

REPUBLICA DE COLOMBIA



Organización y
Digitalización S.A. Ltda.



PATENTE DE INVENCION

EXPEDIENTE No.

10-61060

Contiene los documentos relativos a la solicitud de registro de:

Título: METODO Y APARATO PARA CONSTRUIR
PILARES DE SOPORTE A PARTIR DE UNO
O MÁS ESCALONES SUCESIVOS
FORMADOS EN UNA MATRIZ DE SUELO.

Clase: de la Clasificación Internacional de Niza

Solicitante : GEOPIER FOUNDATION COMPANY,
INC.

De CAROLINA DEL NORTE, USA.

Apoderado: MAURICIO JARAMILLO

Bogotá, D.C., Mayo de 2010

Cm,
22-05-2010



No. 10-061060- -00000-0000

FORMULARIO UNICO

Fecha: 2010-05-21 15:58:06 Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Tra. 11 PATENTEIYII Eve: 378 FASENACIONALI
Act. 411 PRESENTACION Folios: 121

ENTRADA EN FASE NACIONAL

1

SOLICITUD DE :

☒ Patente de Invención.

☐ Patente de Modelo de Utilidad

☒ Capitulo I

☐ Capitulo II

2

SOLICITANTE
(71)

Nombre: GEOPIER FOUNDATION COMPANY, INC.

Dirección: 150 FAIRVIEW ROAD SUITE 335, MOORES-
VILLE, CAROLINA DEL NORTE 28117

Teléfono: Fax:

E-Mail:

Domicilio: ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

IDENTIFICACION

C.C. ☐ NIT ☐

C.E. ☐ Otro ☐

Número

3

REPRESENTANTE
O APODERADO

Nombre: MAURICIO JARAMILLO CAMPUZANO

Dirección: CRA. 9 No. 73-24 , BOGOTA COLOMBIA

Teléfono: 310 7055 Fax: 310 6657

E-Mail: mjaramillo@gpzlegal.com

IDENTIFICACIÓN

C.C. ☒ NIT ☐

C.E. ☐ Otro ☐

Número 80.421.942 TP 74.555 C.S.J.

4

INVENTOR (ES)
(72)

Nombre: Nathaniel S. FOX
Lorenz WEPPLER

Dirección: 2747 Paradise Road Suite 31-03, Las
Vegas, Nevada 89109, E.U.A.
Am Honigbaum 20, D-65817 Eppstein,
Alemania

Domicilio: ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

C.C. ☐ NIT. ☐

5

PTC (86)

Solicitud internacional No. PCT/US2008/080644 Fecha 21/10/2008

Publicación Internacional No. WO/2009/055389 Fecha 30/04/2009

6

TITULO (54)

METODO Y APARATO PARA CONSTRUIR PILARES DE SOPORTE A PARTIR DE UNO O MÁS ESCALONES
SUCEIVOS FORMADOS EN UNA MATRIZ DE SUELO

7

Clasificación Internacional (51) E02D 3/12 (2006.01), E02D 5/46 (2006.01)

8

Prioridad

SI ☒ NO ☐

(33) País de Origen

ESTADOS UNIDOS DE
AMERICA

(32) Fecha

22/10/2007

(31) Número de Solicitud

11/876,556

9

Comprobante de pago No. Fecha:

