

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 669 430**

51 Int. Cl.:

E02D 3/12 (2006.01)

E02D 3/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.11.2013** **PCT/US2013/068532**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.05.2014** **WO14071382**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.11.2013** **E 13852176 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.04.2018** **EP 2929093**

54 Título: **Sistema y método de densificación del suelo**

30 Prioridad:

05.11.2012 US 201261722269 P

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

25.05.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

GREEN, RUSSELL A.;
WISSMANN, KORD J. y
VERDIN, JOHN

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 669 430 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

Sistema y método de densificación del suelo

5 Referencia cruzada a la solicitud relacionada

Esta solicitud de patente está relacionada con y reivindica prioridad a la Solicitud Provisional de Estados Unidos No. de serie 61/722,269, presentada el 5 de noviembre de 2012, cuya divulgación completa se incorpora específicamente como referencia aquí.

10 Campo técnico

El objeto divulgado actualmente se relaciona en general con métodos de estabilización de suelos y más particularmente con un sistema y método de densificación de suelos. En particular, la invención se dirige a mejorar la resistencia, la rigidez y la densidad del suelo desplazando el suelo con ráfagas de aire, donde las ráfagas de aire tienen una presión más alta que la presión atmosférica. Los vacíos creados que usan este método se pueden rellenar con el material nativo superpuesto que se colapsa en los vacíos o rellenando con medios fluidos tal como, por ejemplo, arena, grava, materiales reciclados, materiales de desecho, astillas de neumáticos, lechada u hormigón.

20 Antecedentes

Los edificios y otras estructuras ubicadas en áreas que contienen suelos granulares sueltos pueden estar sujetos a un asentamiento excesivo a medida que el suelo se densifica y sedimenta durante la carga estática o dinámica. La densificación del suelo por cargas dinámicas puede ser causada por maquinaria recíproca, aplicaciones de cargas dinámicas tal como cargas de viento, o por terremotos. Los terremotos ocurren como un resultado de la actividad tectónica. Cuando ocurren terremotos, sacuden el lecho de roca en las proximidades de la ruptura de la falla que resulta en tensiones de compresión y cizallamiento aplicadas a la columna de suelo sobre la roca.

Las ondas inducidas sísmicamente se propagan hacia arriba a través del perfil del suelo, que resulta a menudo en daño a las estructuras existentes. Este daño a veces puede ser causado por la licuefacción del suelo que resulta de la sacudida. La licuefacción es un fenómeno que ocurre en suelos saturados que implica la transferencia de la carga de sobrecarga efectiva de los granos del suelo al fluido de poro, con la reducción proporcional de la tensión efectiva y, por lo tanto, la reducción de la resistencia del suelo. El fluido de poros es el agua subterránea retenida dentro de un suelo o roca; es decir, en los huecos entre las partículas (es decir, en los poros). La presión del agua porosa se refiere a la presión del agua subterránea dentro de los poros del suelo o roca. En la licuefacción inducida por terremotos, esta transferencia se inicia en los suelos arenosos por el colapso del esqueleto del suelo debido a movimientos sísmicos. Después de la licuefacción, la sedimentación se produce a medida que se disipan las presiones del agua de poro. La licuefacción del suelo puede generar billones de dólares en daños estructurales y puede ocasionar la pérdida de vidas. Los ejemplos de los efectos devastadores de la licuefacción del suelo se pueden encontrar después de la destrucción de los recientes terremotos en Haití, Concepción en Chile y Christchurch en Nueva Zelanda.

Una forma de soportar estructuras para minimizar el daño de la densificación del suelo suelto durante la carga estática y dinámica es mediante el uso de elementos de cimentación profunda. Tales cimientos profundos se hacen típicamente de pilares conducidos o muelles de concreto instalados por perforación. Los cimientos profundos están diseñados para transferir cargas estructurales a través de suelos blandos y sueltos a estratos de suelo más competentes. Los cimientos profundos suelen ser relativamente costosos en comparación con otros métodos de construcción. Además, el diseño de elementos de cimentación profunda debe considerar los efectos nocivos de la licuefacción, como la reducción de la capacidad de soporte del suelo ahora licuado en respuesta a las cargas verticales y laterales aplicadas.

Más recientemente, el refuerzo del suelo con columnas de agregado se ha usado para soportar estructuras ubicadas en áreas que contienen tierra suelta y débil. Las columnas están diseñadas para reforzar y fortalecer las capas blandas y reducir los asentamientos. Tales pilares se construyen usando una variedad de métodos. Por ejemplo, los pilares que se construyen usando métodos de perforación y compactación se describen en la patente de Estados Unidos 5,249,892, titulada "Short Aggregate Piers and Method and Apparatus for Producing Same", emitida el 5 de octubre de 1993; y la Patente de Estados Unidos 6,354,766, titulada "Methods for Forming a Short Aggregate Pier and a Product Formed from said Methods", emitida el 12 de marzo de 2002. Los pilares que se construyen que usan métodos de mandril accionados se describen en la Patente de Estados Unidos 6,425,713, titulada "Lateral Displacement Pier, and Apparatus and Method of Forming the Same", emitida el 30 de julio de 2002. Los pilares que se construyen usando métodos de mandriles accionados por cabezal de compactación se describen en la Patente de Estados Unidos 7,226,246, titulada "Apparatus and Method for Building Support Piers from One or Successive Lifts Formed in a Soil Matrix", emitida el 5 de junio de 2007; y la Patente de Estados Unidos 7,326,004, titulada "Apparatus for Providing a Rammed Aggregate Pier", emitida el 5 de febrero de 2008. Cada uno de estos métodos requiere que el agregado, tal como la piedra caliza triturada, se importe al sitio y se coloque en la cavidad y generalmente solo es eficiente a profundidades de 40 pies (12.2 m).

Como alternativa a cimientos profundos y columnas agregadas, la arena suelta se puede excavar y luego la excavación se puede rellenar con material más competente. Este método es ventajoso porque se realiza con métodos convencionales de movimiento de tierras, pero tiene las desventajas de (1) ser costoso cuando se realiza en áreas urbanas; (2) puede requerir deshidratación o apuntalamiento costosos para estabilizar la excavación; y (3) a menudo es impracticable y no es sensible al medio ambiente.

Alternativamente, la arena suelta puede densificarse en el lugar. Una forma de realizar la densificación del suelo en el lugar es mediante el uso de una técnica conocida como "compactación dinámica profunda". La compactación dinámica profunda consiste en dejar caer un gran peso sobre la superficie del suelo con el fin de provocar una gran ola de compresión en el suelo, en la que la onda de compresión compacta el suelo (siempre que el suelo tenga una gradación suficiente como para ser tratable). Una variedad de formas de peso está disponible para lograr la compactación mediante este método, tal como las descritas en la Patente de Estados Unidos 6,505,998, titulada "Ground Treatment" emitida el 14 de enero de 2003. Si bien la compactación dinámica profunda puede ser económica para ciertos sitios, tiene la desventaja de que induce grandes olas en el suelo. Estas ondas pueden dañar las estructuras circundantes. La técnica también 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. La compactación dinámica profunda está limitada además por profundidades de tratamiento prácticas de 30 pies (9.1 m) o menos.

Otra forma más para realizar la densificación del suelo es mediante el uso de una técnica conocida como vibroflotación, en la que los vibradores se bajan al suelo. Si bien los métodos de vibroflotación son efectivos en el tratamiento de la licuefacción, los métodos de vibroflotación pueden ser lentos y requieren potentes vibradores mecánicos que consuman grandes cantidades de energía.

Otra forma más de realizar la densificación del suelo es mediante métodos explosivos (es decir, voladura explosiva usando TNT u otros explosivos químicos colocados dentro de perforaciones). La voladura explosiva causa que se generen ondas de choque en el suelo después de que se han detonado las cargas explosivas. Si bien la voladura explosiva se ha usado con éxito a grandes profundidades debajo de las presas y otras estructuras grandes, la voladura es peligrosa y requiere un gran cuidado en su ejecución.

Aún otro método reciente para proporcionar densificación de suelos incluye el método "Densipact®", tal como se describe en la Patente de Estados Unidos 8,328,470, titulada "Apparatus and Method for Ground Improvement", emitida el 11 de diciembre de 2012. En la patente '470, una herramienta que usa una pluralidad de púas que se extienden hacia abajo es arrastrada al suelo con el fin de desplazar el material molido hacia abajo y radialmente hacia afuera. La repetida retracción y conducción de los dientes puede lograr la densificación.

El documento US 5219247A divulga un método, aparato y producto para formar columnas de tierra consolidadas de lechada de cemento o mortero para usar, por ejemplo, en cimientos de edificios. El método consiste en inyectar la lechada de consolidación durante el ascenso de la herramienta de perforación desde el aire de suministro de tierra, al mismo tiempo, a la herramienta de percusión neumática usada para realizar la perforación preliminar.

La presente invención es una mejora de tales técnicas anteriores, y en particular, de compactación dinámica profunda y vibroflotación. La compactación dinámica profunda y la vibroflotación disminuyen el potencial de asentamiento estático y dinámico al densificar los depósitos de suelos granulares limpios. La compactación dinámica profunda generalmente solo es eficiente para mejorar la densidad relativa de depósitos de suelo de menos de 30 pies (9.1 m) de profundidad. La vibroflotación requiere la operación de un potente vibrador mecánico, un proceso que consume energía y es relativamente lento. La presente invención no está limitada por la profundidad y puede realizarse con un equipo relativamente pequeño y relativamente rápido.

Resumen

En una realización de la presente invención, se proporciona un aparato para densificación controlada de ráfagas de aire en una masa de suelo, donde el aparato incluye un tubo primario, uno o más puertos formados en el tubo primario, y un sistema de aire presurizado conectado al tubo primario, en el que el sistema de aire está configurado para proporcionar un impulso de aire presurizado en el uno o más puertos y en una masa de suelo.

El extremo inferior del tubo primario puede comprender uno del uno o más puertos y el uno o más puertos pueden comprender al menos uno de un extremo abierto del tubo y una válvula/boquilla operable entre una posición abierta y una posición cerrada. La válvula/boquilla puede comprender una boquilla de tipo bombilla que anida con el extremo abierto del tubo y es operable entre una posición abierta y una posición anidada cerrada.

El aparato puede comprender una cubierta que cubre el uno o más puertos y la cubierta puede comprender una tapa de sacrificio.

El sistema de aire presurizado puede comprender un volumen almacenado de aire comprimido conectado a una fuente de aire en el que el volumen almacenado de aire comprimido puede almacenarse en un tanque y sonda de almacenamiento de aire comprimido, en el que la fuente de aire puede comprender un compresor de aire, o en el que la fuente de aire puede configurarse para recargar el volumen almacenado de aire comprimido a una rata igual a un

volumen de descarga de aire que resulta del impulso de aire. El aparato puede comprender una válvula de control situada entre el volumen almacenado de aire comprimido y el uno o más puertos.

5 El uno o más puertos del aparato pueden comprender una pluralidad de puertos espaciados a lo largo de una longitud del tubo primario y el tubo primario puede comprender un sistema obturador para abrir o cerrar selectivamente la pluralidad de puertos espaciados a lo largo de la longitud del tubo primario.

10 El aparato puede comprender una pluralidad de tubos primarios y los tubos primarios pueden estar configurados para proporcionar impulsos de aire sustancialmente simultáneos o secuenciales.

10 El tubo primario puede configurarse para suministrar medios fluidos en un vacío en la masa de suelo que resulta del impulso de aire. Los medios fluidos pueden comprender uno o más de arena, grava, materiales reciclados, materiales de desecho, astillas de neumáticos, concreto o lechada.

15 El aparato puede comprender adicionalmente un tubo secundario para suministrar medios fluidos en un vacío en la masa de suelo que resulta del impulso de aire. El tubo primario puede ser interno y concéntrico con el tubo secundario en el que el desplazamiento entre el tubo primario y el tubo secundario es sustancialmente constante. El tubo secundario puede ser externo a y a lo largo del tubo primario. El tubo primario puede ser interno a y a lo largo del tubo secundario en el que el desplazamiento entre el tubo primario y el tubo secundario no es constante.

20 En otra realización de la presente invención, se proporciona un método de densificación controlada por ráfagas de aire en una masa de suelo, donde el método comprende proporcionar un aparato para densificación controlada de suelo por aire que incluye un tubo primario, uno o más puertos formados en el tubo primario, y un sistema de aire presurizado conectado al tubo primario, en el que el sistema de aire está configurado para proporcionar un impulso de aire presurizado en el uno o más puertos y en una masa de suelo. El método comprende además insertar una porción de extremo del tubo primario a la profundidad deseada del nivel de tratamiento del suelo en la masa del suelo, que libera un impulso de aire en uno o más puertos para formar un vacío rodeado por una zona de densificación, y que llena el vacío en la masa de suelo creada por el impulso de aire en uno o más puertos.

30 El uno o más puertos pueden comprender al menos uno de un extremo abierto del tubo y una válvula/boquilla operable entre una posición abierta y una cerrada en la que la válvula/boquilla se coloca en la posición cerrada después de la inserción del tubo primario en la masa del suelo y se coloca en la posición abierta tras liberar el impulso de aire.

35 El uno o más puertos pueden comprender una pluralidad de puertos espaciados a lo largo de una longitud del tubo primario y el tubo primario puede contener un sistema obturador para abrir o cerrar selectivamente la pluralidad de puertos espaciados a lo largo de una longitud del tubo primario, en la que el obturador se coloca en la posición cerrada después de la inserción del tubo primario en la masa del suelo y se coloca en la posición abierta al liberar el impulso de aire.

40 El vacío creado por el método puede llenarse con medios fluidos a través del tubo primario o a través de un tubo secundario. El vacío también puede llenarse con tierra suelta que se colapsa desde arriba de la zona de densificación para llenar el vacío.

45 El paso de liberar un impulso de aire puede repetirse más de una vez a una elevación dada.

50 El método puede comprender además elevar el tubo primario hasta una distancia determinada después de llenar el vacío, proporcionar un impulso de aire posterior, y llenar un vacío resultante creado por el impulso de aire posterior. Los pasos de elevar el tubo primario hasta la distancia determinada después de llenar el vacío, proporcionar el impulso de aire posterior y llenar el vacío resultante creado por el impulso de aire posterior se pueden repetir hasta que se complete la profundidad de tratamiento requerida.

El método puede comprender tratar una sola columna de material o tratar múltiples columnas de material.

55 El método puede comprender además la inserción de desagües verticales prefabricados en la masa del suelo para facilitar la salida rápida del agua de la masa del suelo.

Breve descripción de los dibujos

60 Habiendo descrito de este modo el objeto divulgado 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 diagramas esquemáticos de ejemplos de sistemas de densificación del suelo para la densificación controlada del suelo por aire;

65 La FIG. 2A, la FIG. 2B, y la FIG. 2C muestran un proceso de uso del sistema de densificación de suelo para densificar una masa de suelo;

La FIG. 3 ilustra un diagrama esquemático de un ejemplo de un sistema de densificación de suelo que incluye un colector para suministrar aire comprimido a una pluralidad de sondas de suministro de aire al mismo tiempo o a intervalos escalonados o secuenciales;

La FIG. 4A y la FIG. 4B ilustran vistas laterales de la sonda de suministro de aire del sistema de densificación de suelo y un ejemplo de una boquilla de tipo bombilla para controlar la salida de la misma;

La FIG. 5A y la FIG. 5B ilustran vistas laterales de la sonda de suministro de aire del sistema de densificación de suelo y un ejemplo de un mecanismo de obturación para controlar múltiples salidas de las mismas;

La FIG. 6 ilustra una vista lateral de un ejemplo de la sonda de suministro de aire del sistema de densificación de suelo que incluye múltiples salidas dispuestas a lo largo de su longitud;

La FIG. 7A y FIG. 7B ilustran vistas laterales de un ejemplo de la sonda de suministro de aire del sistema de densificación del suelo que incluye una trayectoria de flujo secundario en la forma de un tubo dispuesto fuera de y concéntricamente con respecto a la propia sonda de suministro de aire;

La FIG. 8. ilustra una vista lateral de un ejemplo de la sonda de suministro de aire del sistema de densificación del suelo que incluye una trayectoria de flujo secundario en la forma de un tubo dispuesto a lo largo y fuera de la propia sonda de suministro de aire;

La FIG. 9 ilustra una vista lateral de un ejemplo de la sonda de suministro de aire del sistema de densificación de suelo que incluye una trayectoria de flujo secundario en la forma de un tubo dispuesta a lo largo y dentro de la propia sonda de suministro de aire;

La FIG. 10A y FIG. 10B ilustran un diagrama de flujo de un ejemplo de un método para usar el sistema de densificación de suelo actualmente divulgado para densificar una masa de suelo que usa impulsos de aire;

La FIG. 11A a la FIG. 11H ilustran un proceso de densificación de una masa de suelo que usa el método mostrado en la FIG. 10A y la FIG. 10B;

La FIG. 12 ilustra una vista lateral de una configuración de ejemplo del sistema de densificación del suelo que usa un mástil para soportar la sonda de suministro de aire y para guiar su instalación en la masa del suelo; y

La FIG. 13 ilustra una vista lateral de una configuración de ejemplo del sistema de densificación de suelo en uso con un sistema de drenaje vertical prefabricado.

Descripción detallada

El objeto divulgado actualmente se describirá ahora más detalladamente de aquí en adelante con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran algunas, pero no todas, las realizaciones del objeto divulgado actualmente. Los números similares se refieren a elementos similares en todas partes. El objeto divulgado actualmente puede incorporarse en muchas formas diferentes y no debe interpretarse como limitado a las realizaciones establecidas aquí; 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 del objeto divulgado actualmente establecido aquí se le ocurrirán a un experto en la técnica a la que pertenece el objeto divulgado actualmente que tiene el beneficio de las enseñanzas presentadas en las descripciones anteriores y los dibujos asociados. Por lo tanto, debe entenderse que el objeto divulgado actualmente no está limitado a las realizaciones específicas divulgadas y que las modificaciones y otras realizaciones están destinadas a ser incluidas dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

En algunas realizaciones, el objeto divulgado actualmente proporciona un sistema y método de densificación de suelo. El sistema de densificación de suelos actualmente divulgado incluye una sonda o tubo de suministro de aire que puede ser accionado o instalado de otro modo en una masa de suelo. Se suministra una entrada en el extremo proximal de la sonda de suministro de aire por un compresor de aire y un tanque de almacenamiento de aire. El compresor de aire y el tanque de almacenamiento de aire que suministran la sonda de suministro de aire se usan para la entrega rápida de impulsos o ráfagas de aire en la sonda de suministro de aire, mientras que los impulsos o ráfagas de aire se expulsan de una salida en el extremo distal de la sonda de suministro de aire y en la masa de suelo, que forma así una región densificada en la masa del suelo a través de las fuerzas del impulso de aire.

