

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 806 086**

51 Int. Cl.:

E02D 5/38 (2006.01)

E02D 7/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.09.2013 PCT/FR2013/052276**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.04.2014 WO14049278**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.09.2013 E 13779320 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2020 EP 2900876**

54 Título: **Procedimiento de realización de una estructura armada en un suelo**

30 Prioridad:

27.09.2012 FR 1259136

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

16.02.2021

73 Titular/es:

**SOLETANCHE FREYSSINET (100.0%)
280 Avenue Napoléon Bonaparte
92500 Rueil-Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

**VIARGUES, DANIEL y
GUILLON, CHRISTOPHE**

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 806 086 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

Procedimiento de realización de una estructura armada en un suelo

5 Sector de la técnica

La presente invención se refiere al campo del refuerzo de suelos. La invención se refiere, de manera más precisa, a un procedimiento de realización de una estructura armada en un suelo, tal como, por ejemplo, un pilote, un micropilote o incluso una estructura armada para una bóveda de paraguas de micropilotes.

10

Estado de la técnica

Generalmente, la fabricación de un pilote comprende una etapa de realización de una perforación, una etapa de introducción de un elemento de refuerzo en la perforación y una etapa de colocación de la lechada de sellado, al final de la cual se obtiene una estructura armada de tipo pilote.

15

Este procedimiento tradicional de fabricación de una estructura armada, aunque satisfactorio, es relativamente lento de implementar, debido al hecho de que requiere diferentes herramientas para realizar la perforación y para la introducción del elemento de refuerzo y el hormigonado, dependiendo del terreno implicado y de la técnica utilizada. Además, se conoce por el documento DE 10 2007 000328A1 un procedimiento de realización de una estructura armada mediante un tubo de FRP en un suelo, siendo colocado dicho tubo mediante tubos de perforación endo/exoesqueleto que se retiran después de la perforación y antes de la inyección de lechada.

20

Objeto de la invención

25

Un objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento de realización de una estructura armada en un suelo que sea más rápido que los procedimientos tradicionales.

30

La invención logra su objetivo por el hecho de que el procedimiento de acuerdo con la invención comprende las siguientes etapas:

proporcionar una herramienta de perforación que comprende un tubo de perforación con un extremo distal que porta un elemento de corte y medios para hacer vibrar el tubo de perforación;
realizar una perforación en el suelo con ayuda de la herramienta de perforación mientras se hace vibrar el tubo de perforación, llevando el tubo de perforación a una profundidad predeterminada;
cuando el tubo de perforación ha alcanzado la profundidad predeterminada, inyectar una lechada de sellado en el tubo de perforación con el fin de incrustar el tubo de perforación en la lechada de sellado, luego separar el tubo de perforación de la herramienta de perforación, gracias a lo cual se obtiene una estructura armada provista de un elemento de refuerzo constituido por el tubo de perforación.

35

40

De este modo, de acuerdo con la invención, el tubo de perforación se separa y se deja en la perforación para constituir el elemento de refuerzo de la estructura armada.

45

Por lo tanto, se entiende que, de acuerdo con la invención, el tubo de perforación sirve tanto de medio de perforación como de conducto de guiado para bombear la lechada de sellado en la perforación y de elemento de refuerzo de la estructura armada. De preferencia, el extremo distal del tubo de perforación presenta al menos una perforación y el fluido de perforación se inyecta en el tubo de perforación, de modo que el tubo de perforación también sirve de conducto de guiado para bombear el fluido de perforación en la perforación.

50

De este modo, gracias a la invención, las etapas de inyección de fluido de perforación, de lechada de sellado en la perforación y de introducción del elemento de refuerzo se llevan a cabo de forma mucho más rápida que en el procedimiento tradicional.

55

Además, la realización de la perforación haciendo vibrar el tubo de perforación y, por lo tanto, el elemento de perforación, permite facilitar la penetración del elemento de perforación en el suelo, gracias a lo cual la velocidad de instalación de la estructura armada en el suelo mejora aún más. De preferencia, durante la perforación, también se hace girar el tubo de perforación, con el fin de modificar la posición de los dientes de corte dispuestos en el extremo distal del tubo de perforación.

60

De manera ventajosa, la frecuencia de vibración aplicada al tubo de perforación está comprendida entre 50 Hz y 200 Hz.