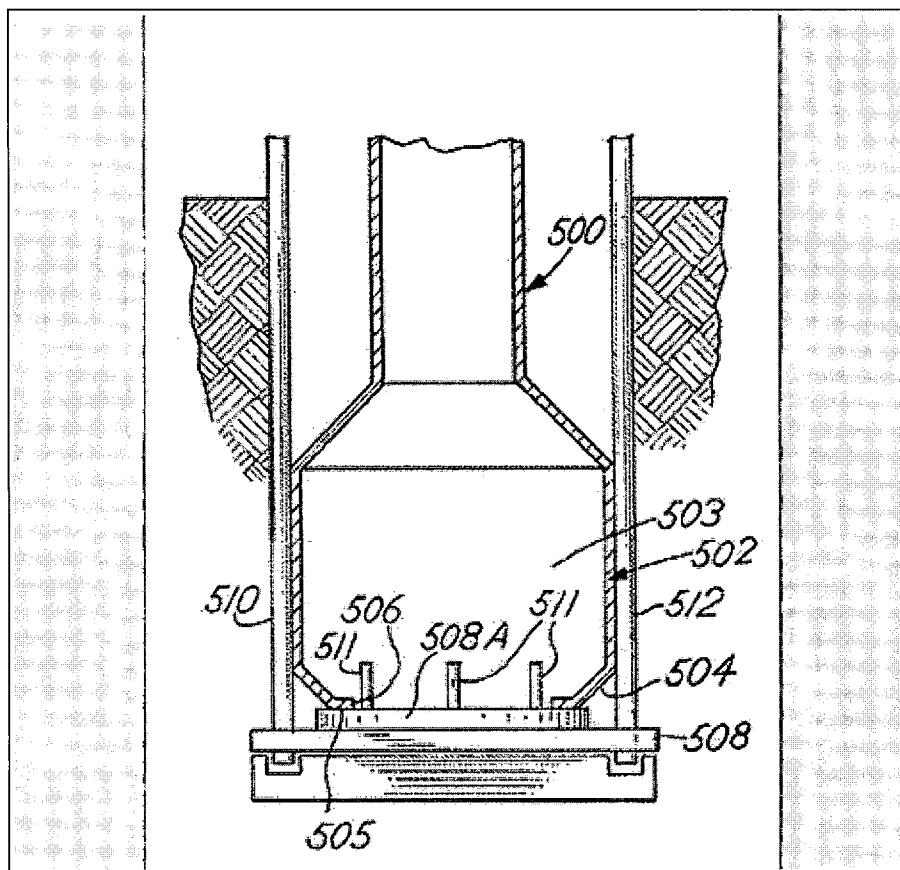
Instrucciones para el diligenciamiento del presente formulario, ver reverso de esta página.

10

Anexos

- ☒ Comprobante de pago de la tasa de presentación de la solicitud
- ☒ Documento que acredite la existencia y representación legal cuando el solicitante sea persona jurídica
- ☒ Poderes, si fuere el caso EXPEDIENTE 08-43762
- ☐ Documento de cesión del inventor al solicitante o a su causante
- ☐ Declaraciones
- ☒ Copia de la solicitud internacional (resumen, descripción, reivindicaciones, dibujos)
- ☒ Traducción simple de la primera solicitud, si se reivindica prioridad
- ☐ Copia del examen preliminar internacional efectuado por la Autoridad Internacional de Examen Preliminar (IPEA)
- ☐ Traducción del examen preliminar internacional efectuado por la IPEA
- ☐ De ser el caso, copia del contrato de acceso
- ☐ De ser el caso, documento que acredite la licencia o autorización de uso de conocimientos tradicionales de las comunidades indígenas
- ☐ De ser el caso, certificado de depósito del material biológico
- ☒ Arte final 12 x 12
- ☐ De ser el caso, información sobre otras solicitudes de patente o títulos en el extranjero por el mismo titular o su causante, relacionadas parcial o totalmente con la invención de esta solicitud
- ☐ De ser el caso, modificaciones efectuadas a la solicitud internacional

11 FIGURA CARACTERISTICA:



12 solicito la concesión de la patente

NOMBRE: MAURICIO JARAMILLO CAMPUZANO

FIRMA:

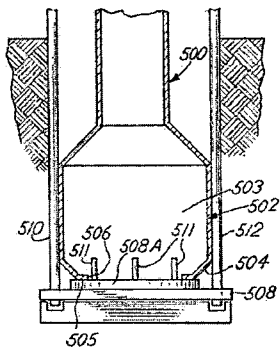
C.C. 80.421.942 de Usaquén T.P. 74.555 C.S.J.

Instrucciones para el diligenciamiento del presente formulario, ver reverso de esta página.

 SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO DIVISION DE NUEVAS CREACIONES EXTRACTO PARA PUBLICACION SOLICITUD DE PATENTE DE INVENCION PCT	
(21) N. De solicitud : (22) fecha de solicitud : (30) prioridad (31) No. Prioridad (32) fecha 1: 11/876,556 - 22/10/2007 – US (33) país ESTADOS UNIDOS DE AMERICA	(51) Int. Cl: <i>E02D 3/12</i> (2006.01), <i>E02D 5/46</i> (2006.01) (71) Solicitante (s) GEOPIER FOUNDATION COMPANY, INC. (72) Inventor (es) Nathaniel S. FOX Lorenz WEPPLER (74) Apoderado: MAURICIO JARAMILLO CAMPUZANO
(85) Fecha limite inicio fase nacional: 22.05.2009 (86) Datos relativos a la presentación de la solicitud PCT Fecha de presentación de la solicitud: 21/10/2008 No. De solicitud: PCT/US2008/080644	(87) publicación internacional fecha (dd/mm/aa): 30/04/2009 N. publicación: WO/2009/055389
(54) Titulo: METODO Y APARATO PARA CONSTRUIR PILARES DE SOPORTE A PARTIR DE UNO O MÁS ESCALONES SUCESIVOS FORMADOS EN UNA MATRIZ DE SUELO	

RESUMEN

Un método y aparato para formar un pilar de material inerte de soporte que tiene escalones de material inerte compactado en una matriz de suelo, incluye un tubo hueco alargado con un elemento de cabezal inferior de extremo delantero bulboso que se fuerza o se desciende en la matriz de suelo. El tubo hueco incluye un mecanismo para liberar el material inerte desde el elemento de cabezal inferior del tubo, a medida que el tubo se eleva en incrementos predeterminados. El mismo tubo hueco se desciende o empuja entonces en incrementos predeterminados para compactar verticalmente el material inerte liberado en escalones de material inerte delgados, mientras se fuerza una porción del material inerte compactado transaxialmente hacia la matriz de suelo en las paredes laterales de la cavidad. El proceso puede repetirse para formar una serie de escalones de material inerte compactado que comprenden un pilar de material inerte, o el proceso puede incluir la formación solamente de un único escalón para el pilar de material inerte mientras se densifica el suelo de matriz adyacente y se imparte una tensión lateral en estos suelos.



(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau



(43) International Publication Date
30 April 2009 (30.04.2009)

PCT

(10) International Publication Number
WO 2009/055389 A2

(51) International Patent Classification:
E02D 3/12 (2006.01) *E02D 5/46* (2006.01)

(21) International Application Number:
PCT/US2008/080644

(22) International Filing Date: 21 October 2008 (21.10.2008)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
11/876,556 22 October 2007 (22.10.2007) US

(71) Applicant (for all designated States except US):
GEOPIER FOUNDATION COMPANY, INC. [US/US];
150 Fairview Road, Suite 335, Mooresville, North Carolina 28117 (US).

(72) Inventors; and

(75) Inventors/Applicants (for US only): **FOX, Nathaniel S.** [US/US]; 2747 Paradise Road, Suite 31-03, Las Vegas, Nevada 89109 (US). **WEPPLER, Lorenz** [US/DE]; Am Honigbaum 20, D-65817 Eppstein (DE).

(74) Agent: **E. ERIC MILLS**; Ward and Smith, P.A., 1001 College Court, P.O. Box 867, New Bern, North Carolina 28563-0867 (US).

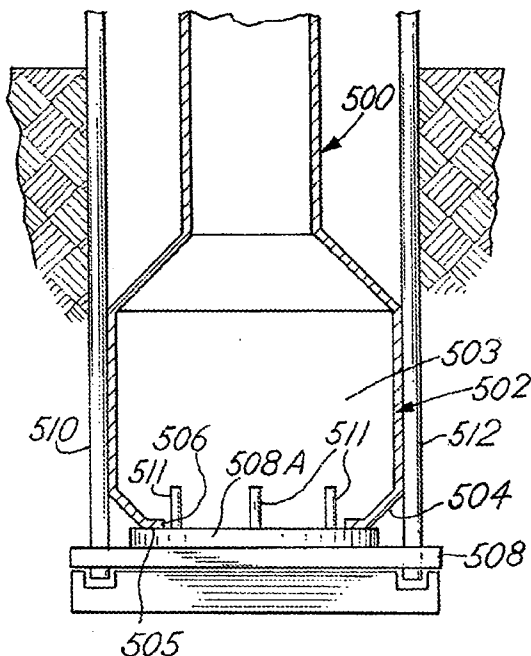
(81) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of national protection available): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of regional protection available): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Continued on next page]