El método para usar el sistema de densificación de suelo divulgado actualmente incluye los pasos de insertar el extremo distal de la sonda de suministro de aire en la masa de suelo a cualquier profundidad deseada y luego liberar un impulso o ráfaga de aire en la masa de suelo. Al hacerlo, el suelo alrededor de la salida de la sonda de suministro de aire se desplaza lejos de la salida. Después del desplazamiento, el suelo comprimido exhibe una densidad aumentada en comparación con la densidad de suelo antes del impulso de aire. El aumento en la densidad

corresponde a un aumento en la resistencia y rigidez del suelo y una reducción en el potencial de licuefacción del suelo. El vacío creado por el impulso de aire puede entonces llenarse, por ejemplo, por el suelo superpuesto que se colapsa en el vacío.

5 Un aspecto del sistema y método de densificación de suelo divulgados actualmente es que se usa para formar una columna de suelo densificado en la masa del suelo, en los que la columna de suelo densificado reduce o elimina sustancialmente el potencial de licuefacción del suelo.

10 Otro aspecto del sistema y método de densificación de suelo actualmente divulgado es que puede usarse a cualquier profundidad de suelo, mientras que, por ejemplo, los métodos convencionales de compactación dinámica son generalmente eficientes solo para mejorar la densidad relativa de depósitos de suelo a menos de 30 pies en profundidad.

15 Aún otro aspecto del sistema y método de densificación de suelo divulgados actualmente es que es seguro en comparación con, por ejemplo, los métodos convencionales de voladura explosiva.

20 Con referencia a la FIG. 1A y la FIG. 1B, hay diagramas esquemáticos de dos ejemplos de un sistema 100 de densificación de suelo para la densificación controlada del suelo por aire. El sistema 100 de densificación de suelo comprende una sonda 110 de suministro de aire. La sonda 110 de suministro de aire puede ser, por ejemplo, una tubería de acero. El diámetro de la sonda 110 de suministro de aire puede ser de aproximadamente 0.5 pulgadas (1.2 cm) a aproximadamente 12 pulgadas (30.5 cm). En un ejemplo, el diámetro de la sonda 110 de suministro de aire es aproximadamente 2 pulgadas (5 cm). El espesor de la pared de la sonda 110 de suministro de aire puede ser de aproximadamente 0.125 pulgadas (0.32 cm) a aproximadamente 1 pulgada (2.5 cm). En un ejemplo, el espesor de la pared de la sonda 110 de suministro de aire es aproximadamente 0.25 pulgadas (0.64 cm). La longitud de la sonda 110 de suministro de aire puede ser desde aproximadamente 3 pies (1 m) hasta aproximadamente 130 pies (40 m). En un ejemplo, la longitud de la sonda 110 de suministro de aire es aproximadamente 20 pies (6 m).

30 La sonda 110 de suministro de aire incluye una entrada 115 en su extremo proximal y una salida 120 en el extremo distal. El sistema 100 de densificación de suelo típicamente incluye una etapa 125 de fuerza montada en el extremo proximal de la sonda 110 de suministro de aire. La etapa 125 de fuerza es la interfaz mecánica entre la sonda 110 de suministro de aire y la maquinaria que se usa para conducir la sonda 110 de suministro de aire hacia la masa de suelo con fuerza hacia abajo y para extraer la sonda 110 de suministro de aire de la masa del suelo con fuerza hacia arriba. La etapa 125 de fuerza puede ser una plataforma o cualquier estructura mecánica fuerte adecuada para realizar esta función. El diseño de la etapa 125 de fuerza puede variar dependiendo de (1) el tipo de maquinaria usada para conducir y/o tirar de la sonda 110 de suministro de aire, (2) el tamaño de la sonda 110 de suministro de aire, y (3) la cantidad de fuerza necesaria para conducir y/o tirar de la sonda 110 de suministro de aire. La etapa 125 de fuerza puede diseñarse para estar fijada permanentemente a la sonda 110 de suministro de aire o para ser desmontable.

40 El sistema 100 de densificación de suelo típicamente también incluye un compresor 130 de aire que suministra un tanque 135 de almacenamiento de aire, en el que el tanque 135 de almacenamiento de aire suministra la sonda 110 de suministro de aire. Más específicamente, una salida del compresor 130 de aire está conectada de manera fluida a una entrada del tanque 135 de almacenamiento de aire a través de una primera línea 140 de suministro. Además, una salida del tanque 135 de almacenamiento de aire está conectada fluidamente a la entrada 115 de la sonda 110 de suministro de aire a través de una segunda línea 145 de suministro. La primera línea 140 de suministro y la segunda línea 145 de suministro pueden ser líneas flexibles de cualquier longitud del tipo que se usan comúnmente en sistemas de aire comprimido.

50 El compresor 130 de aire puede ser cualquier compresor de aire estándar que sea capaz de proporcionar aire presurizado desde aproximadamente 25 psi (0.17 MPa) hasta aproximadamente 350 psi (2.4 MPa). El compresor 130 de aire se usa para cargar el tanque 135 de almacenamiento de aire y la sonda 110 de suministro de aire con aire presurizado. En un ejemplo, el tanque 135 de almacenamiento de aire y la sonda 110 de suministro de aire se cargan a aproximadamente 125 psi (0.86 MPa) a través del compresor 130 de aire. La capacidad de almacenamiento del tanque 135 de almacenamiento de aire debe ser al menos sustancialmente la misma o mayor que la capacidad de almacenamiento de la sonda 110 de suministro de aire. En un ejemplo, una sonda 110 de suministro de aire que tiene 12 pies (3.6 m) de largo y 2 pulgadas (5 cm) de diámetro tiene un volumen de aproximadamente 1.9 galones (7.2 litros). En otro ejemplo, una sonda 110 de suministro de aire que tiene 30 pies (9.1 m) de largo y 2 pulgadas (5 cm) de diámetro tiene un volumen de aproximadamente 4.9 galones (18.5 litros). En ambos casos, la capacidad de almacenamiento del tanque 135 de almacenamiento de aire puede ser de aproximadamente 20 galones (75.7 litros) en un ejemplo o aproximadamente 30 galones (113.5 litros) en otro ejemplo.

60 Se proporciona una válvula 150 entre el tanque 135 de almacenamiento de aire y la sonda 110 de suministro de aire. Es decir, la válvula 150 se proporciona en la trayectoria a lo largo de la segunda línea 145 de suministro. La válvula 150 se usa para permitir o bloquear el flujo de aire desde el tanque 135 de almacenamiento de aire a la sonda 110 de suministro de aire. Por ejemplo, la válvula 150 se cierra cuando la sonda 110 de suministro de aire no está en uso y la válvula 150 se abre cuando la sonda 110 de suministro de aire está en uso. En un ejemplo, la válvula 150 se puede abrir y cerrar manualmente. En otro ejemplo, la válvula 150 se puede abrir y cerrar bajo el control del programa. En este caso, el sistema 100 de densificación de suelo incluye un controlador 155. El sistema 100 de densificación de

suelo también incluye típicamente un manómetro 165 que se usa para controlar la presión dentro de la sonda 110 de suministro de aire.

El controlador 155 puede ser cualquier controlador estándar o dispositivo de microprocesador que sea capaz de ejecutar instrucciones de programa. Por ejemplo, el controlador 155 puede ser cualquier dispositivo informático, tal como, pero no limitado a, un ordenador portátil, una tableta, un teléfono móvil, un asistente digital personal (PDA) y similares. El controlador 155 puede estar conectado al actuador de la válvula 150 de cualquier manera cableada o inalámbrica.

En algunas realizaciones, la salida 120 de la sonda 110 de suministro de aire es simplemente la abertura en el extremo distal de la sonda 110 de suministro de aire, que es, por ejemplo, una tubería de acero. Sin embargo, en otras realizaciones, se proporciona una boquilla 170 en la salida 120 de la sonda 110 de suministro de aire. La función de la boquilla 170 es evitar que la sonda 110 de suministro de aire se llene de tierra cuando se impulsa o de otro modo se instala en la masa de suelo. Un objetivo adicional de la boquilla 170 es que permite la acumulación de presión de aire dentro del sistema y evita que el aire se escape antes de la activación.

En un ejemplo y haciendo referencia ahora a la FIG. 1A, la boquilla 170 es un mecanismo de aleta unidireccional que está en la posición cerrada cuando la sonda 110 de suministro de aire está siendo impulsada hacia la masa de suelo. Sin embargo, cuando está en uso, la boquilla 170 de tipo aleta puede abrirse desde la salida 120 de la sonda 110 de suministro de aire por la fuerza del aire comprimido 160, liberando así la ráfaga de aire 160 comprimido en la masa del suelo.

En otro ejemplo, la boquilla 170 es un mecanismo de bombilla que se puede abrir y cerrar de forma controlada contra los bordes de la salida 120 de la sonda 110 de suministro de aire. Por ejemplo, la FIG. 1B muestra una boquilla 170 de tipo bombilla para controlar la salida de la sonda 110 de suministro de aire. En este ejemplo, la boquilla 170 de tipo bombilla está conformada para ajustarse cómodamente en la salida 120 de la sonda 110 de suministro de aire. Es decir, la porción de la boquilla 170 de tipo bombilla que mira hacia la salida 120 se estrecha mientras la porción de la boquilla 170 de tipo bombilla que está alejada de la salida 120 se redondea. En un ejemplo, la boquilla 170 de tipo bombilla está formada de metal, tal como el acero. Una barra 180, tal como una barra de acero, está provista dentro de la sonda 110 de suministro de aire que se usa para acoplar mecánicamente la boquilla 170 de tipo bombilla a un actuador 185 en el extremo opuesto de la sonda 110 de suministro de aire. Se muestran y describen aquí a continuación más detalles de un ejemplo de la boquilla 170 de tipo bombilla con referencia a la FIG. 4A y la FIG. 4B.

En un ejemplo, el actuador 185 es un actuador neumático que está conectado a un dispositivo 190 de accionamiento. Cuando el actuador 185 no está activado, la boquilla 170 de tipo bombilla está en el estado retraído. Cuando se activa el actuador 185, la boquilla 170 de tipo bombilla está en el estado extendido. Es decir, el actuador 185 se puede usar para controlar la entrega rápida de impulsos o ráfagas de aire fuera de la salida 120 de la sonda 110 de suministro de aire y hacia la masa de suelo (no mostrada). En un ejemplo, el actuador 185 se puede controlar manualmente usando el dispositivo 190 de accionamiento. En otro ejemplo, el actuador 185 se puede controlar automáticamente usando el controlador 155.

Además, la sonda 110 de suministro de aire no está limitada a una sola salida. En otras realizaciones del sistema 100 de densificación de suelo, la sonda 110 de suministro de aire puede incluir múltiples salidas. Por ejemplo, se pueden proporcionar múltiples salidas a lo largo de la sonda 110 de suministro de aire. Se muestran y describen aquí a continuación más detalles de ejemplos de sondas 110 de suministro de aire que incluyen múltiples salidas con referencia a la FIG. 5A, la FIG. 5B, y la FIG. 6.

En otras realizaciones más del sistema 100 de densificación de suelo, puede proporcionarse una trayectoria de flujo secundario a lo largo de la sonda 110 de suministro de aire para suministrar un medio fluido, tal como, pero no limitado a, arena, grava, hormigón y lechada, en el vacío creado por la ráfaga de aire 160 comprimido en la masa de suelo. Se muestran y describen aquí a continuación más detalles de ejemplos de trayectorias secundarias de flujo que corren a lo largo de la sonda 110 de suministro de aire con referencia a la FIG. 7A, la FIG. 7B, la FIG. 8, y la FIG. 9.

En aún otras realizaciones del sistema 100 de densificación de suelo, el compresor 130 de aire y el tanque 135 de almacenamiento de aire no están limitados a suministrar una sonda 110 de suministro de aire solamente. El compresor 130 de aire y el tanque 135 de almacenamiento de aire del sistema 100 de densificación de suelo pueden suministrar múltiples sondas 110 de suministro de aire. Las ráfagas de presión de aire pueden ser entregadas simultáneamente o en una secuencia escalonada dependiendo de la actuación de las válvulas 150 de descarga de aire. Se muestran y describen aquí a continuación más detalles de un ejemplo del sistema 100 de densificación de suelo que incluye múltiples sondas 110 de suministro de aire con referencia a la FIG. 3.

La FIG. 2A y la FIG. 2B muestran el sistema 100 de densificación de suelo que se divulga actualmente cuando está en uso. Es decir, la FIG. 2A, la FIG. 2B, y la FIG. 2C muestra un proceso de uso del sistema 100 de densificación de suelo para densificar una masa 210 de suelo. En un ejemplo, la masa 210 de suelo se forma de depósito de arena suelta. La boquilla 170 de tipo aleta se cierra y el tanque 135 de almacenamiento de aire se carga con aire comprimido a una cierta presión. Entonces, la sonda 110 de suministro de aire se impulsa o se instala de otro modo en la masa

210 de suelo a una cierta profundidad. En un ejemplo, la salida 120 o la boquilla 170 de tipo aleta de la sonda 110 de suministro de aire tiene aproximadamente 12 pies (3.6 m) de profundidad en la masa 210 de suelo. A continuación, y haciendo referencia ahora a la FIG. 2A, que usa el controlador 155, la válvula 150 se abre, liberando así una ráfaga de aire 160 comprimido desde la salida 120 y hacia la masa 210 de suelo circundante. La duración de la ráfaga de aire 160 comprimido puede ser de aproximadamente 0.1 segundos a aproximadamente 5 segundos. En un ejemplo, la duración de la ráfaga de aire 160 comprimido es de aproximadamente 1 segundo. Además, pueden liberarse múltiples ráfagas de aire 160 comprimido en sucesión.

Como resultado de liberar una o más ráfagas de aire 160 comprimido en la masa 210 de suelo, se forma un vacío 215 en una región de la masa 210 de suelo que está cerca de la salida 120 o la boquilla 170 de tipo aleta de la sonda 110 de suministro de aire. Además, en el área rodeada alrededor del vacío 215, se densifica el volumen original de depósito de arena suelta, formando de este modo una región 220 densificada en la masa 210 de suelo. Es decir, el suelo alrededor de la salida 120 de la sonda 110 de suministro de aire se desplaza lejos de la salida 120. Después del desplazamiento, el suelo comprimido exhibe una densidad incrementada en comparación con la densidad del suelo antes del impulso de aire. El aumento en la densidad corresponde a un aumento en la resistencia y rigidez del suelo, aumento en la densidad del suelo y una reducción en el potencial de compresión y licuefacción.

Con referencia ahora a la FIG. 2B, la sonda 110 de suministro de aire es halada hacia arriba a cierta distancia con respecto al vacío 215. Al hacerlo, la salida 120 o la boquilla 170 de tipo aleta de la sonda 110 de suministro de aire se extraen del vacío 215. El vacío 215 creado por el impulso de aire puede llenarse, por ejemplo, superponiendo la masa 210 de suelo que colapsa en el vacío 215 una vez o mientras se retira la sonda 110 de suministro de aire, dejando atrás la región 220 densificada que rodea un bolsillo de material 210 de masa de suelo suelto. El proceso mostrado en la FIG. 2A y la FIG. 2B se puede repetir a diferentes profundidades con el fin de formar una columna de suelo densificado en la masa 210 de suelo. Por ejemplo, la FIG. 2C muestra una columna 250 de suelo densificado, que es un ejemplo de una columna de suelo densificado que es el resultado del uso de la sonda 110 de suministro de aire a diferentes profundidades especificadas en la masa 210 de suelo. A modo de ejemplo, la columna 250 de suelo densificado de la FIG. 2C está formada por cuatro ráfagas de aire 160 comprimido a cuatro profundidades diferentes. Se pueden aplicar múltiples ráfagas de aire en cada profundidad para aumentar la efectividad del proceso en cada profundidad. Se muestran y describen aquí a continuación más detalles de un ejemplo de un método de uso del sistema 100 de densificación de suelo con referencia a la FIG. 10A, la FIG. 10B, y la FIG. 11A a la FIG. 11H.

Mediante el uso del sistema 100 de densificación de suelo, la formación de una columna de suelo densificado en la masa 210 de suelo, tal como la columna 250 de suelo densificado, reduce el potencial de compresión y licuefacción.

Con referencia ahora a la FIG. 3 es un diagrama esquemático de un ejemplo del sistema 300 de densificación del suelo que incluye un colector para suministrar aire comprimido a una pluralidad de sondas 110 de suministro de aire al mismo tiempo. Al hacerlo, el sistema 300 de densificación de suelos permite múltiples ubicaciones simultáneas de tratamiento a la vez. Es decir, el sistema 300 de densificación de suelos mostrado en la FIG. 3 puede soportar cualquier número de sondas 110 de suministro de aire (es decir, sondas 110-1 a 110-n de suministro de aire). En el sistema 300 de densificación de suelos, el compresor 130 de aire y el tanque 135 de almacenamiento de aire suministran múltiples sondas 110 de suministro de aire usando un colector 310. El colector 310 incluye una entrada 315 y múltiples salidas 320 (es decir, salidas 320-1 a través de 320-n), en el que el número de salidas 320 corresponde al número de sondas 110 de suministro de aire.

Más específicamente, el compresor 130 de aire y el tanque 135 de almacenamiento de aire suministran la entrada 315 del colector 310. Entonces, la salida 320-1 suministra la entrada 115-1 de la sonda 110-1 de suministro de aire, la salida 320-2 suministra la entrada 115-2 de la sonda 110-2 de suministro de aire, y así sucesivamente a través de la salida 320-n y la sonda 110-n de suministro de aire.

Las especificaciones del compresor 130 de aire y la capacidad de almacenamiento del tanque 135 de almacenamiento de aire están diseñadas para manejar la carga de múltiples sondas 110 de suministro de aire. En otras configuraciones del sistema 300 de densificación del suelo, cada sonda 110 de suministro de aire tiene un tanque 135 de almacenamiento de aire dedicado. Es decir, el sistema 300 de densificación del suelo incluye tanques 135-1 a 135-n de almacenamiento de aire, todos suministrados por un compresor 130 de aire común.