65

De preferencia, el diámetro del elemento de corte es mayor que el diámetro del tubo de perforación, lo que permite asegurar que la lechada de sellado recubre de forma adecuada el tubo de perforación.

ES 2 806 086 T3

Por extremo distal se entiende el extremo del tubo de perforación que está distante de los medios para accionar en rotación el tubo de perforación. Por lo tanto, el otro extremo, que se encuentra cerca de los medios para accionar en rotación el tubo de perforación, se denominará extremo proximal.

5 Para permitir el flujo del fluido de perforación y de la lechada de sellado en la perforación, se entiende que el extremo distal del tubo de perforación presenta al menos una perforación. Preferiblemente, el elemento de perforación comprende una periferia anular provista de dientes de corte y, de preferencia, porta un elemento de corte diametral. Por dientes de corte se entienden las herramientas de perforación en general, tales como púas, botones, pastillas de carburo de tungsteno, etc. El elemento de corte diametral permite incrementar la superficie de interacción entre el elemento de corte y el terreno, de modo que el elemento de corte pueda realizar una perforación sobre una superficie más grande que la del elemento de corte. En consecuencia, la eficacia del procedimiento mejora aún más.

10 El elemento de corte diametral puede entenderse en el sentido de que la herramienta de corte es una herramienta de "cara completa" que incorpora al menos una perforación.

De manera ventajosa, se inyecta un fluido de perforación en el tubo de perforación durante la realización de la perforación. Preferiblemente, se usa la lechada de sellado como fluido de perforación.

20 De acuerdo con una variante, también se introduce un equipo de refuerzo adicional en la herramienta de perforación, por ejemplo, una barra metálica. Este equipo de refuerzo adicional se introduce, por ejemplo, después de la etapa de perforación y justo antes de la etapa de inyección de la lechada de sellado.

25 De manera ventajosa, durante la inyección de lechada de sellado, se hace vibrar el tubo de perforación, de preferencia, sin accionarlo en rotación. Por lechada de sellado se entiende cualquier producto de sellado a base de cemento, de escorias o de cualquier otro aglutinante.

30 Estas vibraciones permiten facilitar el flujo de la lechada de sellado en la perforación, lo que tiene la consecuencia de mejorar aún más la velocidad de ejecución del procedimiento de acuerdo con la invención y la calidad del sellado de la armadura en el suelo.

35 Preferiblemente, se fijan medios de centrado al tubo de perforación con el fin de asegurar que el elemento de refuerzo quede sustancialmente centrado en la perforación durante la inyección de la lechada de sellado, para garantizar el adecuado recubrimiento del elemento de refuerzo con la lechada de sellado.

Se entiende que estos medios de centrado, junto con el elemento de corte, permiten garantizar que el elemento de refuerzo quede bien recubierto de lechada de sellado.

40 De acuerdo con una variante, la dirección de perforación está inclinada con respecto a una dirección vertical.

El procedimiento permite, en particular, realizar perforaciones horizontales.

45 De preferencia, la dirección de la perforación está inclinada con respecto a la dirección vertical en un ángulo estrictamente mayor que 90°. Esto tiene la ventaja de permitir realizar estructuras armadas ascendentes.

De acuerdo con una realización ventajosa, se calcula una frecuencia de vibración objetivo y se hace vibrar el tubo de perforación a dicha frecuencia de vibración objetivo mientras se realiza la perforación.

50 Esta frecuencia de vibración objetivo, que se aplica al tubo de perforación, se selecciona, de manera óptima, con el fin de facilitar la operación de perforación, en especial en suelos particularmente duros. De forma general, el cálculo se efectúa a partir de modelos de fenómenos de perforación.

55 De manera ventajosa, el cálculo hace uso de la longitud del tubo de perforación. De preferencia, la frecuencia de vibración objetivo es una función de la longitud del tubo de perforación, mientras que también está limitada por un valor de frecuencia máxima predeterminado que, de preferencia, corresponde a la frecuencia máxima que pueden desarrollar los medios para hacer vibrar el tubo de perforación. Este valor de frecuencia máxima predeterminado está preferiblemente comprendido entre 100 y 160 Hz. Más preferiblemente, el cálculo hace uso de un valor constante correspondiente a la velocidad de propagación de las ondas de compresión en el tubo de perforación, dependiendo esta velocidad del material del que está constituido el tubo de perforación.

