, en última instancia, aumentó la rigidez del pilar construido para el mismo esfuerzo de compactación.

Según la convención del derecho de patentes, los términos “un”, “una” y “el” se refieren a “uno o más” cuando se utilizan en esta solicitud, incluidas las reivindicaciones. Así, por ejemplo, la referencia a “un sujeto” incluye una pluralidad de sujetos, a menos que el contexto indique claramente lo contrario (por ejemplo, una pluralidad de sujetos), y así sucesivamente.

A lo largo de esta especificación y las reivindicaciones, los términos “comprende”, “comprenden” y “que comprende” se utilizan en un sentido no exclusivo, excepto cuando el contexto requiera lo contrario. Del mismo modo, el término “incluir” y sus variantes gramaticales pretenden ser no limitativos, de modo que la recitación de elementos en una lista no excluya otros elementos similares que se puedan sustituir o agregar a los elementos enumerados.

Para los propósitos de esta especificación y reivindicaciones adjuntas, a menos que se indique lo contrario, todos los números que expresen cantidades, tamaños, dimensiones, proporciones, formas, formulaciones, parámetros, porcentajes, cantidades, características y otros valores numéricos utilizados en la especificación y reivindicaciones, se entenderán modificados en todo caso por el término “aproximadamente” aunque no aparezca expresamente el término “aproximadamente” con el valor, monto o rango. En consecuencia, a menos que se indique lo contrario, los parámetros numéricos establecidos en la siguiente especificación y las reivindicaciones adjuntas no son ni necesitan ser exactos, pero pueden ser aproximados y/o mayores o menores 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 pretenden obtener por medio del objeto de la presente memoria descriptiva. Por ejemplo, el término “aproximadamente”, cuando se refiere a un valor, puede significar que abarca variaciones de, en algunas modalidades, $\pm 100\%$, en algunas modalidades, $\pm 50\%$, en algunas modalidades, $\pm 20\%$, en algunas modalidades, $\pm 10\%$, en algunas modalidades $\pm 5\%$, en algunas modalidades 1% , en algunas modalidades $\pm 0,5\%$ y en algunas modalidades $\pm 0,1\%$ de la cantidad especificada, ya que tales variaciones son apropiadas para realizar los métodos divulgados o emplear las composiciones divulgadas.

Además, el término “aproximadamente” cuando se utiliza en relación con uno o más números o rangos numéricos, se debe entender que se refiere a todos esos números, incluidos todos los números en un rango y modifica ese rango al extender los límites por

encima y por debajo de los valores numéricos expuestos. La recitación de rangos numéricos por puntos finales incluye todos los números, por ejemplo, números enteros, incluidas sus fracciones, incluidos dentro de ese rango (por ejemplo, la recitación de 1 a 5 incluye 1, 2, 3, 4 y 5, así como fracciones del mismo, por ejemplo, 1,5, 2,25, 3,75, 4,1 y similares) y cualquier rango dentro de ese rango.

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