Además, el sistema 300 de densificación del suelo puede incluir un controlador 155 dedicado (tal como se muestra en la FIG. 1A) o dispositivo 190 de accionamiento (tal como se muestra en la Figura 1B) para cada una de las sondas 110 de suministro de aire (por ejemplo, controladores 155-1 a 155-n o dispositivos 190-1 a 190-n de accionamiento, no mostrados) o un controlador 155 único o común o dispositivo 190 de accionamiento para controlar todas las sondas 110 de suministro de aire. Los controladores 155 puede controlar válvulas 150-1 a 150-n de control. Los dispositivos 190 de accionamiento pueden controlar los actuadores 185-1 a 185-n. Los dispositivos de accionamiento pueden controlar las descargas de ráfagas de aire simultáneas, secuenciales o escalonadas.

La FIG. 4A y FIG. 4B muestran vistas laterales de la sonda 110 de suministro de aire del sistema 100 de densificación de suelo y un ejemplo de una boquilla 170 de tipo bombilla para controlar la salida de la misma. En este ejemplo, la boquilla 170 de tipo bombilla está conformada para ajustarse cómodamente en la salida 120 de la sonda 110 de

suministro de aire. El actuador 185 es un actuador neumático que está conectado al dispositivo 190 de accionamiento. El actuador 185 está dispuesto, por ejemplo, entre la etapa 125 de fuerza y un conector 425 en T que sirve como la entrada 115 de la sonda 110 de suministro de aire. Es decir, el conector 425 en T se puede usar para conectar la línea de suministro de aire, tal como la segunda línea 145 de suministro, a la sonda 110 de suministro de aire.

La FIG. 4A muestra el actuador 185 cuando no está activado y la boquilla 170 de tipo bombilla en el estado retraído. En este estado, la boquilla 170 de tipo bombilla se tira hacia atrás y se ajusta cómodamente contra los bordes de la salida 120 de la sonda 110 de suministro de aire. En este estado, la boquilla 170 de tipo bombilla puede usarse para (1) bloquear el aire que se libera de la sonda 110 de suministro de aire y (2) bloquear el ingreso del suelo a la sonda 110 de suministro de aire durante la instalación en la masa de suelo. Por el contrario, la FIG. 4B muestra el actuador 185 cuando está activado y la boquilla 170 de tipo bombilla en el estado extendido. En este estado, la boquilla 170 de tipo bombilla se empuja hacia afuera y lejos de los bordes de la salida 120 de la sonda 110 de suministro de aire. En este estado, se permite que el aire comprimido se libere desde el extremo de la sonda 110 de suministro de aire y hacia la masa del suelo. El dispositivo 190 de accionamiento del actuador 185 puede controlarse manualmente o mediante el controlador 155.

La sonda 110 de suministro de aire no está limitada a una única salida. La FIG. 5A, la FIG. 5B, y la FIG. 6 muestran realizaciones del sistema 100 de densificación de suelo en las que la sonda 110 de suministro de aire incluye múltiples salidas. Con referencia a la FIG. 5A y FIG. 5B, hay un ejemplo de una sonda 110 de suministro de aire que incluye múltiples salidas. Es decir, la FIG. 5A y la FIG. 5B muestran vistas laterales de la sonda 110 de suministro de aire del sistema 100 de densificación de suelo y un ejemplo de un mecanismo 510 obturador para controlar múltiples salidas de la misma. En este ejemplo, una pluralidad de salidas 120 está dispuesta en los lados y a lo largo de la longitud de la sonda 110 de suministro de aire, en lugar de en el extremo distal de la sonda 110 de suministro de aire. En particular, el extremo de la sonda 110 de suministro de aire está sellado con una placa 525. El mecanismo 510 obturador es una tubería o manguito hueco que está montado deslizablemente dentro de la sonda 110 de suministro de aire. Por ejemplo, el mecanismo 510 obturador está acoplado al actuador 185 (que se describe en la FIG. 4A y la FIG. 4B) a través de una barra 515, tal como una barra de acero. El mecanismo 510 obturador incluye un conjunto de aberturas 520 que están en el patrón de las salidas 120 en la sonda 110 de suministro de aire.

Mediante el uso del actuador 185, el mecanismo 510 obturador puede usarse para bloquear las salidas 120 en la sonda 110 de suministro de aire o abrir las salidas 120 en la sonda 110 de suministro de aire. Por ejemplo, la FIG. 5A muestra el actuador 185 cuando no está activado y el mecanismo 510 obturador en el estado cerrado. En este estado, las aberturas 520 del mecanismo 510 obturador no están alineadas con las salidas 120 en la sonda 110 de suministro de aire. En este estado, el mecanismo 510 obturador puede usarse para (1) bloquear el aire que se libera de la sonda 110 de suministro de aire y (2) bloquear el suelo de entrar en la sonda 110 de suministro de aire durante la instalación en la masa de suelo. Por el contrario, la FIG. 5B muestra el actuador 185 cuando está activado y el mecanismo 510 obturador en el estado abierto. En este estado, las aberturas 520 del mecanismo 510 obturador están sustancialmente alineadas con las salidas 120 en la sonda 110 de suministro de aire. En este estado, se permite que el aire comprimido se libere desde los lados de la sonda 110 de suministro de aire y hacia la masa del suelo. De nuevo, el dispositivo 190 de accionamiento del actuador 185 puede controlarse manualmente o mediante el controlador 155.

Con referencia ahora a la FIG. 6 es otro ejemplo de múltiples salidas en la sonda 110 de suministro de aire. Es decir, la FIG. 6 muestra una vista lateral de un ejemplo de la sonda 110 de suministro de aire del sistema 100 de densificación de suelo que incluye múltiples salidas 120 dispuestas a lo largo de su longitud y sin ninguna característica de control para abrir o cerrar las salidas 120. En este ejemplo, una pluralidad de salidas 120 está dispuesta en los lados y a lo largo de la longitud de la sonda 110 de suministro de aire en cualquier patrón, número y espaciado.

Mediante el uso de la sonda 110 de suministro de aire mostrada en la FIG. 5A y la FIG. 5B, o la FIG. 6, múltiples salidas 120 permiten que el impulso de aire se suministre a múltiples elevaciones a lo largo de la profundidad (longitud) de la sonda 110 de suministro de aire una vez.

Otras realizaciones del sistema 100 de densificación de suelo pueden incluir una trayectoria de flujo secundario en combinación con la sonda 110 de suministro de aire, que es la trayectoria de flujo de aire primario. Una trayectoria de flujo secundario puede ser útil para suministrar un medio fluido, tal como, pero sin limitarse a, arena, grava, concreto y lechada, en el vacío creado por la ráfaga de aire 160 comprimido en la masa de suelo. Por ejemplo, y con referencia ahora nuevamente a la FIG. 2A y la FIG. 2B, una trayectoria de flujo secundaria puede ser útil para suministrar un medio fluido en el vacío 215 en la masa 210 de suelo, que se crea mediante la ráfaga de aire 160 comprimido en la masa 210 de suelo.

Con referencia a la FIG. 7A y la FIG. 7B, hay un ejemplo de una trayectoria de flujo secundaria en combinación con la sonda 110 de suministro de aire. Es decir, la FIG. 7A y la FIG. 7B muestran vistas laterales de un ejemplo de la sonda 110 de suministro de aire del sistema 100 de densificación de suelo que incluye una trayectoria de flujo secundario en la forma de una tubería o tubo 710. El tubo o tubería 710 puede ser, por ejemplo, un tubo de acero. La sonda 110 de suministro de aire está dispuesta dentro de (o interna a) y concéntrica con la tubería o tubo 710. En un ejemplo, si el diámetro de la sonda 110 de suministro de aire es de aproximadamente 2 pulgadas (5 cm), entonces el diámetro de la tubería o tubo 710 puede ser, por ejemplo, de aproximadamente 6 pulgadas (aproximadamente 15 cm). En este

ejemplo, la sonda 110 de suministro de aire está sustancialmente centrada dentro de la tubería o tubo 710. Es decir, el desplazamiento entre la sonda 110 de suministro de aire y la tubería o tubo 710 es sustancialmente constante.

En este ejemplo, la tubería o tubo 710 tiene una entrada 715, que está cerca del extremo proximal de la sonda 110 de suministro de aire, y una salida 720, que está cerca del extremo distal (es decir, la salida 120) de la sonda 110 de suministro de aire. Además, se puede proporcionar una placa 725 de sacrificio en la salida 720 del tubo o tubería 710. La placa 725 de sacrificio tiene una abertura en el centro que permite la holgura, en este ejemplo, para la boquilla 170 de tipo bombilla. Una vez introducida en la masa de suelo, la placa 725 de sacrificio se liberará por la fuerza del aire 160 comprimido y/o la fuerza de los medios fluidos dentro de la tubería o tubo 710 a medida que se eleva la sonda 110 de suministro de aire. En consecuencia, la placa 725 de sacrificio se dejará en el fondo de la columna de suelo densificado. Al hacerlo, la salida 720 del tubo o de la máquina 710 se abre y está lista para su uso.

En funcionamiento y haciendo referencia ahora a la FIG. 2, la FIG. 7A, y la FIG. 7B, una vez que se ha liberado la ráfaga de aire 160 comprimido y se forma el vacío 215 en la masa 210 de suelo, se vierten medios fluidos o de otro modo fluyen a la entrada 715 por cualquier medio. Entonces, el medio fluido fluye a través de la tubería o tubo 710 (fuera de la propia sonda 110 de suministro de aire). Luego, el medio fluido sale de la salida 720 de la tubería o tubo 710 y fluye hacia el vacío 215 en la masa 210 de suelo.

Con referencia ahora a la FIG. 8 es otro ejemplo de una trayectoria de flujo secundario en combinación con la sonda 110 de suministro de aire. Es decir, la FIG. 8 muestra una vista lateral de un ejemplo de la sonda 110 de suministro de aire del sistema 100 de densificación de suelo que incluye una trayectoria de flujo secundario en la forma de una tubería o tubo 810 dispuesto en el exterior (o externo a) y a lo largo de la propia sonda 110 de suministro de aire. La tubería o tubo 810 puede ser, por ejemplo, una tubería de acero. En un ejemplo, si el diámetro de la sonda 110 de suministro de aire es de aproximadamente 2 pulgadas (5 cm), entonces el diámetro de la tubería o tubo 810 puede ser, por ejemplo, de aproximadamente 4 pulgadas (aproximadamente 10 cm).

En este ejemplo, la tubería o tubo 810 tiene una entrada 815, que está cerca del extremo proximal de la sonda 110 de suministro de aire, y una salida 820, que está cerca del extremo distal (es decir, la salida 120) de la sonda 110 de suministro de aire. En funcionamiento y refiriéndose ahora a la FIG. 2 y la FIG. 8, una vez que se ha liberado la ráfaga de aire 160 comprimido y se forma el vacío 215 en la masa 210 de suelo, se vierten medios fluidos o de otro modo fluyen en la entrada 815 por cualquier medio. Luego, el medio fluido fluye a través de la tubería o tubo 810. Luego, el medio fluido sale de la salida 820 de la tubería o tubo 810 y fluye en el interior del vacío 215 en la masa 210 de suelo.

Con referencia ahora a la FIG. 9 es otro ejemplo más de una trayectoria de flujo secundario en combinación con la sonda 110 de suministro de aire. Es decir, la FIG. 9 muestra una vista lateral de un ejemplo de la sonda 110 de suministro de aire del sistema 100 de densificación de suelo que incluye una trayectoria de flujo secundario en la forma de una tubería o tubo 910. La tubería o tubo 910 puede ser, por ejemplo, un tubo de acero. La propia sonda 110 de suministro de aire está dispuesta dentro de (o interna a) y a lo largo de la tubería o tubo 910. En un ejemplo, si el diámetro de la sonda 110 de suministro de aire es de aproximadamente 2 pulgadas (5 cm), entonces el diámetro de la tubería o tubo 910 puede ser, por ejemplo, aproximadamente 4 pulgadas (aproximadamente 10 cm). En este ejemplo, la sonda 110 de suministro de aire está posicionada dentro y a un lado de la tubería o tubo 910. Es decir, el desplazamiento entre la sonda 110 de suministro de aire y la tubería o tubo 910 varía, es decir, el desplazamiento no es constante.

En este ejemplo, la tubería o tubo 910 tiene una entrada 915, que está cerca del extremo proximal de la sonda 110 de suministro de aire, y una salida 920, que está cerca del extremo distal (es decir, salida 120) de la sonda 110 de suministro de aire. En funcionamiento y refiriéndose ahora a la FIG. 2 y FIG. 9, una vez que se ha suministrado la ráfaga de aire 160 comprimido y se forma el vacío 215 en la masa 210 de suelo, se vierten medios fluidos o de otro modo fluyen en la entrada 915 por cualquier medio. Entonces, los medios fluidos fluyen a través de la tubería o tubo 910. Luego, el medio fluido sale de la salida 920 del tubo o tubería 910 y fluye hacia el vacío 215 en la masa 210 de suelo.

La FIG. 10 ilustra un diagrama de flujo de un ejemplo de un método 1000 de usar el sistema 100 de densificación de suelo divulgado actualmente para densificar una masa de suelo que usa impulsos de aire. Mediante el uso del sistema 100 de densificación de suelo y el método 1000, la formación de una columna de suelo densificado en la masa 210 de suelo, como la columna 250 de suelo densificado, reduce el potencial de compresión y licuefacción.

En el método 1000, la sonda 110 de suministro de aire incluye la boquilla 170 de tipo bombilla mostrada en la FIG. 4A y FIG. 4B para controlar la salida de la misma. Sin embargo, esto es solo a manera de ejemplo. En el método 1000, se puede usar cualquier tipo de control de salida como se describió aquí anteriormente. El método 1000 puede incluir, pero no se limita a, los siguientes pasos.

En un paso 1010, el sistema 100 de densificación de suelo que incluye la sonda 110 de suministro de aire se proporciona en el sitio de la masa de suelo que se va a densificar que usa impulsos de aire. Por ejemplo, y refiriéndose a la FIG. 2A y la FIG. 2B, el sistema 100 de densificación de suelo se suministra al sitio de la masa 210 de suelo, que es la masa de suelo objetivo que se va a densificar usando impulsos de aire.

En un paso 1015, la sonda 110 de suministro de aire está posicionada para uso con respecto a la masa de suelo objetivo que se va a densificar. Por ejemplo, y refiriéndose a la FIG. 2A y la FIG. 2B, el extremo de salida 120 (es decir, la boquilla 170 de tipo bombilla) de la sonda 110 de suministro de aire se coloca sobre la superficie de la masa 210 de suelo. Luego, el extremo de entrada 115 de la sonda 110 de suministro de aire se levanta de manera que la sonda 110 de suministro de aire se coloca sustancialmente ortogonal (o en un cierto ángulo deseado) con respecto al plano de la superficie de la masa 210 de suelo.

En el paso 1020, que usa el actuador 185, la boquilla 170 de tipo bombilla está cerrada. En un ejemplo, el actuador 185 se cierra manualmente usando el dispositivo 190 de accionamiento. En otro ejemplo, el actuador 185 se cierra usando el controlador 155. Mediante el uso de la etapa 125 de fuerza, la sonda 110 de suministro de aire se impulsa o se instala de otro modo en la masa 210 de suelo a una profundidad inicial. En un ejemplo, el extremo 120 de salida (es decir, la boquilla 170 de tipo bombilla) de la sonda 110 de suministro de aire se dirige a la masa 210 de suelo hasta una profundidad inicial de aproximadamente 20 pies (6 m).

En el paso 1025, o simultáneamente con el paso 1020, el compresor 130 de aire se activa (es decir, se enciende) y se cargan el tanque 135 de almacenamiento de aire y la sonda 110 de suministro de aire a una cierta presión, tal como a aproximadamente 125 psi. El manómetro 165 se puede usar para verificar que se ha alcanzado la presión deseada. En un ejemplo, el manómetro 165 se controla manualmente y el compresor 130 de aire se opera manualmente. En otro ejemplo, el manómetro 165 se controla por el controlador 155 y se opera el compresor 130 de aire a través del controlador 155.

En un paso 1030, que usa el actuador 185, se abre la boquilla 170 de tipo bombilla para liberar un impulso de aire 160 comprimido desde la salida 120 de la sonda 110 de suministro y en la masa 210 de suelo. En un ejemplo, el actuador 185 se abre manualmente usando el dispositivo 190 de accionamiento. En otro ejemplo, se abre el actuador 185 usando el controlador 155. Al hacerlo, y haciendo referencia de nuevo a la FIG. 2A y la FIG. 2B, se forman el primer vacío 215 y la primera región 220 densificada en la masa 210 de suelo.

En un paso 1032 opcional, se agrega medio fluido al vacío 215 que se forma en la masa 210 de suelo. Por ejemplo, usando una trayectoria de flujo secundario, tal como la tubería o tubo 710 mostrado en la FIG. 7A y la FIG. 7B, la tubería o tubo 810 mostrado en la FIG. 8, o la tubería o tubo 910 mostrado en la FIG. 9, se agrega un medio fluido, tal como, pero no limitado a, arena, grava, hormigón y lechada, al vacío 215 en la masa 210 de suelo.

En un paso 1035 de decisión, se determina si se completa el proceso de densificación del suelo en la elevación de descarga actual. En caso que sí, entonces el método 1000 pasa al paso 1040. Sin embargo, si no, entonces el método 1000 vuelve al paso 1025, en el que los pasos 1025 a 1032 pueden repetirse hasta que se complete el proceso de densificación en una elevación dada.

En un paso 1040 de decisión, se determina si se completa el proceso global de densificación del suelo para una columna de suelo. Es decir, se determina si se forma la columna de suelo densificado a lo largo de la trayectoria completa desde la profundidad D inicial de la sonda 110 de suministro de aire hasta la superficie de la masa 210 de suelo. Si no, entonces el método 1000 pasa al paso 1045. Sin embargo, si es así, entonces el método 1000 procede al paso 1065.

En el paso 1045, que usa el actuador 185, la boquilla 170 de tipo bombilla está cerrada. En un ejemplo, se cierra manualmente el actuador 185 usando el dispositivo 190 de accionamiento. En otro ejemplo, se cierra el actuador 185 usando el controlador 155. Luego, usando el paso 125 de fuerza, se eleva la sonda 110 de suministro de aire a la siguiente profundidad con respecto a la profundidad previa, por lo que la extracción de la sonda 110 de suministro de aire hace que el vacío 215 se llene con suelo (por ejemplo, arena suelta) de la masa 210 de suelo. En un ejemplo, la sonda 110 de suministro de aire se eleva 5 pies (1.5 m) con respecto a la profundidad previa.

En un paso 1050, que usa el compresor 130 de aire, se cargan el tanque 135 de almacenamiento de aire y la sonda 110 de suministro de aire a una cierta presión, tal como a aproximadamente 125 psi. Se puede usar el manómetro 165 para verificar que se ha alcanzado la presión deseada. En un ejemplo, se controla manualmente el manómetro 165 y se opera manualmente el compresor 130 de aire. En otro ejemplo, se controla el manómetro 165 por el controlador 155.