60 De manera preferible, pero no necesariamente, la frecuencia de referencia objetivo es igual a:

- $F_{m\acute{a}x}$ (valor de frecuencia máxima predeterminado) si $F_{m\acute{a}x} < (V)/(2 \cdot L)$, en donde V es la velocidad de propagación de las ondas de compresión en el tubo de perforación y L la longitud del tubo de perforación, O:
- $(n \cdot V)/(2 \cdot L)$ si $F_{m\acute{a}x} > (V)/(2 \cdot L)$, en donde n es un número entero mayor o igual a 1 seleccionado de modo que $(n \cdot V)/(2 \cdot L) \leq F_{m\acute{a}x}$ y $((n+1) \cdot V)/(2 \cdot L) > F_{m\acute{a}x}$.

Los inventores han descubierto que esta fórmula permite obtener una frecuencia de vibración objetivo óptima, que mejora de forma considerable la eficacia de la operación de perforación.

Este cálculo se efectúa con un ordenador que tiene incorporados los medios de cálculo apropiados.

5 Para realizar perforaciones profundas, se incrementa la longitud del tubo de perforación durante la realización de la perforación. Para ello, se usan porciones de tubo que se fijan de extremo a extremo durante la perforación con el fin de incrementar la longitud de la perforación. En consecuencia, a los efectos de la invención, se entiende por tubo de perforación tanto un único tubo de perforación como una pluralidad de elementos tubulares fijados de extremo a extremo, por ejemplo, mediante atornillado.

De manera ventajosa, se recalcula la frecuencia de vibración objetivo con cada incremento de la longitud del tubo de perforación.

15 Esto tiene la ventaja de asegurar una perforación con una eficacia óptima sobre toda la profundidad de perforación.

Según una primera realización, se implementa el procedimiento de acuerdo con la invención para realizar un micropilote.

20 Según una segunda realización, se implementa el procedimiento de acuerdo con la invención para realizar una bóveda de paraguas de micropilotes.

Descripción de las figuras

25 La invención se entenderá mejor a partir de la lectura de la siguiente descripción de realizaciones de la invención expuestas a modo de ejemplos no limitantes, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- La Figura **1A** ilustra la etapa de perforación del procedimiento de acuerdo con la invención;
- La Figura **1B** ilustra la etapa de inyección de la lechada de sellado en el tubo de perforación;
- 30 • La Figura **1C** es una vista en sección longitudinal de un micropilote obtenido mediante la implementación del procedimiento de acuerdo con la invención.
- La Figura **2** es una vista en sección longitudinal de una estructura armada de una bóveda de paraguas de micropilotes obtenida mediante la implementación del procedimiento de acuerdo con la invención; y
- La Figura **3** muestra esquemáticamente el procedimiento de optimización de la frecuencia de vibración aplicada al tubo de perforación.

Descripción detallada de la invención

40 Con ayuda de las Figuras **1A** a **1C**, se describirá un primer modo de implementación del procedimiento de acuerdo con la invención, en el que se realiza una estructura armada en un suelo **S**, siendo dicha estructura armada en este ejemplo un micropilote **M**.

45 Conforme al procedimiento de acuerdo con la invención, se proporciona una herramienta de perforación **10** que comprende un tubo de perforación **12** constituido por una pluralidad de elementos tubulares **12a**, **12b**, **12c**, ... Estos elementos tubulares están fijados entre sí de extremo a extremo para constituir el tubo de perforación **12**.

50 Por lo tanto, se entiende que la longitud **L** del tubo de perforación **12** varía mientras se realiza la perforación. De manera más precisa, mientras se realiza la perforación, y a medida que la herramienta de perforación penetra en el suelo, se añade un nuevo elemento tubular a los ya introducidos en el suelo, con el fin de aumentar la longitud **L** del tubo perforación **12**.

55 El tubo de perforación **12** comprende un extremo distal **14**. En el ejemplo de la Figura **1A**, la dirección de perforación es vertical hacia abajo, de modo que el extremo distal corresponde, en este caso, al extremo inferior del tubo de perforación. El extremo distal porta un elemento de corte **16**. Como puede observarse en la Figura **1A**, el diámetro **D** del elemento de corte es preferiblemente mayor que el diámetro **d** del tubo de perforación **12**.

En este ejemplo, el elemento de corte **16** es una pieza accesoria que está montada en el extremo distal **14** del tubo de perforación **12**.