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR BUILDING SUPPORT PIERS FROM ONE OR MORE SUCCESSIVE LIFTS FORMED IN A SOIL MATRIX

FIG.27



(57) Abstract: A method and apparatus for forming a support aggregate pier having compacted aggregate lifts in a soil matrix, includes an elongate, hollow tube with a bulbous leading end and bottom head element that is forced or lowered into the soil matrix. The hollow tube includes a mechanism for releasing aggregate from the lower head element of the tube as the tube is lifted in predetermined increments. The same hollow tube is then lowered or pushed in predetermined increments to vertically compact the released aggregate in thin aggregate lifts, while forcing a portion of the compacted aggregate transversally into the soil matrix at the sidewalls of the cavity. The process may be repeated to form a series of compacted aggregate lifts comprising an aggregate pier or the process may include forming only a single lift for the aggregate pier while densifying adjacent matrix soils and imparting lateral stress in these soils.

METHOD AND APPARATUS FOR BUILDING SUPPORT PIERS FROM ONE OR MORE SUCCESSIVE LIFTS FORMED IN A SOIL MATRIX

1 Related Applications

5 This application claims priority to U.S. Patent Application Serial No. 11/876,556 filed October 22, 2007 and which is incorporated herein by reference. Serial No. 11/876,556 is a continuation-in-part application of Serial No. 11/747,271 filed May 11, 2007 which is a continuation of 10/728,405 filed February 12, 2004 which is a utility application based upon provisional application Serial No. 60/513,755 filed October 23, 2003, all of which
10 are incorporated herein by reference.

2 Background of the Invention

In a principal aspect, the present invention relates to a method and apparatus for constructing a support pier comprised of one or more compacted lifts of aggregate material. The apparatus enables formation or construction of a single or multi-lift pier within a soil matrix while simultaneously reinforcing the soil adjacent the pier. The
15 apparatus thus forms a cavity in the soil matrix by forcing a hollow tube device into the soil matrix followed by raising the tube device, releasing or injecting aggregate through the tube device into the cavity section beneath the raised tube device and then for multi-lift piers driving, pushing, lowering, and/or forcing, the tube device downward to compact
20 the released aggregate material while simultaneously forcing the aggregate material vertically downward and laterally outward into the surrounding soil matrix.

In U.S. Patent No. 5,249,892, incorporated herewith by reference, a method and apparatus are disclosed for constructing short aggregate piers in situ. The process includes drilling a cavity in a soil matrix and then introducing and compacting successive layers or lifts of
25 aggregate material in the cavity to form a pier that can provide support for a structure. Such piers are made by first drilling a hole or cavity in a soil matrix, then removing the drill, then placing a relatively small, discrete layer of aggregate in the cavity, and then ramming or tamping the layer of aggregate in the cavity with a mechanical tamper. The mechanical tamper is typically removed after each layer is compacted, and additional
30 aggregate is then placed in the cavity for forming the next compacted layer or lift. The

lifts or layers of aggregate, which are compacted during the pier forming process, typically have a diameter of 2 to 3 feet and a vertical rise of about 12 inches.

5 This apparatus and process produce a stiff and effective stabilizing column or pier useful for the support of a structure. However this method of pier construction has a limitation in terms of the depth at which the pier forming process can be accomplished economically, and the speed with which the process can be conducted. Another limitation is that in certain types of soils, especially sand soils, cave-ins occur during the cavity drilling or forming process and may require the use of a temporary casing such as a steel pipe casing. Use of a temporary steel casing significantly slows pier production and therefore
10 increases the cost of producing piers. Thus, typically the process described in Patent No. 5,249,892 is limited to forming piers in limited types of soil at depths generally no greater than approximately 25 feet.