En el paso 1055, que usa el actuador 185, se abre la boquilla 170 de tipo bombilla para liberar un impulso de aire 160 comprimido desde la salida 120 de la sonda 110 de suministro y hacia la masa 210 de suelo. En un ejemplo, se abre manualmente el actuador 185 usando el dispositivo 190 de accionamiento. En otro ejemplo, se abre el actuador 185 usando el controlador 155. Al hacerlo, y haciendo referencia de nuevo a la FIG. 2A y la FIG. 2B, se forman el siguiente vacío 215 y la siguiente región 220 densificada en la masa 210 de suelo.

En un paso 1060 opcional, se agrega medio fluido al vacío 215 que se forma en la masa 210 de suelo. Por ejemplo, usando una trayectoria de flujo secundario, tal como la tubería o tubo 710 mostrado en la FIG. 7A y la FIG. 7B, la

tubería o tubo 810 mostrado en la FIG. 8, o la tubería o tubo 910 mostrado en la FIG. 9, se agrega un medio fluido, tal como, pero no limitado a, arena, grava, hormigón y lechada, al vacío 215 en la masa 210 de suelo.

5 En un paso 1062 de decisión, se determina si el proceso de densificación del suelo se completa en la elevación de descarga actual. Si es así, entonces el método 1000 vuelve al paso 1040. Sin embargo, si no, entonces el método 1000 vuelve al paso 1050, en el que los pasos 1050 a 1060 pueden repetirse hasta que se complete el proceso de densificación en una elevación dada.

10 En el paso 1065, que usa el actuador 185, la boquilla 170 de tipo bombilla está cerrada. Luego, usando el paso 125 de fuerza, se levanta la sonda 110 de suministro de aire fuera de la masa 210 de suelo, por lo que la extracción de la sonda 110 de suministro de aire provoca que el vacío 215 se llene con suelo (por ejemplo, arena suelta) de la masa 210 de suelo.

15 En un paso 1070 opcional, se agrega medio fluido al vacío 215 que se forma en la masa 210 de suelo. Por ejemplo, usando una trayectoria de flujo secundario, tal como la tubería o tubo 710 mostrado en la FIG. 7A y la FIG. 7B, la tubería o tubo 810 mostrado en la FIG. 8, o la tubería o tubo 910 mostrado en la FIG. 9, se agrega un medio fluido, tal como, pero no limitado a, arena, grava, hormigón y lechada, al vacío 215 en la masa 210 de suelo.

20 En un paso 1075, se desactiva el compresor 130 de aire (es decir, se apaga) manualmente o mediante el controlador 155. El método 1000 finaliza.

25 La FIG. 11A a la FIG. 11H ilustran un proceso de densificación de una masa de suelo que usa el método 1000 mostrado en la FIG. 10. Por ejemplo, la FIG. 11A a la FIG. 11H ilustran un proceso para usar el método 1000 para formar la columna 250 de suelo densificado que se muestra en la FIG. 2C.

Con referencia ahora a la FIG. 11A es una ilustración del paso 1020 del método 1000, en el que la sonda 110 de suministro de aire se impulsa o instalada de otro modo en la masa 210 de suelo a una profundidad D inicial. En un ejemplo, la profundidad D inicial es de aproximadamente 20 pies (6 m).

30 Con referencia ahora a la FIG. 11B es una ilustración del paso 1030 del método 1000, en el que se libera la primera ráfaga de aire 160 comprimido de la salida 120 de la sonda 110 de suministro de aire (cuando se abre la válvula 170 de salida) y en la masa 210 de suelo. Al hacerlo, se forman el primer vacío 215 y la primera región 220 densificada en la masa 210 de suelo a la profundidad D inicial.

35 Con referencia ahora a la FIG. 11C es una ilustración del paso 1045 del método 1000, en el que se eleva la sonda 110 de suministro de aire a la siguiente profundidad con respecto a la profundidad D inicial. Por ejemplo, si se planea formar regiones 220 densificadas cada 5 pies en la trayectoria desde la profundidad D hasta la superficie de la masa 210 de suelo, entonces se mueve la sonda 110 de suministro de aire en incrementos de 5 pies (i). Por consiguiente, la FIG. 11C muestra que se eleva la sonda 110 de suministro de aire desde la profundidad D inicial a una profundidad D-i, que es, por ejemplo, 20 pies - 5 pies = 15 pies.

45 Con referencia ahora a la FIG. 11D es una ilustración del paso 1055 del método 1000, en la que se libera la siguiente ráfaga de aire 160 comprimido desde la salida 120 de la sonda 110 de suministro de aire y hacia la masa 210 de suelo. Al hacerlo, se forman el siguiente vacío 215 y la siguiente región 220 densificada en la masa 210 de suelo a la profundidad D - i, que es, por ejemplo, a la profundidad de 15 pies.

50 Con referencia ahora a la FIG. 11E es una ilustración del paso 1045 del método 1000, que se repite ahora una segunda vez, en el que se eleva la sonda 110 de suministro de aire a la siguiente profundidad con respecto a la profundidad previa D-i. Continuando con el ejemplo, la FIG. 11E muestra que se eleva la sonda 110 de suministro de aire desde la profundidad D-i a una profundidad D-2i, que es, por ejemplo, 20 pies - (2 x 5 pies) = 10 pies.

55 Con referencia ahora a la FIG. 11F es una ilustración del paso 1055 del método 1000, que se repite ahora una segunda vez, en el que se libera la siguiente ráfaga de aire 160 comprimido desde la salida 120 de la sonda 110 de suministro de aire y hacia la masa 210 de suelo. Al hacerlo, se forman el siguiente vacío 215 y la siguiente región 220 densificada en la masa 210 de suelo en la profundidad D-2i, que está, por ejemplo, a la profundidad de 10 pies.

60 Con referencia ahora a la FIG. 11G es una ilustración del paso 1045 del método 1000, que se repite ahora una tercera vez, en el que se eleva la sonda 110 de suministro de aire a la siguiente profundidad con respecto a la profundidad previa D-2i. Continuando con el ejemplo, la FIG. 11G muestra que la sonda 110 de suministro de aire se eleva desde la profundidad D-2i a una profundidad D-3i, que es, por ejemplo, 20 pies - (3 x 5 pies) = 5 pies.

65 Con referencia ahora a la FIG. 11H es una ilustración del paso 1055 del método 1000, que se repite ahora una tercera vez, en la que se libera la siguiente ráfaga de aire 160 comprimido desde la salida 120 de la sonda 110 de suministro de aire y hacia la masa 210 de suelo. Al hacerlo, se forman el siguiente vacío 215 y la siguiente región densificada 220 en la masa 210 de suelo en la profundidad D-3i, que es, por ejemplo, a la profundidad de 5 pies.

Con referencia ahora a la FIG. 2C es una ilustración del paso 1065 del método 1000, en el que se eleva la sonda 110 de suministro de aire fuera de la masa 210 de suelo porque la columna 250 de suelo densificado está completa.

En la FIG. 1 a la FIG. 11H, el compresor 130 de aire y el tanque 135 de almacenamiento de aire pueden estar, por ejemplo, en una posición estacionaria en el suelo. Las líneas de aire (por ejemplo, la primera línea 140 de suministro y/o segunda línea 145 de suministro) que conectan el tanque 135 de almacenamiento de aire a la sonda 110 de suministro de aire pueden ser líneas largas y flexibles para que se pueda manipular la sonda 110 de suministro de aire por separado del compresor 130 de aire y el tanque 135 de almacenamiento de aire. Esta configuración del sistema 100 de densificación de suelo permite que la sonda 110 de suministro de aire sea accionada o instalada de otro modo en la masa 210 de suelo en una posición alejada del compresor 130 de aire y del tanque 135 de almacenamiento de aire. Sin embargo, otras configuraciones del sistema 100 de densificación de suelo son posibles. A continuación se muestra aquí un ejemplo de otra configuración del sistema 100 de densificación de suelo con referencia a la FIG. 12.

Con referencia ahora a la FIG. 12 es una vista lateral de una configuración de ejemplo del sistema 100 de densificación de suelo que usa un mástil 1210 para soportar la sonda 110 de suministro de aire y para guiar su instalación en la masa 210 de suelo. Por ejemplo, el mástil 1210 puede ser una viga en I. En este ejemplo, la etapa 125 de fuerza está diseñado para (1) proporcionar el mecanismo para acoplar la fuerza hacia abajo o hacia arriba a la sonda 110 de suministro de aire, como se describió previamente; (2) estar acoplado deslizablemente al mástil 1210; y (3) proporcionar una plataforma para sostener el tanque 135 de almacenamiento de aire.

En este ejemplo, el mástil 1210 puede incluir un sistema de pista o riel (no mostrado) que permite que la etapa 125 de fuerza se deslice hacia arriba y hacia abajo (cuando está en uso) a lo largo del mástil 1210, en el que el tanque 135 de almacenamiento de aire sube y baja con la etapa 125 de fuerza. La etapa 125 de fuerza puede elevarse y bajarse con un pistón hidráulico con un mecanismo de cadena, o con un sistema de cable y cabrestante. Además, la FIG. 12 muestra un equipo 1215 pesado cuyos brazos 1220 están acoplados mecánicamente al final de la etapa 125 de fuerza que está opuesta a la sonda 110 de suministro de aire. El equipo pesado 1215 puede ser, por ejemplo, cualquier tipo de cargador de base de excavadora (es decir, máquina base Caterpillar 330) capaz de proporcionar las fuerzas necesarias para la etapa 125 de fuerza para conducir o instalar de otro modo la sonda 110 de suministro de aire en la masa 210 de suelo.

En esta configuración del sistema 100 de densificación de suelo, el compresor 130 de aire (no mostrado) puede estar en una posición estacionaria en el suelo. Sin embargo, en otra realización, tanto el compresor 130 de aire como el tanque 135 de almacenamiento de aire se pueden montar en la etapa 125 de fuerza, en el que tanto el compresor 130 de aire como el tanque 135 de almacenamiento de aire se mueven hacia arriba y hacia abajo a lo largo el mástil 1210 con la etapa 125 de fuerza. En otra realización más, tanto el compresor 130 de aire como el tanque 135 de almacenamiento de aire pueden estar en una posición estacionaria en el suelo. En otra realización más, se pueden montar el compresor 130 de aire y el tanque 135 de almacenamiento de aire en el equipo 1215 pesado.

Con referencia ahora a la Figura 13, se muestra una ilustración de la presente invención cuando se usa junto con un sistema de drenaje vertical prefabricado (PVD). El sistema de PVD puede estar compuesto por elementos PVD 1310 que se instalan antes de la densificación. Los elementos PVD 1310 permiten una salida rápida de agua de la masa del suelo durante la densificación.

Ejemplos

Ejemplo 1

En un ejemplo de la invención, se demostró el método de densificación de suelos granulares con impulsos de aire en una prueba a escala de banco. Se realizó la prueba a escala de banco colocando primero arena suelta en un tambor cilíndrico de 55 galones. Se creó el depósito suelto de arena rellenando parcialmente el tambor con agua, colocando una criba sobre la parte superior del tambor y pasando la arena a través de la criba hacia el agua. La arena se asentó a través del agua en una configuración suelta.

Una vez que la arena se colocó en el tambor, se eliminó el exceso de agua del tambor para exponer la superficie de la arena. Se midió en múltiples ubicaciones la superficie de arena, en relación con la parte superior del tambor. Luego se insertó una sonda (o tubo) de 1/2 pulgada de diámetro en la arena de manera que la punta de la sonda estaba aproximadamente en el punto medio entre la parte superior de la arena y el fondo del tambor. Después de insertar la sonda, se suministró un impulso de aire de 110 libras por pulgada cuadrada. Después de suministrar el impulso, se midió el perfil de la superficie de la arena con respecto a la parte superior del tambor de acero.

El aumento en la densidad relativa se puede calcular comparando el volumen de arena antes del impulso de aire con el volumen de arena después del impulso. En este ejemplo, después de que se midió el volumen de arena de post-densificación, se vació el tambor y se repitió el proceso. Se realizó un total de diez (10) ensayos. En promedio, la densidad relativa de la arena dentro del tambor aumentó de 6.2% antes del impulso de aire a 54% después del impulso de aire.

Ejemplo 2

En otro ejemplo de la invención, se demostró el método de densificación de suelos granular con impulsos de aire en una prueba de campo a escala completa. Se realizó la prueba de campo en un sitio que se caracterizó por materiales subsuperficiales que consistían en limo denso medio insaturado y materiales de arena limosa. Estos materiales son bien conocidos por los expertos en la técnica como materiales que no pueden densificarse usando agitación u otros medios vibratorios. Por esta razón, se perforaron agujeros de 36 pulgadas de diámetro en el suelo y se rellenaron con arena suelta que luego se densificó usando la invención como se describió anteriormente.

Se taladraron cuatro orificios de prueba de 36 pulgadas de diámetro. Dos de los agujeros de prueba tenían 5 pies de profundidad y dos de los agujeros de prueba tenían 12 pies de profundidad. Después de la perforación, se introdujeron cubiertas de acero de diámetro exterior de 36 pulgadas en los agujeros. Los agujeros se llenaron con 1 a 2 pulgadas de lechada para formar un sello en el fondo de los agujeros. El propósito de las carcassas y la lechada era formar un sello hermético al agua alrededor del relleno de arena para garantizar que se saturara la arena durante la prueba.

Después de colocar la lechada, se llenaron las carcassas con agua a una profundidad igual a la mitad de la altura de la carcassa. Luego, se depositó por pluviación arena limpia (menos del 3% pasando el tamiz No. 200) a la carcassa. Esto se logró colocando una criba con aberturas anchas de ¼ de pulgada sobre la parte superior de la carcassa, vertiendo arena a través de la criba y haciendo vibrar la criba para que la arena "lloviera" en la carcassa. Se colocó la arena de esta manera en la parte superior de la carcassa. Debido a que el agua en la carcassa no podía escapar de la carcassa, se elevó el nivel del agua en la carcassa hacia arriba a medida que se colocaba la arena. El agua escapó sobre la parte superior de la carcassa al final de la pluviación, que mostro que la arena estaba saturada antes de ser tratada por la presente invención.

A continuación, se bajó un tubo de 2 pulgadas de diámetro a través del centro de la columna de arena hasta una profundidad de 3 pies para la carcassa de 5 pies de largo y a una profundidad de 9 pies para la carcassa de 12 pies de largo. La tubería estaba equipada con una boquilla y una válvula en el fondo de la tubería. La tubería tenía una capacidad de almacenamiento de 2 galones. La tubería estaba conectada a dos tanques de almacenamiento de aire. Uno de los tanques tenía una capacidad de almacenamiento de 30 galones y el otro tanque tenía una capacidad de almacenamiento de 20 galones. Después de insertar la tubería en la arena, se cargaron los tanques de almacenamiento que estaban conectados a la tubería con aire presurizado a 125 psi.

Se liberó el aire presurizado que estaba almacenado en la tubería y los tanques de almacenamiento. La presión de aire se liberó usando un activador para enganchar un pistón neumático para abrir la boquilla en la parte inferior de la tubería.

Para la primera prueba, realizada dentro de una carcassa de 12 pies de largo, se liberó el aire presurizado de la tubería y de ambos tanques de almacenamiento (capacidad total de almacenamiento de 52 galones) en un corto intervalo de tiempo de menos de 1 segundo. Esto dio como resultado una caída de presión del sistema de 25 psi para lograr una presión del sistema de fin de prueba de 100 psi al final de la liberación. La liberación de aire en la ubicación de inyección única resultó en una caída de elevación de arena de la parte superior de la carcassa de 2.9 pulgadas. El volumen ocupado por la arena dentro de la carcassa disminuyó de 75.2 pies cúbicos a 73.6 pies cúbicos (2.1% de deformación volumétrica).

La segunda prueba también se realizó dentro de una carcassa de 12 pies de largo usando el volumen de aire presurizado de la tubería y del tanque de almacenamiento de 20 galones. Se liberó todo el volumen (22 galones) de aire presurizado en una sola dosificación que duró muchos segundos. La segunda prueba resultó en una erupción de arena de la carcassa sobre la superficie del suelo. Aunque la segunda prueba no permitió la medición de la deformación volumétrica, mostró que las ráfagas cortas de aire presurizadas a 125 psi eran suficientes para traducir dinámicamente las partículas de arena saturada.

La tercera prueba se realizó dentro de una carcassa de 5 pies de largo usando una sola ráfaga de aire de corta duración. La corta duración duró menos de 1 segundo. Similar a la Prueba 2, la tercera prueba liberó aire de la tubería y del tanque de 20 galones. En cuanto a la Prueba 2, la liberación del aire presurizado resultó en una erupción de arena fuera de la carcassa sobre la superficie del suelo.

La cuarta prueba también se realizó dentro de una carcassa de 5 pies de largo liberando todo el volumen del aire presurizado. Para esta prueba, solo se liberó el aire contenido en la tubería (2 galones). Al final de la liberación de aire presurizado, se redujo la superficie de la arena saturada dentro de la carcassa en 0.9 pulgadas. El volumen inicial de arena dentro de la carcassa fue 26.7 pies cúbicos y el volumen final de arena dentro de la carcassa fue 25.8 pies cúbicos (3.6% de tensión volumétrica).