60 El tubo de perforación **12** incorpora, además, un extremo proximal **17** que está conectado en este ejemplo a los medios **18** para accionar en rotación el tubo de perforación **12** y a los medios **20** para hacer vibrar el tubo de perforación **12**.

65 En este ejemplo, los medios **18** para accionar en rotación el tubo de perforación **12** comprenden un motor hidráulico.

Los medios **20** para hacer vibrar el tubo de perforación, en este caso, un generador de vibraciones **20**, permiten generar ondas de compresión que se transmiten a lo largo del tubo de perforación **12** desde el extremo proximal **17** hacia el extremo distal **14**.

5 En la Figura **1A**, la referencia **L** designa la longitud del tubo de perforación **12**. Esta longitud corresponde, de hecho, a la distancia entre los medios **20** para hacer vibrar el tubo de perforación **12** y el extremo distal **14** del tubo de perforación **12**, que esencialmente corresponde a la distancia entre los extremos distal y proximal del tubo de perforación.

10 Conforme a la invención, la perforación **F** se realiza en el suelo **S** con ayuda de la herramienta de perforación **10** haciendo girar el tubo de perforación alrededor del eje vertical **A** gracias a los medios de accionamiento en rotación **18** y haciéndolo vibrar gracias a los medios **20** para hacer vibrar el tubo de perforación **12**.

15 Durante la realización de la perforación, se inyecta un fluido de perforación en el tubo de perforación para eliminar los escombros excavados por el elemento de corte **16**. Como puede observarse en la Figura **1A**, el elemento de corte **16** comprende perforaciones **26** a través de las cuales el fluido de perforación sale del tubo de perforación antes de subir a la superficie mientras fluye entre el tubo de perforación y la pared de la perforación **F**.

20 Luego, como se muestra en la Figura **1B**, cuando el tubo de perforación **12** ha alcanzado la profundidad predeterminada **H**, se inyecta una lechada de sellado **C** en el tubo de perforación. Se trata de una lechada de cemento. El hecho de que el diámetro **D** del elemento de corte **16** sea mayor que el diámetro **d** del tubo de perforación permite centrar de forma notable el tubo de perforación en su extremo distal **16**. Además, como puede observarse en la Figura **1B**, el tubo de perforación **12** está provisto de medios de centrado **30** que se fijan a lo largo del tubo de perforación **12**.

25 Estos medios de centrado **30** tienen, en particular, el propósito de asegurar el centrado del tubo de perforación **12** al pie de la perforación **F** durante la inyección de la lechada de sellado, con el fin de asegurar el recubrimiento del tubo de perforación con la lechada de sellado. Por lo tanto, los medios de centrado **30** están dispuestos para evitar que la pared del tubo de perforación entre en contacto con el terreno. En este ejemplo, los medios de centrado **30** adoptan la forma de aletas que se fijan a la pared exterior del tubo de perforación **12**. La lechada de sellado **C** fluye a través de las perforaciones **26** de modo que el tubo de perforación **12** quede incrustado en la lechada **C**.

30 En este ejemplo, durante la inyección de la lechada de sellado **C**, se hace vibrar el tubo de perforación **12** sin accionarlo en rotación, lo que permite favorecer el flujo de la lechada de sellado en la perforación **F**.

35 Después de la inyección de la lechada de sellado, se ajusta el tubo de perforación a su posición final, por lo general, ligeramente más alta que la profundidad perforada, se asegura su mantenimiento en esa posición y se separa el tubo de perforación **12** de la herramienta de perforación **10**. En otras palabras, el tubo de perforación **12** se deja en la perforación relleno de lechada.

40 Antes de que se haya asentado completamente la lechada de sellado, se añade, en este ejemplo, un equipo de fijación **40**, por ejemplo, una barra metálica corta, al extremo superior de la perforación **F**, al final de lo cual se obtiene la estructura armada en forma de micropilote **M**, que comprende un elemento de refuerzo que está constituido por la herramienta de perforación **12**.

45 En la Figura **2**, se muestra una estructura armada **100** que se obtiene mediante la implementación del procedimiento de acuerdo con la invención, en el que la dirección de perforación **F'** está inclinada con respecto a la dirección vertical de un ángulo estrictamente mayor que 90°. En este ejemplo, se fabrica una bóveda de paraguas de micropilotes **V** constituida por una pluralidad de estructuras armadas ascendentes **100**.