Las cuatro pruebas realizadas como parte de este ejemplo muestran que las ráfagas de aire presurizadas a 125 psi y liberadas dentro de depósitos de arena saturada a profundidades de al menos 9 pies proporcionan suficiente energía para densificar el suelo. Se cree que las ráfagas adicionales de aire que podrían aplicarse a medida que se libera la tubería aumentan adicionalmente la densidad de la arena, que resulta en manchas volumétricas más altas.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para densificación controlada por ráfagas de aire en una masa de suelo, donde el aparato comprende:
 - 5 a. un tubo primario de suministro de aire que tiene un extremo superior y un extremo inferior, donde el tubo primario tiene además un puerto formado en el extremo inferior del tubo primario, donde el puerto comprende un mecanismo de cierre que es operable entre una posición abierta y una posición cerrada mientras está dispuesto en una masa de suelo; y
 - 10 b. un sistema de aire presurizado conectado al tubo primario, en el que el sistema de aire presurizado comprende un volumen almacenado de aire comprimido conectado a una fuente de aire, donde el sistema de aire presurizado suministra ráfagas de aire controladas en el tubo primario y suministra ráfagas de aire controladas en la masa de suelo.
- 15 2. El aparato de la reivindicación 1, en el que el mecanismo de cierre es una válvula/boquilla,
en el que la válvula/boquilla opcionalmente comprende una boquilla de tipo bombilla que anida con el extremo abierto del tubo y se puede operar entre una posición abierta y una posición cerrada anidada.
- 20 3. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además una cubierta que cubre el puerto,
en el que la cubierta comprende opcionalmente una tapa de sacrificio.
- 25 4. El aparato de la reivindicación 1, en el que se almacena el volumen almacenado de aire comprimido en un tanque y sonda de almacenamiento de aire comprimido,
en el que la fuente de aire comprende opcionalmente un compresor de aire, o
en el que la fuente de aire está configurada opcionalmente para recargar el volumen almacenado de aire comprimido a una rata igual a un volumen de descarga de aire que resulta del impulso de aire, o
30 en el que el aparato comprende opcionalmente además una válvula de control situada entre el volumen almacenado de aire comprimido y el puerto.
- 35 5. El aparato de la reivindicación 1, en el que el puerto comprende una pluralidad de puertos espaciados a lo largo de una longitud del tubo primario.
- 40 6. El aparato de la reivindicación 5, en el que el tubo primario comprende un sistema obturador para abrir o cerrar selectivamente la pluralidad de puertos espaciados a lo largo de una longitud del tubo primario.
- 45 7. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además una pluralidad de tubos primarios,
en el que la pluralidad de tubos primarios está configurada opcionalmente para proporcionar impulsos de aire sustancialmente simultáneos, o
50 en el que la pluralidad de tubos primarios está configurada opcionalmente para proporcionar impulsos de aire sustancialmente secuenciales.
- 55 8. El aparato de la reivindicación 1, en el que se configura el tubo primario para suministrar medios fluidos en un vacío en la masa de suelo que resulta del impulso de aire,
en el que los medios fluidos opcionalmente comprenden uno o más de arena, grava, materiales reciclados, materiales de residuo, astillas de neumáticos, concreto o lechada.
- 60 9. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además un tubo secundario para suministrar medios fluidos en un vacío en la masa de tierra que resulta del impulso de aire,
en el que opcionalmente el tubo primario es interno a y concéntrico con el tubo secundario y en el que el desplazamiento entre el tubo primario y el tubo secundario es sustancialmente constante, o en el que opcionalmente el tubo secundario es externo a y a lo largo del tubo primario, o
65 en el que opcionalmente el tubo primario es interno a y a lo largo del tubo secundario y en el que el desplazamiento entre el tubo primario y el tubo secundario no es constante, o
en el que los medios fluidos comprenden opcionalmente uno o más de arena, grava, materiales reciclados, materiales de residuo, astillas de neumáticos, concreto o lechada.

10. Un método de densificación controlada por ráfagas de aire en una masa de suelo, que comprende:

a. proporcionar un aparato para la densificación controlada del suelo por aire, que comprende:

1) un tubo primario de suministro de aire que tiene un extremo superior y un extremo inferior, donde el tubo primario tiene además un puerto formado en el extremo inferior del tubo primario, donde el puerto comprende un mecanismo de cierre que es operable entre una posición abierta y una posición cerrada mientras está dispuesto en una masa de suelo; y

2) un sistema de aire presurizado conectado al tubo primario, en el que el sistema de aire presurizado comprende un volumen almacenado de aire comprimido conectado a una fuente de aire, está configurado para proporcionar un impulso de aire presurizado en el puerto y en la masa del suelo;

b. insertar una porción final del tubo primario a la profundidad del nivel de tratamiento del suelo deseado en la masa del suelo;

c. liberar un impulso de aire en el puerto para formar un vacío rodeado por una zona de densificación;

d. mantener la porción del extremo inferior del tubo primario a la profundidad del nivel de tratamiento del suelo deseado en la masa del suelo mientras se libera el impulso de aire; y

e. llenar el vacío en la masa de suelo creada por el impulso de aire en el puerto, en el que el método comprende opcionalmente tratar ya sea una sola columna de material o tratar múltiples columnas de material, o en el que el vacío se llena opcionalmente con suelo suelto que se colapsa desde arriba de la zona de densificación para llenar el vacío, o en el que el paso de liberar un impulso de aire se repite opcionalmente más de una vez a una elevación dada.

11. El método de la reivindicación 10, en el que el mecanismo de cierre es una válvula/boquilla y se coloca la válvula/boquilla en la posición cerrada al insertar el tubo primario en la masa de suelo y se coloca en la posición abierta al liberar el impulso de aire.

12. El método de la reivindicación 10, en el que el puerto comprende una pluralidad de puertos espaciados a lo largo de la longitud del tubo primario y el tubo primario contiene un sistema obturador para abrir o cerrar selectivamente la pluralidad de puertos espaciados a lo largo de la longitud del tubo primario, y además, en el que se coloca el obturador en la posición cerrada tras la inserción del tubo primario en la masa de suelo y se coloca en la posición abierta al liberar el impulso de aire.

13. Método de la reivindicación 10, en el que se llena el vacío con medios fluidos,

en el que los medios fluidos comprenden opcionalmente uno o más de arena, grava, materiales reciclados, materiales de desecho, astillas de neumáticos, concreto o lechada, o en el que se llena opcionalmente el vacío con el medio fluido a través del tubo primario.

14. El método de la reivindicación 10, en el que se llena el vacío con medios fluidos a través de un tubo secundario, en el que opcionalmente el tubo primario es interno a y concéntrico con el tubo secundario y en el que el desplazamiento entre el tubo primario y el tubo secundario es sustancialmente constante, o

en el que opcionalmente el tubo secundario es externo a y a lo largo del tubo primario, o

en el que opcionalmente el tubo primario es interno a y a lo largo del tubo secundario y en el que el desplazamiento entre el tubo primario y el tubo secundario no es constante.

15. El método de la reivindicación 10, que comprende además elevar el tubo primario hasta una distancia determinada después de llenar el vacío, proporcionar un impulso de aire posterior y llenar un vacío resultante creado por el impulso de aire posterior.

16. El método de la reivindicación 15, donde el método comprende además repetir los pasos de elevar el tubo primario hasta la distancia determinada después de llenar el vacío, proporcionar el impulso de aire posterior, y llenar el vacío resultante creado por el impulso de aire posterior, hasta que se complete la profundidad del tratamiento requerida.

17. El método de la reivindicación 10, en el que el método comprende además la inserción de desagües verticales prefabricados en la masa de suelo para facilitar la rápida salida del agua de la masa de suelo.