50 De acuerdo con un aspecto particularmente ventajoso de la invención, en la realización de las perforaciones **F** y **F'** descritas anteriormente, se busca optimizar la frecuencia de vibración con el fin de maximizar la energía de perforación transmitida por el tubo de perforación **12**. Para hacer esto, se calcula una frecuencia de vibración objetivo que se aplica mediante el generador de vibraciones al tubo de perforación **12**.

55 Por lo tanto, se hace vibrar el tubo de perforación **12** a la frecuencia de vibración objetivo mientras se realizan las diversas perforaciones **F**, **F'**. Por lo tanto, se entiende que esta frecuencia de vibración objetivo es una frecuencia de vibración que se aplica al tubo de perforación. En este caso, estas vibraciones son ondas de compresión que se transmiten a lo largo del tubo de perforación, definiendo vientres y nodos. Estas ondas de vibración hacen que el tubo de perforación **12** entre en resonancia, o al menos a una frecuencia cercana a su frecuencia de resonancia, lo que produce una energía máxima sobre el elemento de corte **16**, con el efecto de incrementar de forma notable la eficacia de perforación y, por lo tanto, la eficacia global del procedimiento de acuerdo con la invención.

60 El cálculo de la frecuencia de vibración objetivo comprende, en primer lugar, una etapa **S100** durante la cual se introduce de forma manual o se determina de forma automática la longitud **L** del tubo de perforación **12**. Por lo tanto, se supone, en este caso, que el tubo de perforación se hace vibrar sobre toda su longitud.

Luego, a partir de esta longitud, se calcula la frecuencia de vibración objetivo durante una etapa **S102** a partir de la longitud **L** del tubo de perforación, de la velocidad de propagación de la onda de compresión en el tubo de perforación **12**, que en este ejemplo está hecho de acero.

5 Más preferiblemente, el cálculo hace uso de un valor constante correspondiente a la velocidad de propagación de las ondas de compresión en el tubo de perforación, dependiendo esta velocidad del material del que está constituido el tubo de perforación.

10 Conforme a la invención, en la medida en que la longitud del tubo de perforación **12** incrementa durante la realización de la perforación debido a la adición sucesiva de elementos tubulares **12a**, **12b**, ..., se recalcula la frecuencia de vibración objetivo con cada incremento de la longitud del tubo de perforación. Esto permite mantener una frecuencia de vibración óptima durante todo el procedimiento de perforación.

15 [0059] La frecuencia de vibración objetivo así calculada se muestra a continuación como una sugerencia al operador. En otra realización, también puede enviarse como punto de referencia al generador de vibraciones **20** durante una etapa **S104**.

De manera preferible, pero no necesariamente, la frecuencia objetivo de referencia es igual a:

- 20
- $F_{m\acute{a}x}$ (valor de frecuencia máxima predeterminado) si $F_{m\acute{a}x} (V)/(2*L)$, en donde V es la velocidad de propagación de las ondas de compresión en el tubo de perforación y L la longitud del tubo de perforación, O:
 - $(n*V)/(2*L)$ si $F_{m\acute{a}x} > (V)/(2*L)$, en donde n es un número entero mayor o igual a 1 seleccionado de modo que $(n*V)/(2*L) \leq F_{m\acute{a}x}$ y $((n+1)*V)/(2*L) > F_{m\acute{a}x}$.

25 En el siguiente ejemplo, V es igual a 5000 m/s y $F_{m\acute{a}x}$ es igual a 130 Hz.

La longitud de la perforación, **L**, es igual a la suma de las longitudes de los elementos tubulares **12a**, **12b**, **12c**, ... En este ejemplo, los elementos tubulares tienen la misma longitud unitaria, a saber, una longitud de 3 metros.

30 Se obtiene la siguiente tabla de resultados:

Número de tubos	L (m)	2L	V/(2*L)	n	F objetivo (Hz)
5	15	30	167		130 ($F_{m\acute{a}x}$)
6	18	36	139		130 ($F_{m\acute{a}x}$)
7	21	42	119	1	119
8	24	48	104	1	104
9	27	54	93	1	93
10	30	60	83	1	83
11	33	66	76	1	76
12	36	72	69	1	69
13	39	78	64	2	128
14	42	84	60	2	120
15	45	90	56	2	112
16	48	96	52	2	104
17	51	102	49	2	98
18	54	108	46	2	93
19	57	114	44	2	88
20	60	120	42	3	126
21	63	126	40	3	120
22	66	132	38	3	114
23	69	138	36	3	108

ES 2 806 086 T3

(continuación)

Número de tubos	L (m)	2L	V/(2*L)	n	F objetivo (Hz)
24	72	144	35	3	105
25	75	150	33	3	99
26	78	156	32	4	128
27	81	162	31	4	124

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de realización de una estructura armada (M, 100) en un suelo, que comprende las siguientes etapas:
- 5 proporcionar una herramienta de perforación (10) que comprende un tubo de perforación (12) con un extremo distal que porta un elemento de corte (16) y medios (20) para hacer vibrar el tubo de perforación (12); realizar una perforación (F, F') en el suelo (S) con ayuda de la herramienta de perforación (10) mientras se hace vibrar el tubo de perforación (12), llevando el tubo de perforación (12) a una profundidad predeterminada (H);
- 10 estando dicho procedimiento **caracterizado por que:** cuando el tubo de perforación (12) ha alcanzado la profundidad predeterminada, se inyecta una lechada de sellado (C) en el tubo de perforación con el fin de incrustar el tubo de perforación (12) en la lechada de sellado (C); y luego
- 15 se separa el tubo de perforación de la herramienta de perforación, gracias a lo cual se obtiene una estructura armada (M, 100) provista de un elemento de refuerzo constituido por el tubo de perforación (12).
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el diámetro (D) del elemento de corte (16) es mayor que el diámetro (d) del tubo de perforación.
- 20 3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que, durante la inyección de la lechada de sellado, se hace vibrar el tubo de perforación (12).
4. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que se fijan medios de centrado al tubo de perforación (12) con el fin de asegurar el centrado del elemento de refuerzo en la perforación (F) durante la inyección de la lechada de sellado.
- 25 5. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la dirección (B) de la perforación (F') está inclinada con respecto a una dirección vertical.
- 30 6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la dirección (B) de la perforación está inclinada con respecto a la dirección vertical de un ángulo que es estrictamente mayor que 90°.
7. Procedimiento de inyección de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que se inyecta la lechada de sellado en el tubo de perforación durante la perforación, de modo que la lechada de sellado también se
- 35 usa como fluido de perforación.
8. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que se calcula una frecuencia de vibración objetivo y se hace vibrar el tubo de perforación a dicha frecuencia de vibración objetivo mientras se realiza la perforación.
- 40 9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, en el que se incrementa la longitud del tubo de perforación durante la perforación y se recalcula la frecuencia de vibración objetivo con cada incremento de la longitud del tubo de perforación.
- 45 10. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8 o 9, en el que, para calcular la frecuencia objetivo, se hace uso de la longitud (L) del tubo de perforación (12), de la velocidad de propagación (V) de las ondas de compresión en el tubo de perforación (12) y de un valor de frecuencia máxima predeterminado (Fmáx).
- 50 11. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en el que la frecuencia de vibración objetivo es igual a:
- un valor de frecuencia máxima predeterminado, Fmáx, si $F_{máx} < (V)/(2 \cdot L)$, en donde V es la velocidad de propagación de las ondas de compresión en el tubo de perforación y L la longitud del tubo de perforación, O:
 - $(n \cdot V)/(2 \cdot L)$ si $F_{máx} > (V)/(2 \cdot L)$, en donde n es un número entero mayor o igual a 1 seleccionado de modo que
- 55 $(n \cdot V)/(2 \cdot L) \leq F_{máx}$ y $((n+1) \cdot V)/(2 \cdot L) > F_{máx}$.
12. Procedimiento de fabricación de un micropilote (M) en el que se implementan las etapas del procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.
- 60 13. Procedimiento de fabricación de una bóveda de paraguas de micropilotes (V) en el que se implementan las etapas del procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.