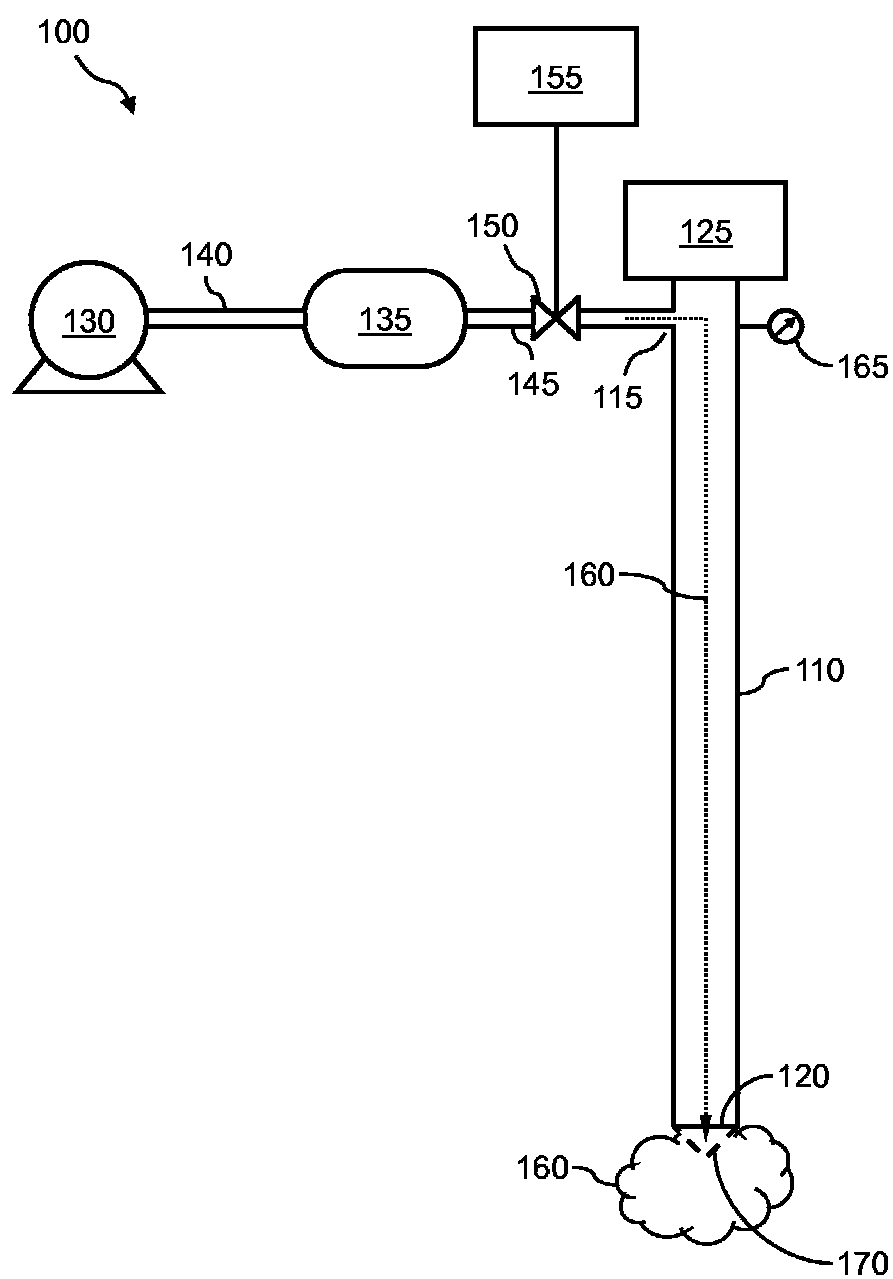


FIG. 1A

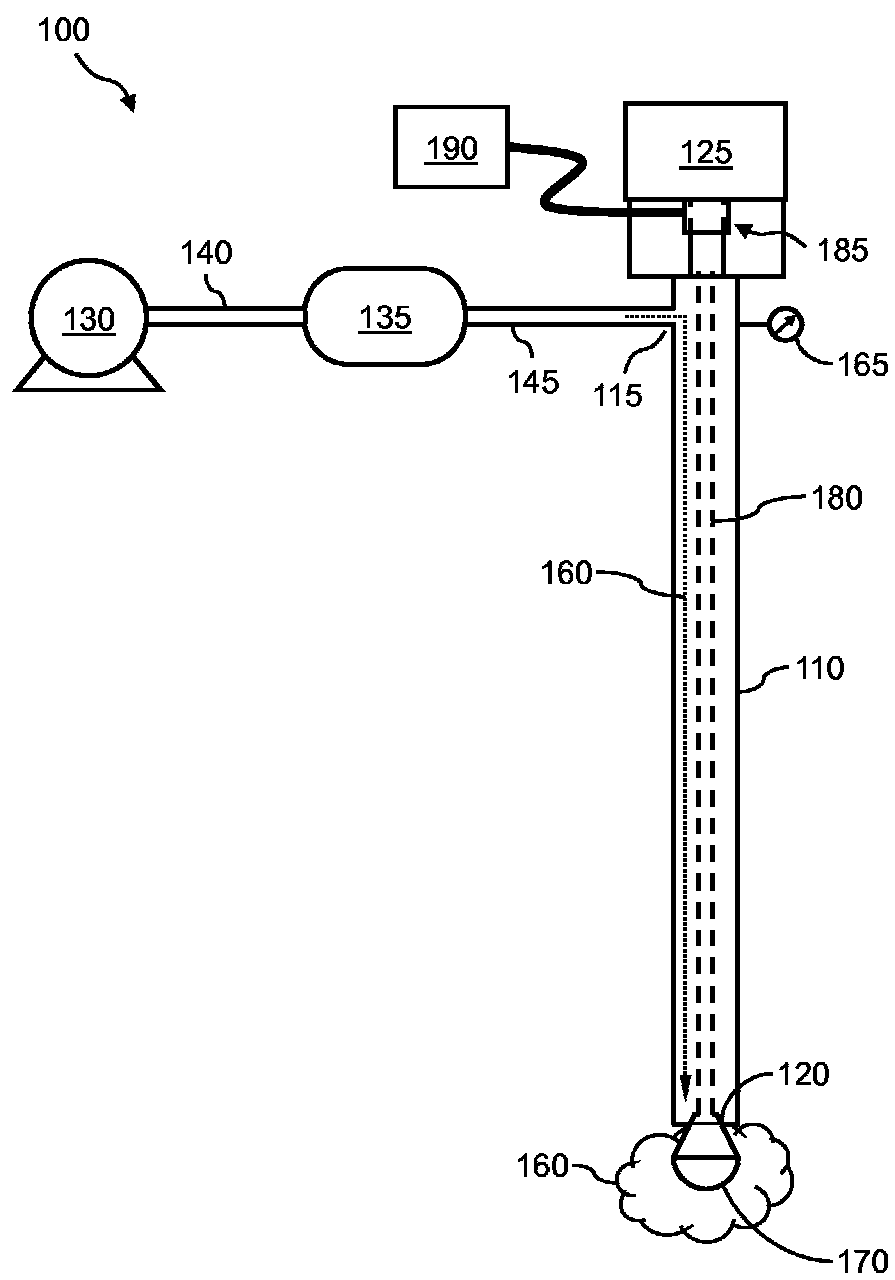


FIG. 1B

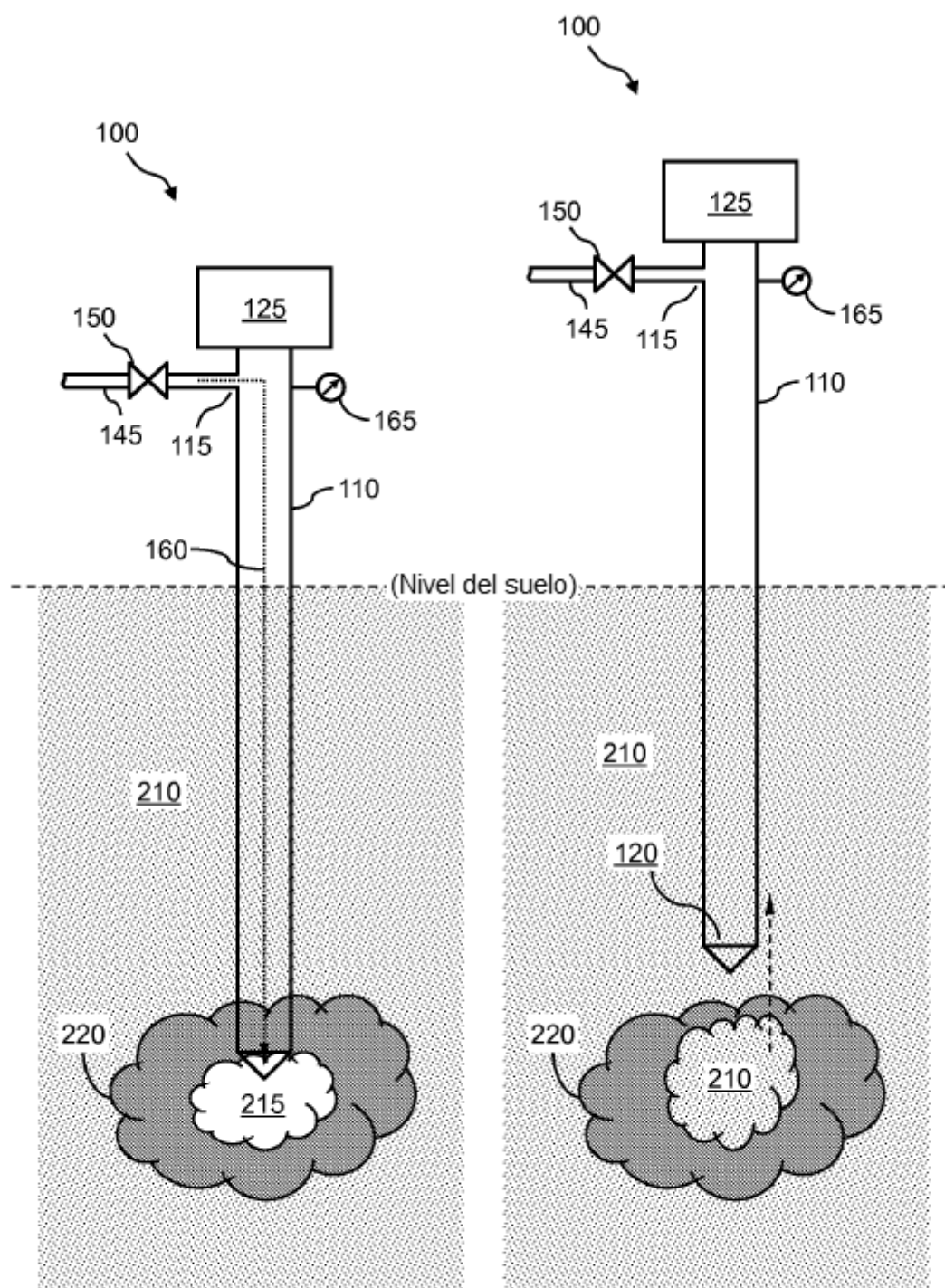


FIG. 2A

FIG. 2B

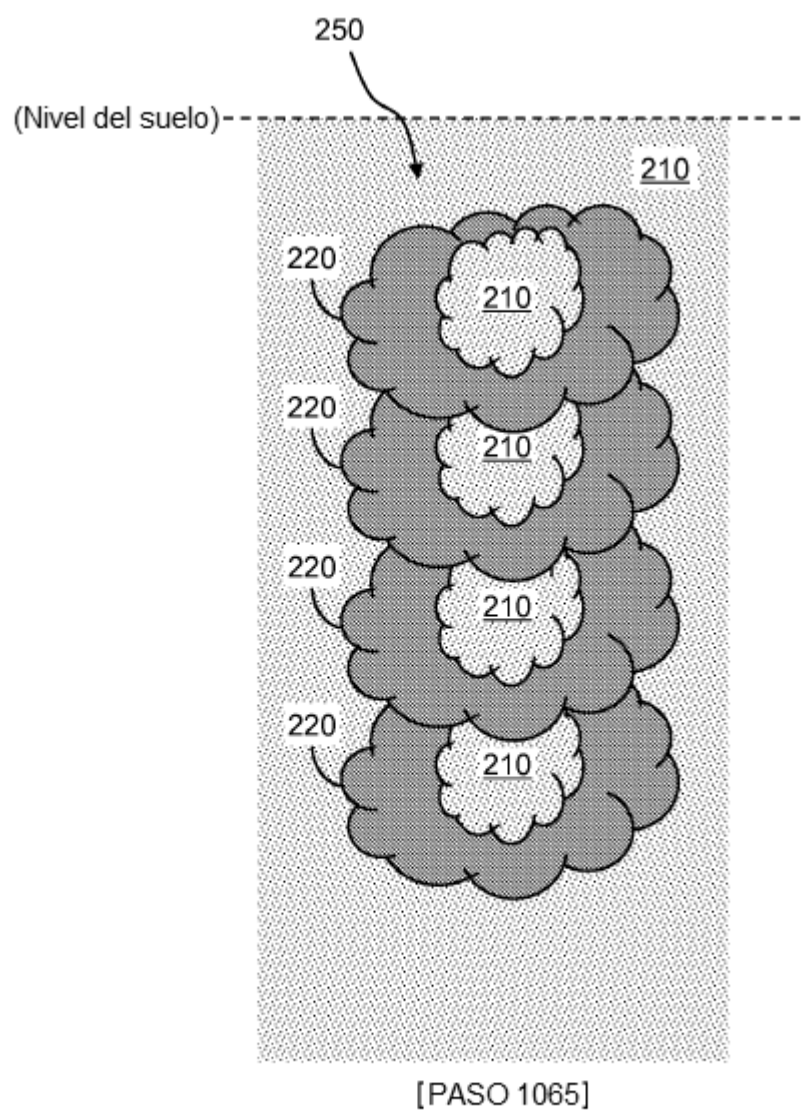


FIG. 2C

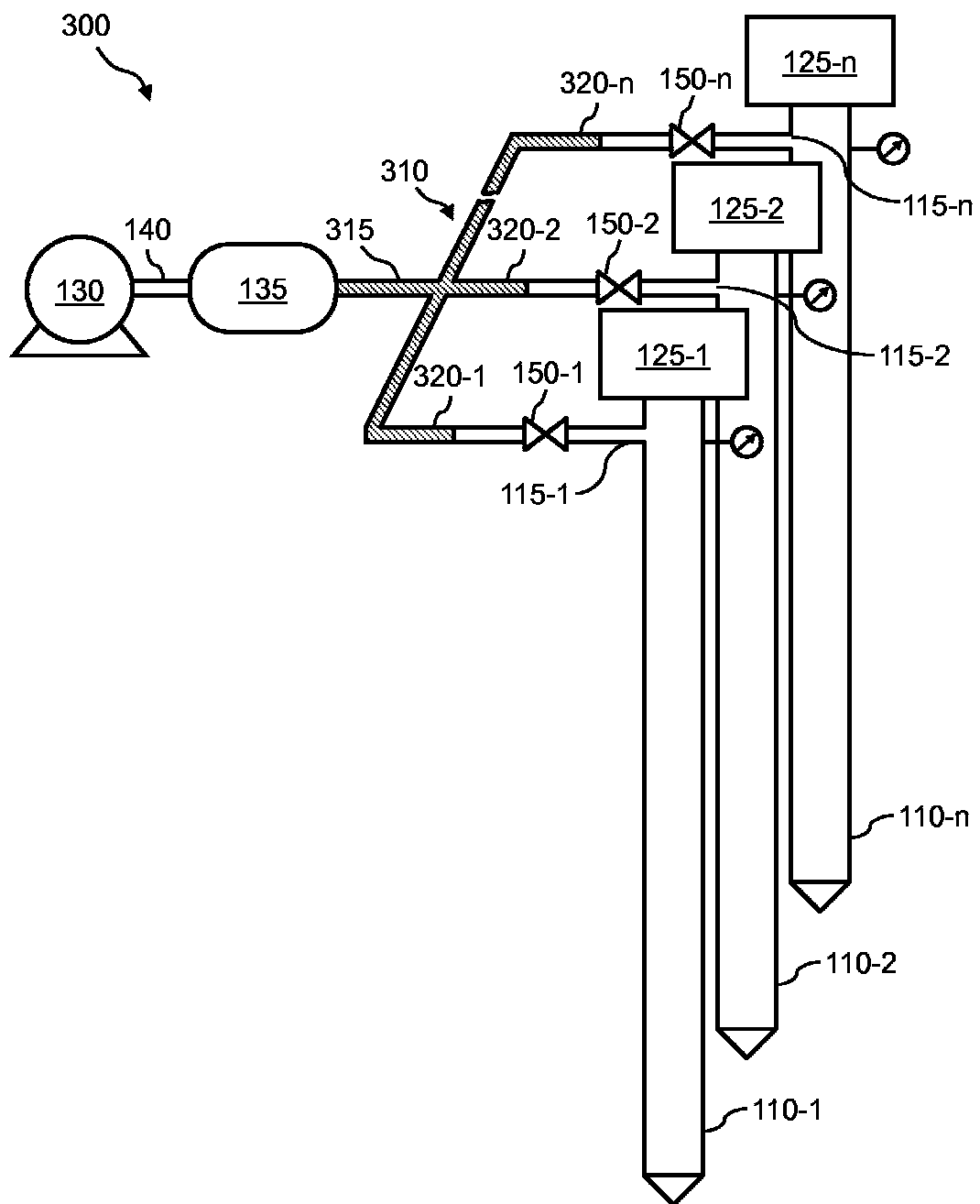


FIG. 3

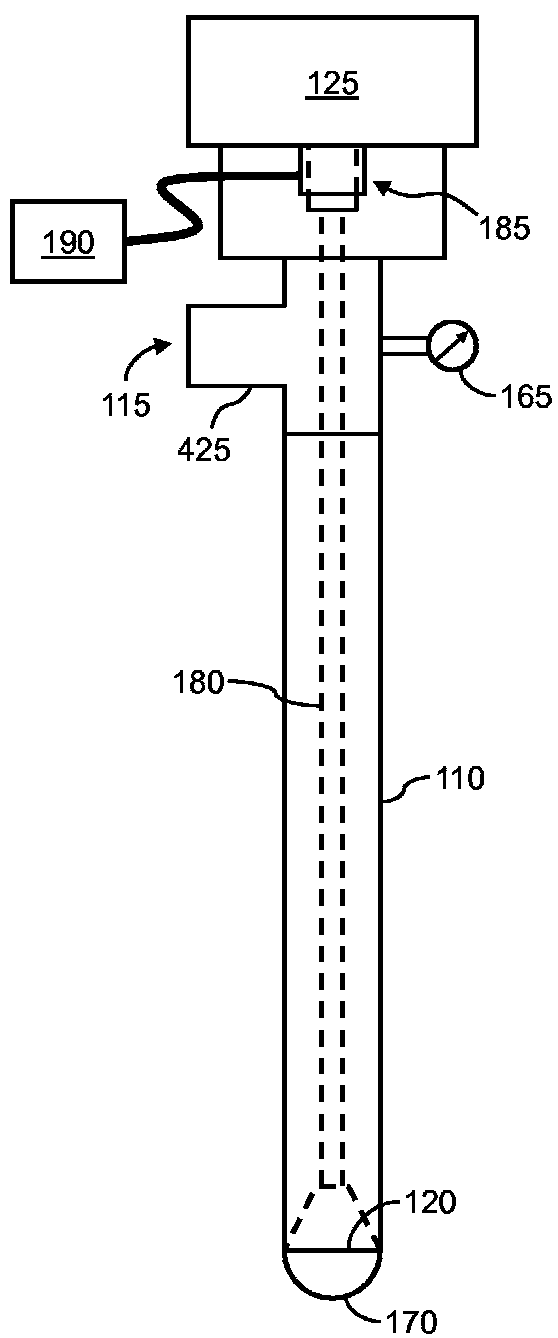


FIG. 4A

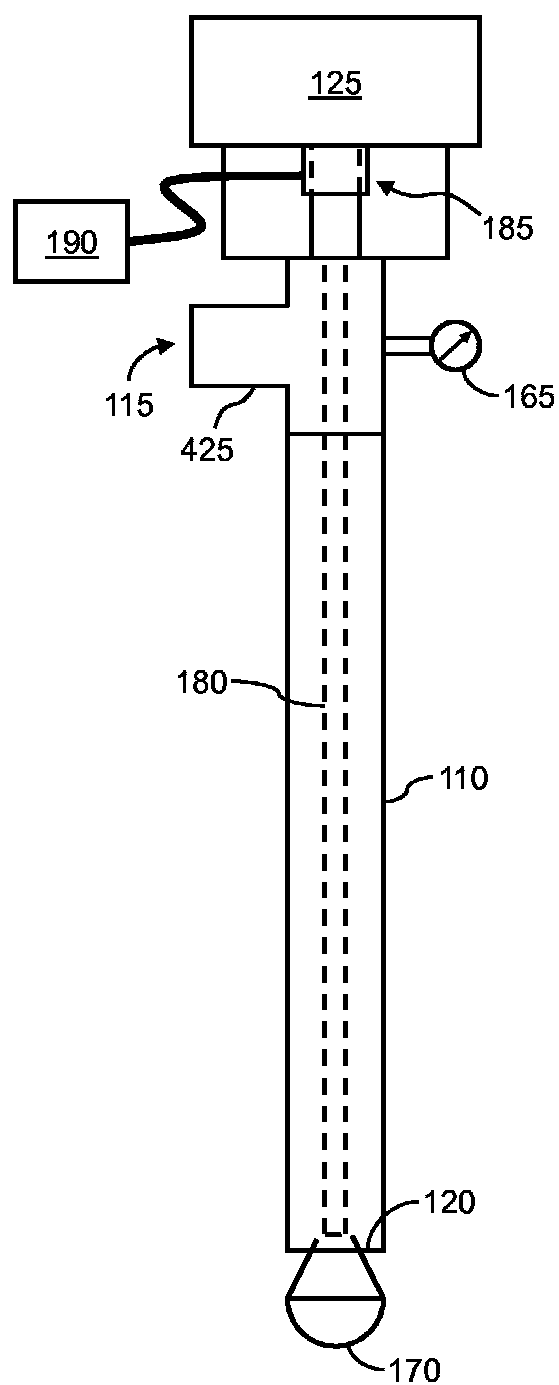


FIG. 4B

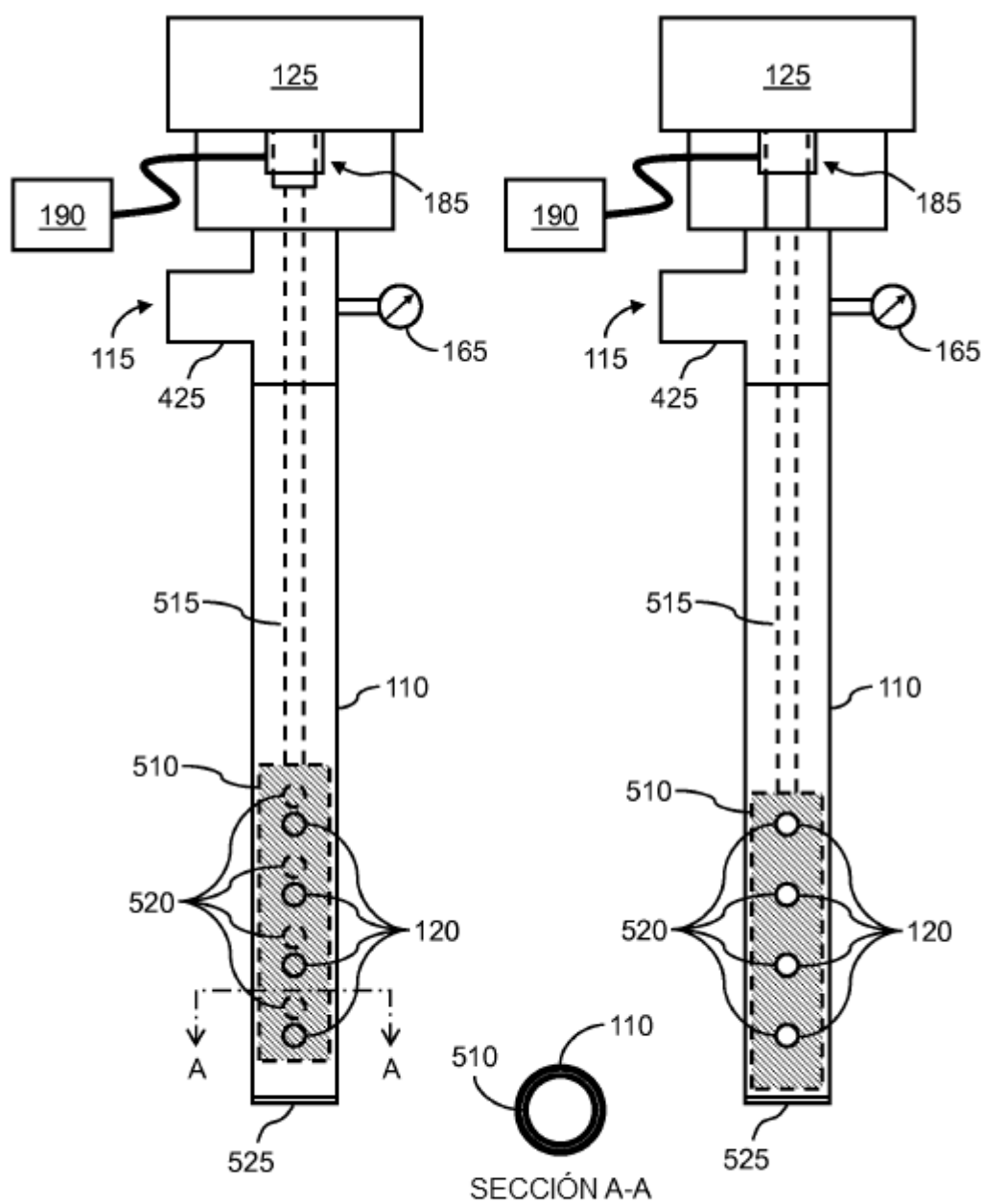


FIG. 5A

FIG. 5B

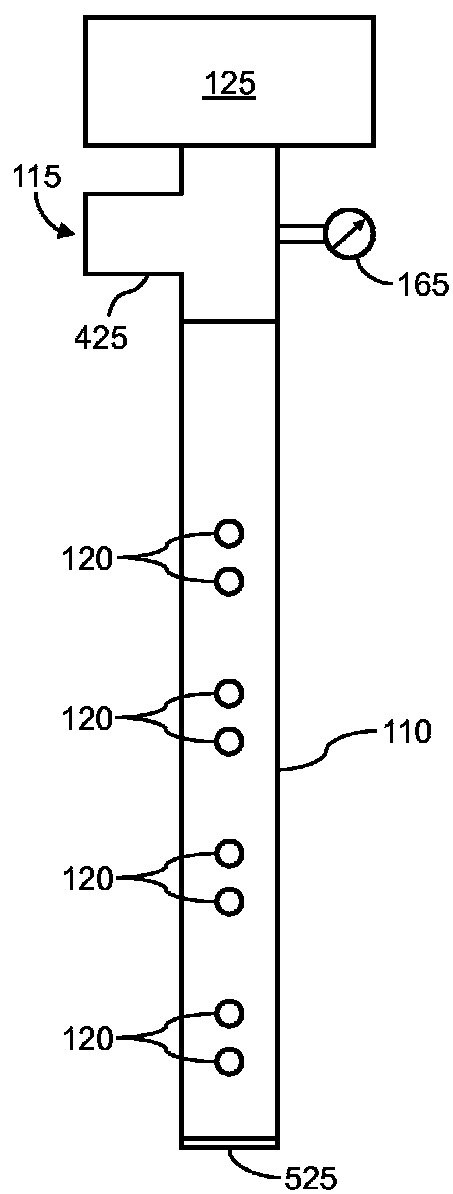
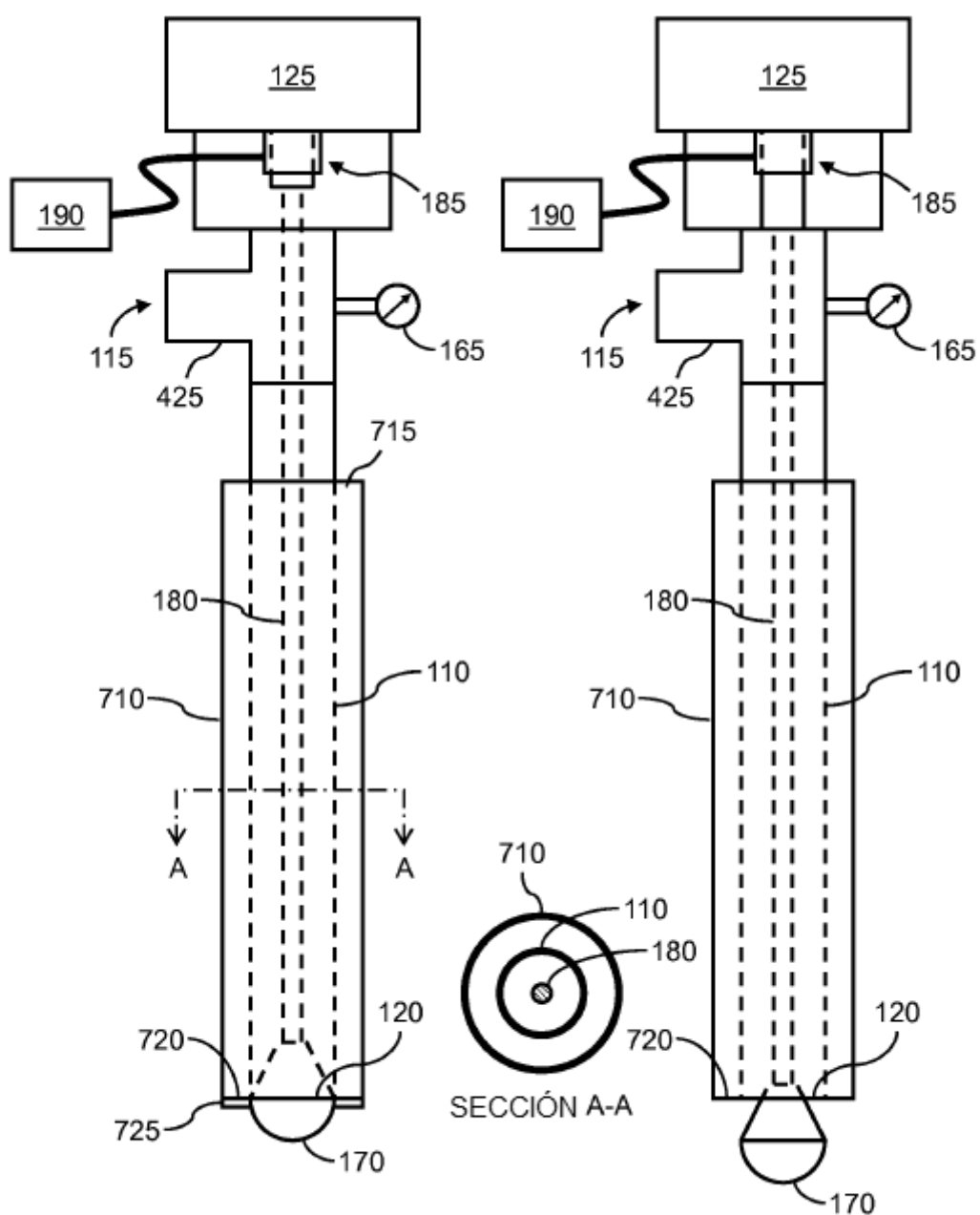