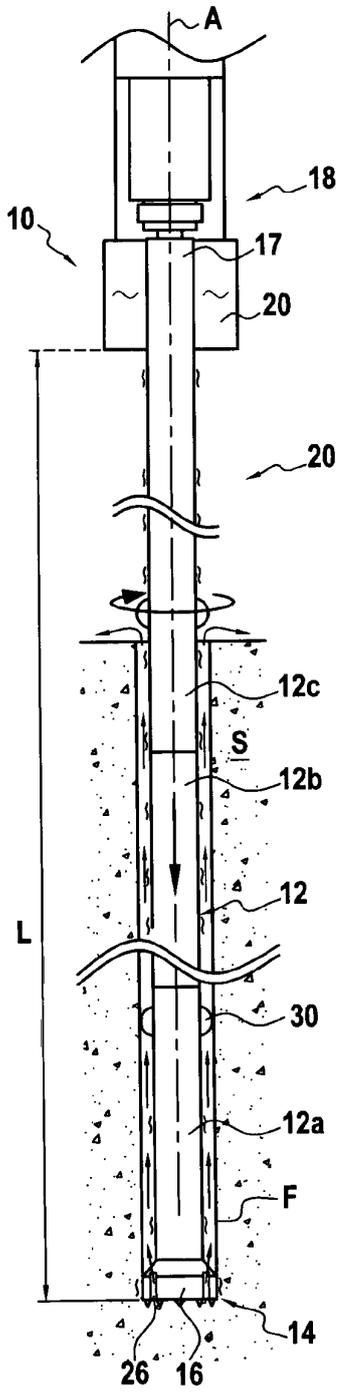


FIG. 1A

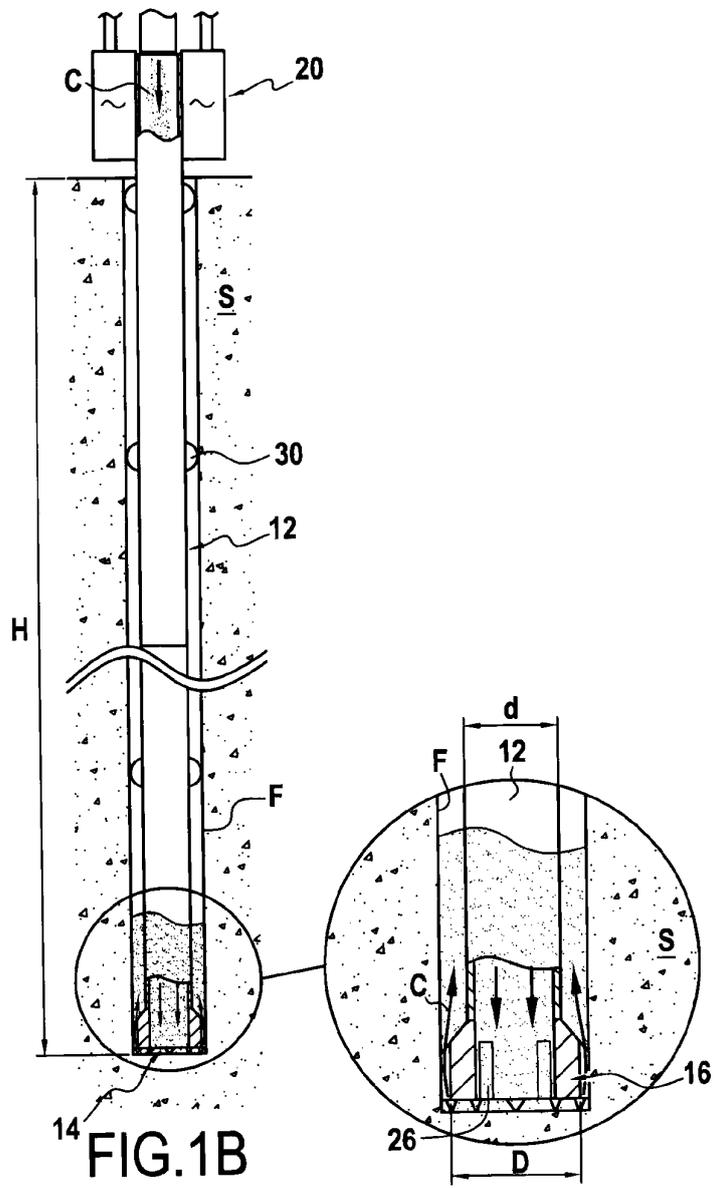


FIG. 1B

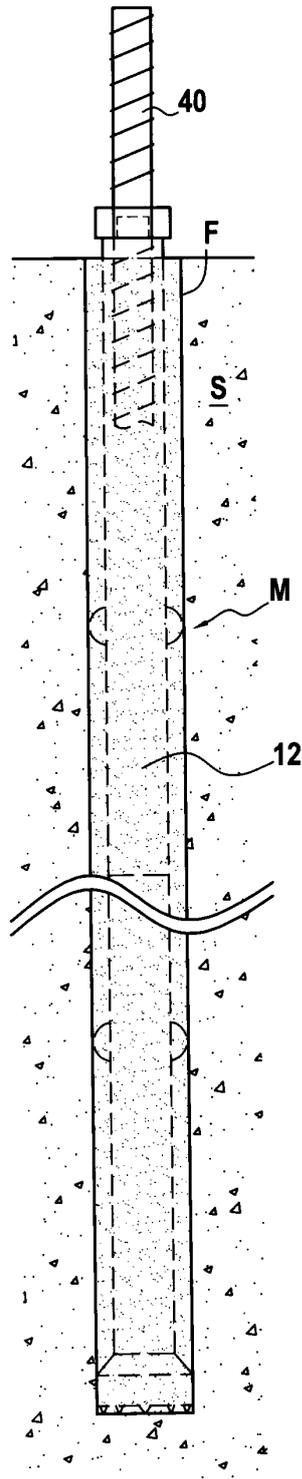


FIG.1C

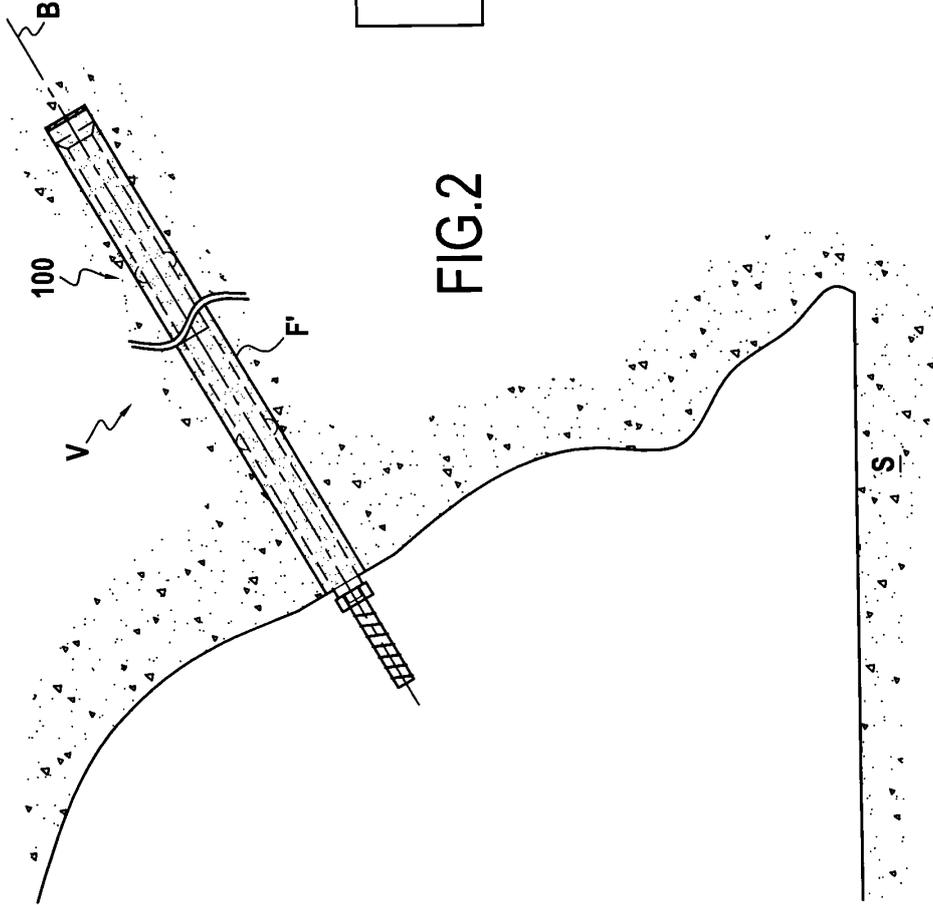


FIG. 2

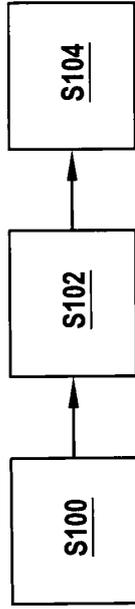


FIG. 3