FIG. 6



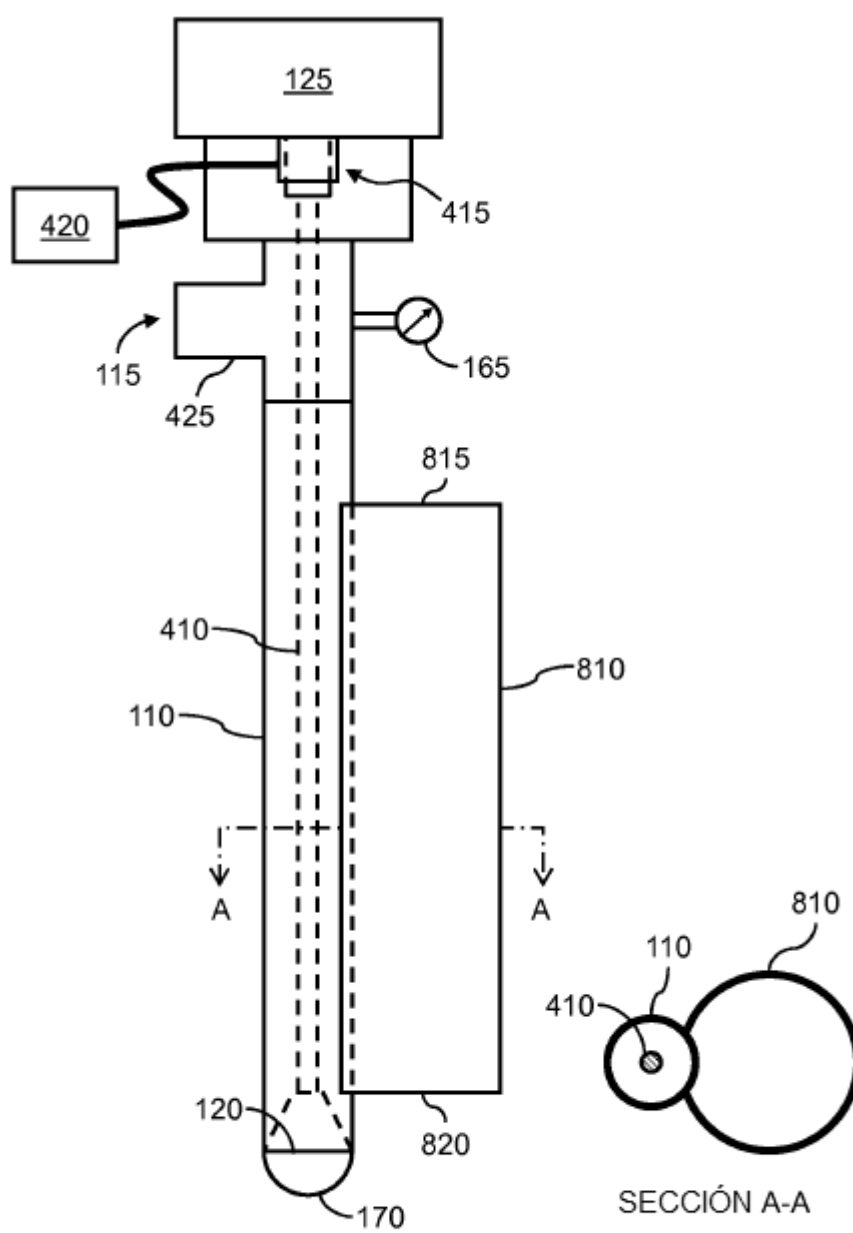


FIG. 8

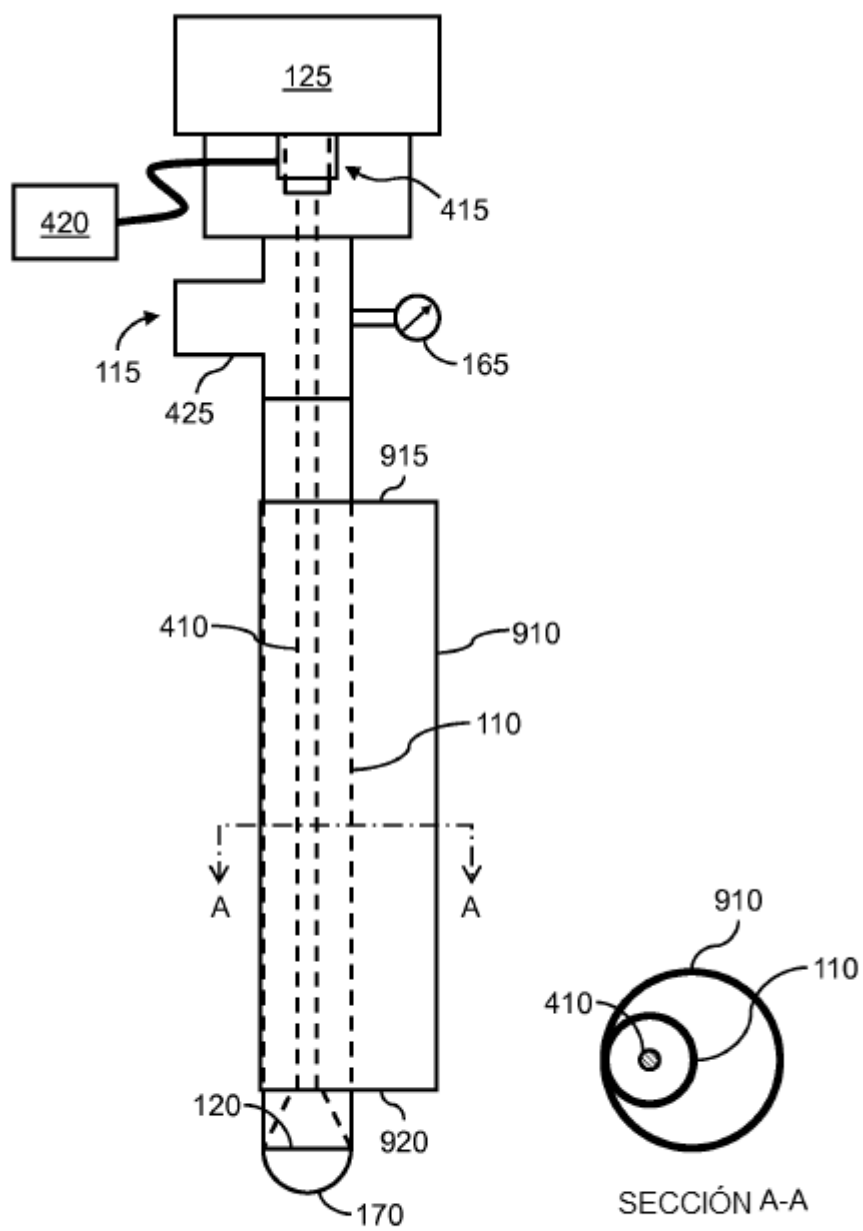


FIG. 9

1000

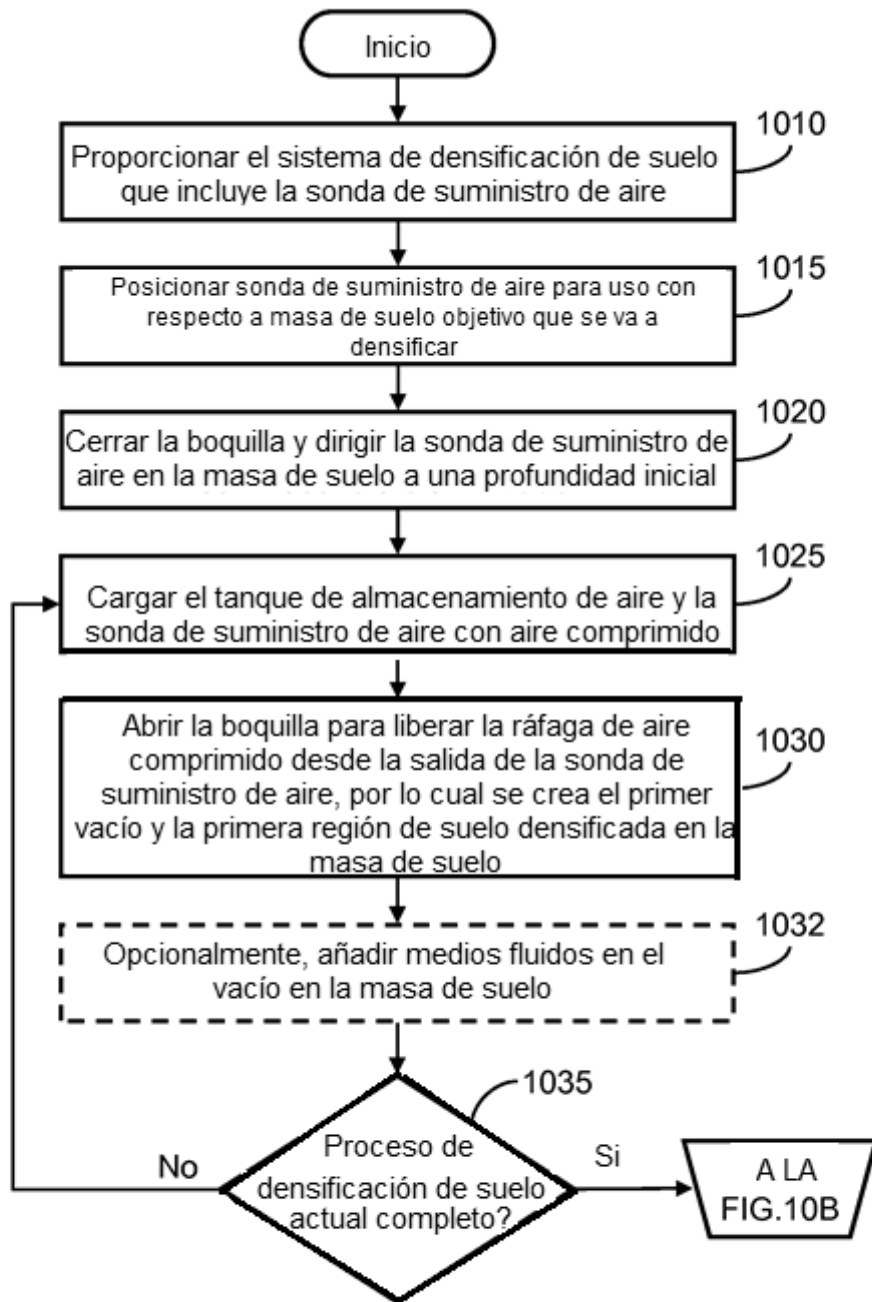


FIG. 10A

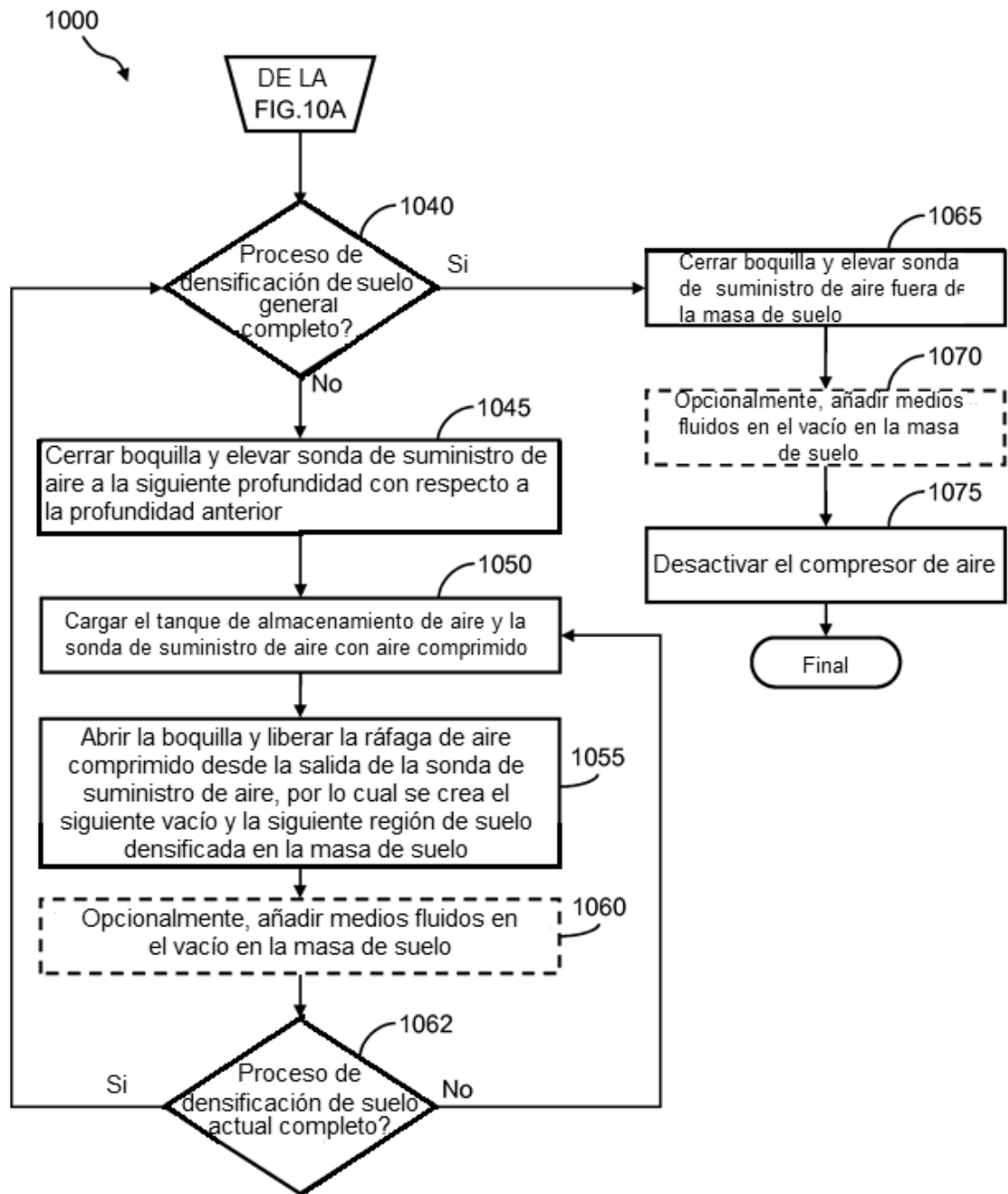


FIG. 10B

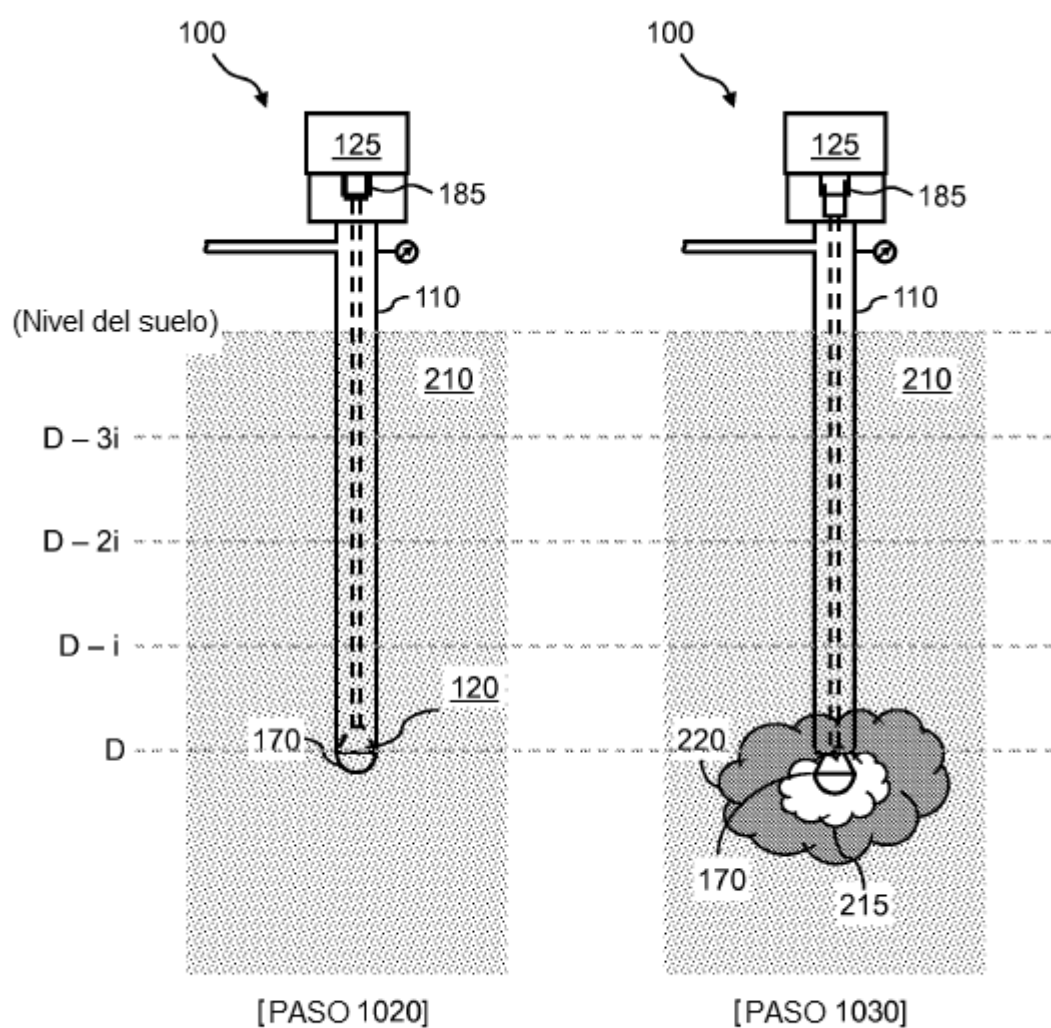
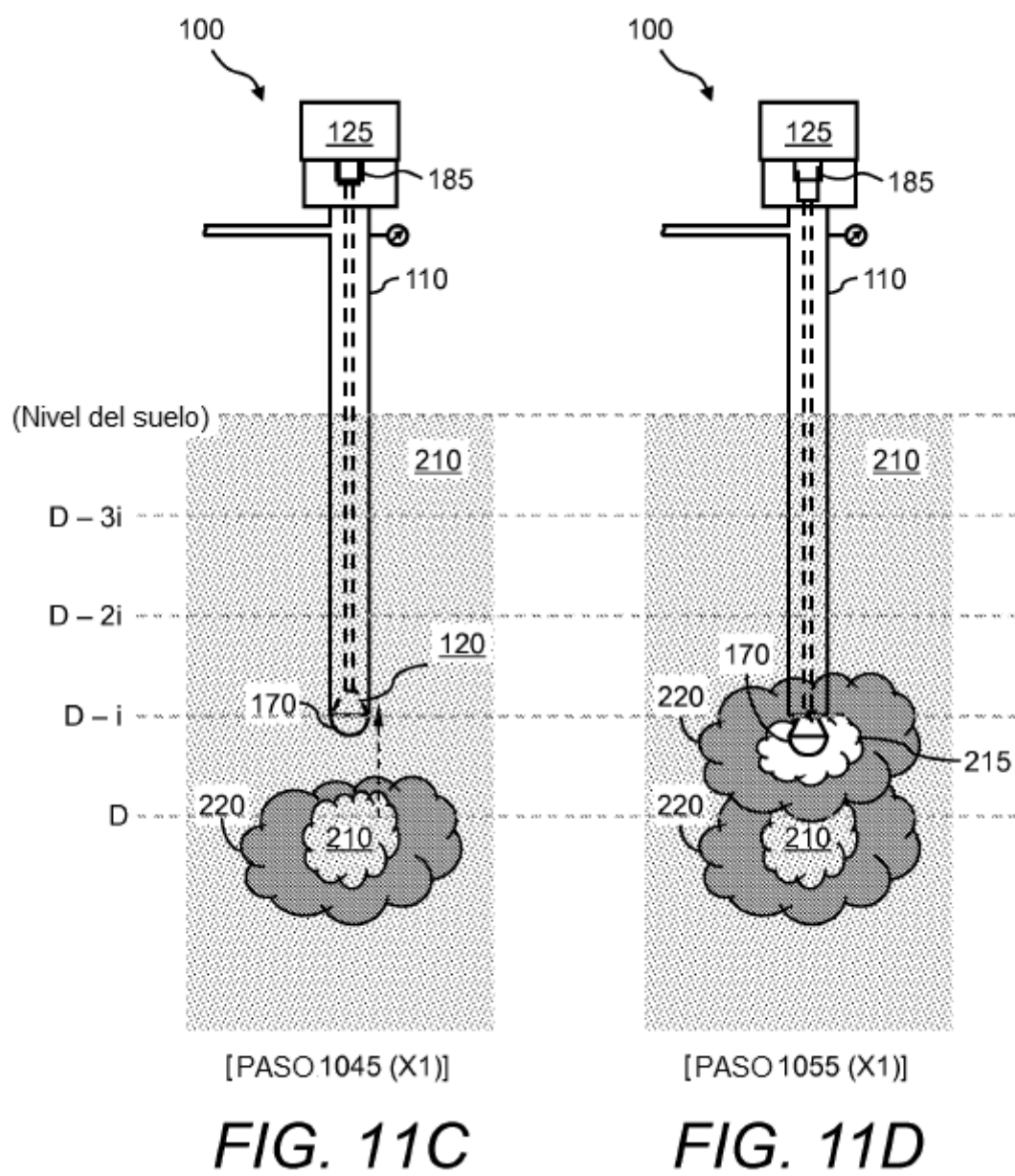


FIG. 11A

FIG. 11B



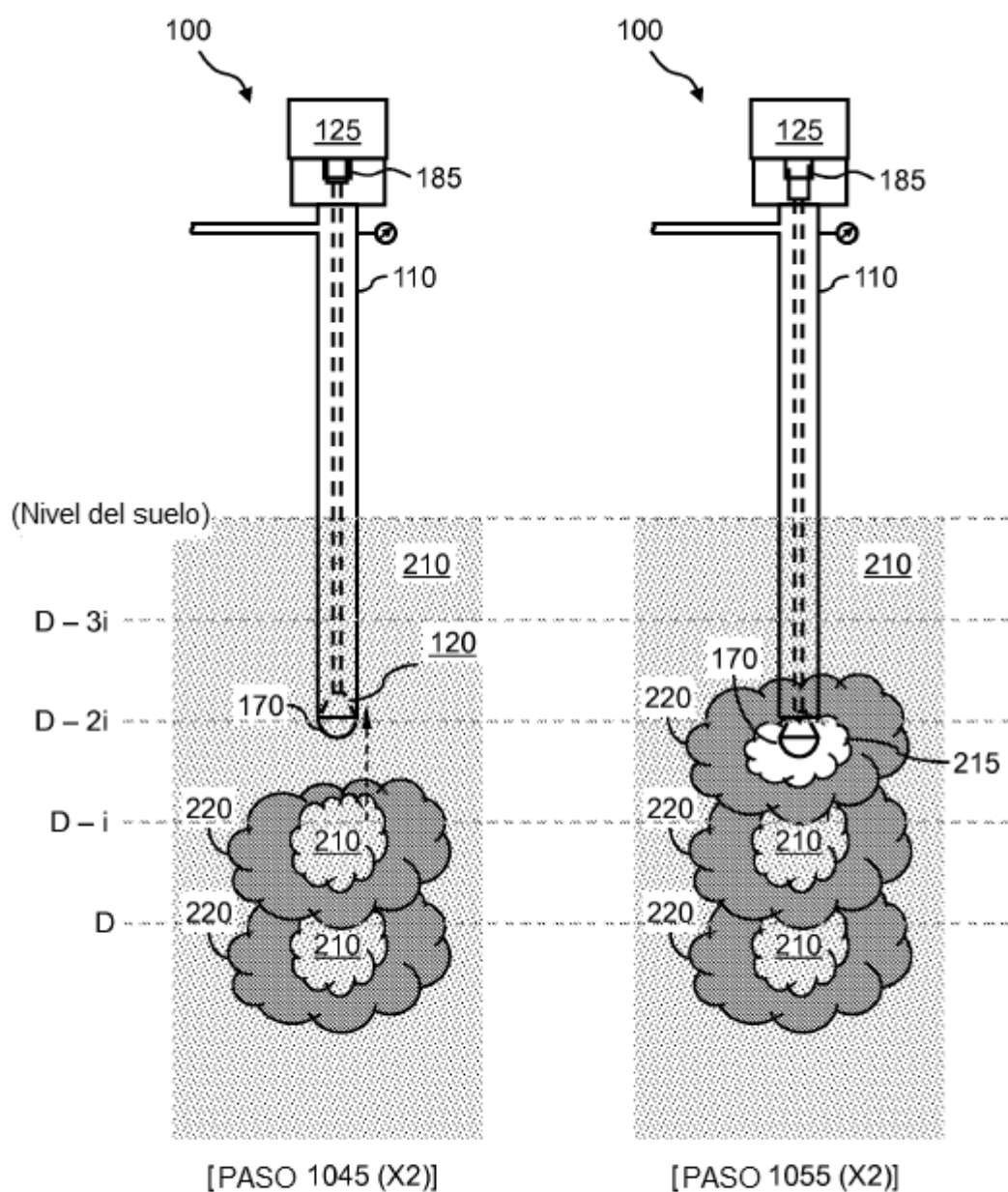


FIG. 11E

FIG. 11F

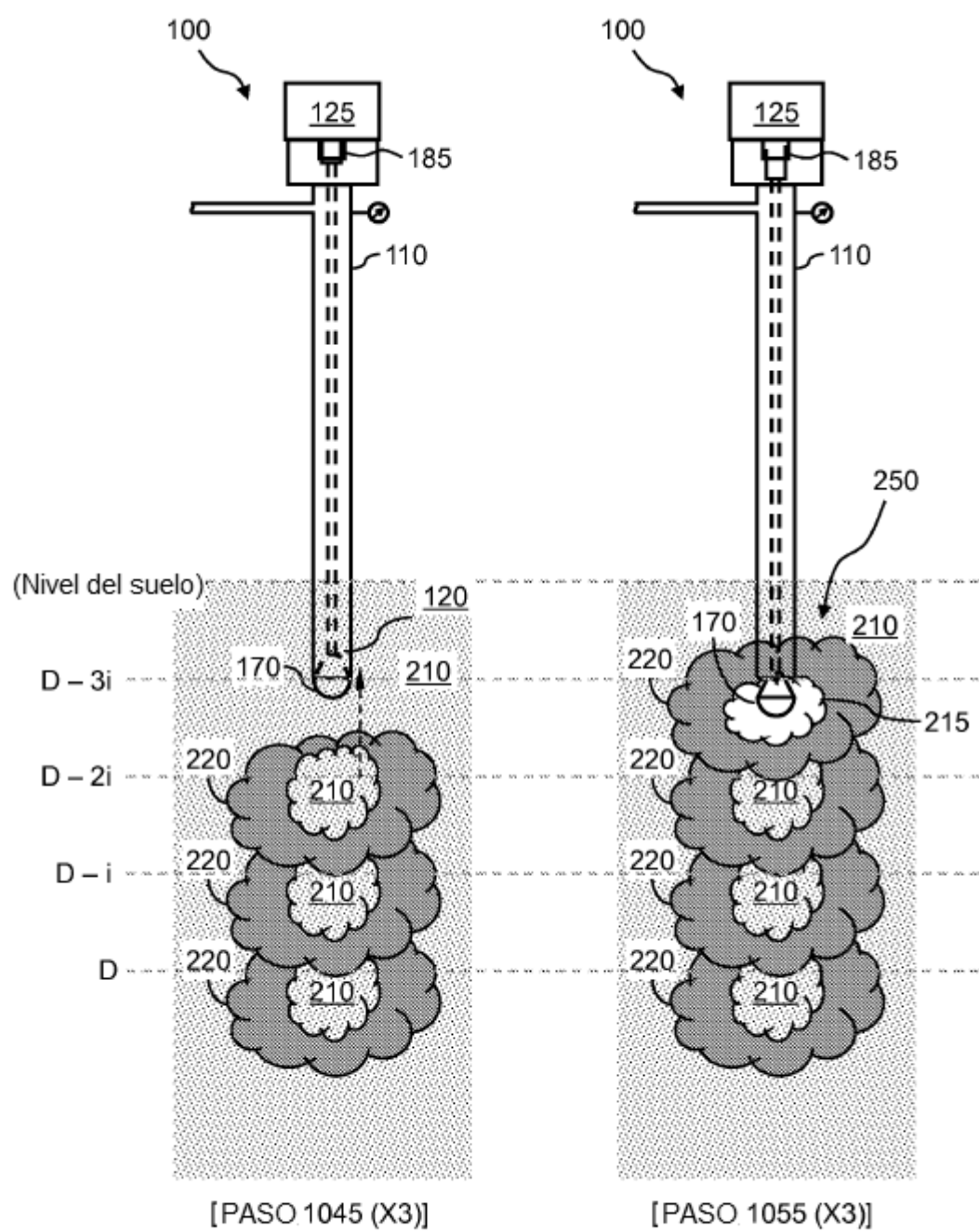


FIG. 11G

FIG. 11H

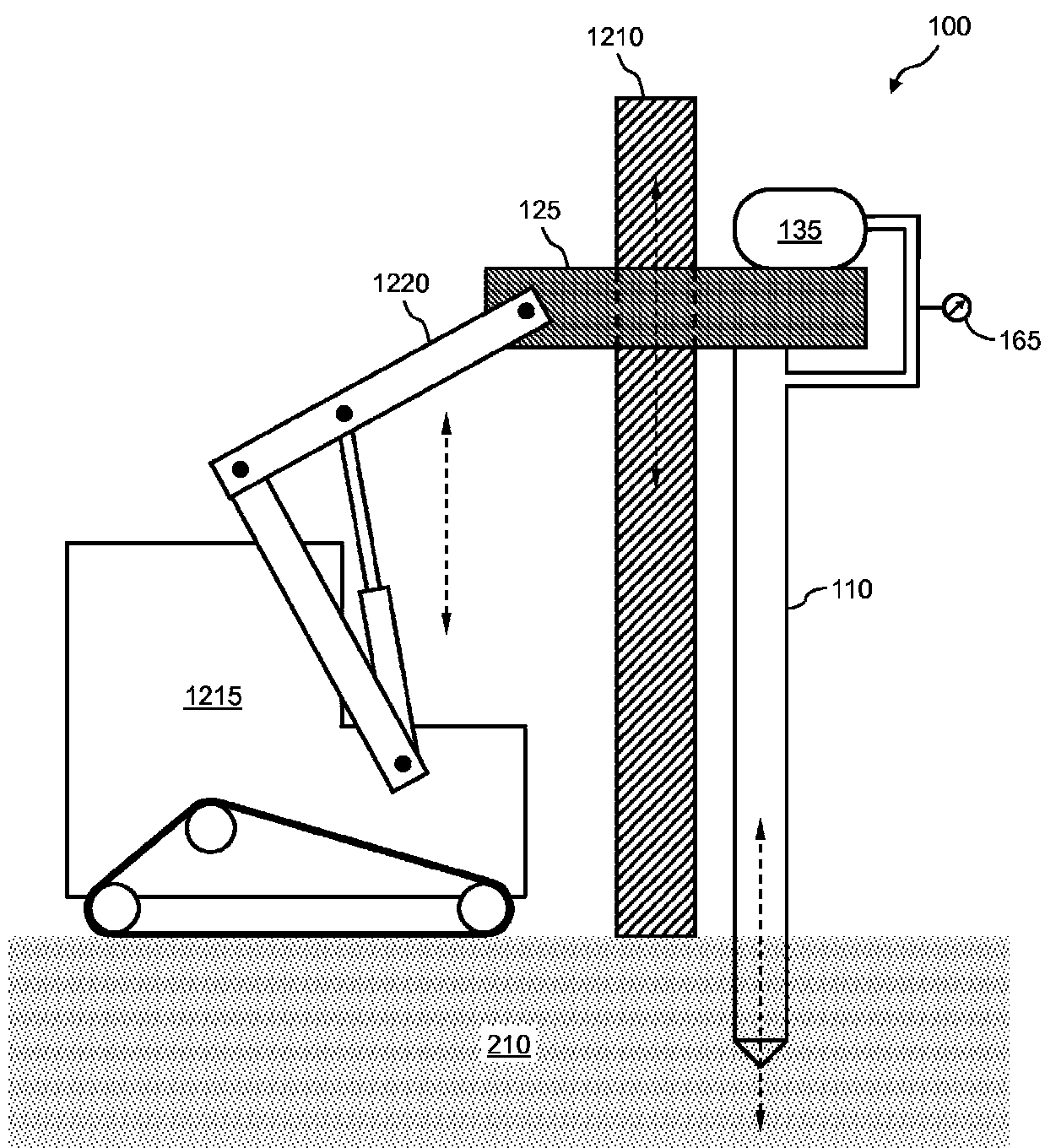


FIG. 12

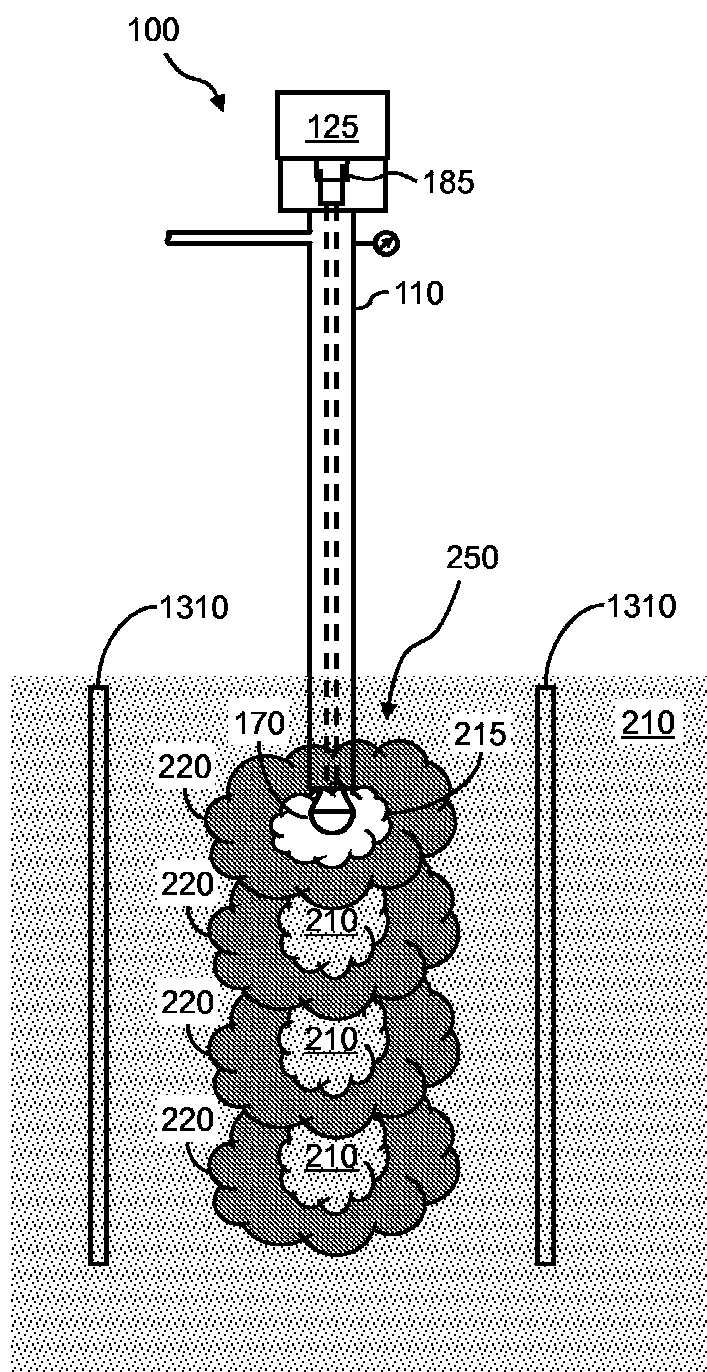


FIG. 13