15 As a result, there has developed a need for a unique pier construction process and associated special mechanical apparatus which can be successfully and economically utilized to form or construct aggregate piers at greater depths, at greater speeds of installation, and in sands or other soils that collapse and are unstable when drilled, without the need for a temporary casing, yet having the attributes and benefits associated with the short aggregate pier method, apparatus, and construction disclosed in Patent No. 5,249,892, as well as additional benefits.

20 3 Brief Description of the Invention

Briefly, the present invention comprises a method for installation of a pier formed from one or more layers or formed lifts of aggregate material, with or without additives, and includes the steps of positioning or pushing or forcing an elongate hollow tube having a special shaped bottom head element and unique tube configuration into a soil matrix,
25 filling the hollow tube including the bottom head element with an aggregate material, releasing a predetermined volume of aggregate material from the bottom head element as the hollow tube is lifted a predetermined incremental distance in the cavity formed in the soil matrix, and then imparting an axial, static vector force and optional dynamic vector forces onto the hollow tube and its special bottom head element to transfer energy via the
30 lower end of the shaped bottom head element of the hollow tube to the top of the lift of released aggregate material thereby vertically compacting the lift of aggregate material

and also, simultaneously forcing a portion of the released aggregate material laterally or transaxially into the sidewalls of the cavity. Lifting of the hollow tube having the special bottom head element followed by pushing down with an applied axial or vertical static vector force and optional dynamic vector forces impacts the aggregate material which is not shielded by the hollow tube from the sidewalls of the cavity at the time of impaction, thereby densifying and vertically compacting the aggregate material as well as forcing a portion of the aggregate material laterally outward into the soil matrix due to the shaped bottom of the bulbous bottom head element facilitating lateral forces on and within the released aggregate material and therefore imparting lateral stress on the adjacent soil matrix. The released, compacted, and partially displaced aggregate material thus defines a "lift" which generally has a lateral dimension or diameter greater than that of the cavity formed by the hollow tube and bulbous bottom head element resulting in a pier construction formed of one or more compacted lifts of aggregate material.

The aggregate material is released from the special bottom head element of the hollow tube as the bulbous bottom head element is lifted, preferably in predetermined incremental steps, first above the bottom of the cavity and then above the top portion of each of the successive pier aggregate lifts that has been formed in the cavity and the adjacent soil matrix by the process. The aggregate material released from the hollow tube is compacted by the compacting forces delivered by the hollow tube and special bottom head element after the hollow tube has been lifted to expose a portion of the cavity while releasing aggregate material into that exposed portion. The hollow tube and bulbous bottom head element is next forced downward to vertically compact the aggregate and to push a portion of the aggregate laterally into the soil matrix. The aggregate material is thereby compacted and partially displaced in predetermined, sequential increments, or lifts. The process is continuously repeated along the length or depth of the cavity with the result that an aggregate pier or column of separately compacted lifts or layers is formed within the soil matrix. A vertically compacted aggregate pier having a length of fifty (50) feet or greater can be constructed in this manner in a relatively short period of time without removal of the hollow tube and special bottom head element from the soil. The resulting vertically compacted aggregate pier also generally has a formed cross sectional dimension consistently greater than that of the hollow tube.

A number of types of aggregate material can be utilized in the practice of the process including crushed stone of many types from quarries, or re-cycled, crushed concrete.

Additives may include water, dry cement, or grout such as water-cement sand-grout, fly-ash, hydrated lime or quicklime, or any other additive may be utilized which may improve the load capacity or engineering characteristics of the formed aggregate pier. Combinations of these materials may also be utilized in the process.

5 The hollow tube with the bulbous bottom head element may be positioned within the soil matrix by pushing and/or vertically vibrating or vertically ramming the hollow tube having the leading end, bulbous bottom head element into the soil with an applied axial or vertical vector static force and optionally, with accompanying dynamic vector forces. The soil matrix, which is displaced by initial forcing, pushing and/or vibrating the hollow tube
10 with the special bottom head element, is generally displaced and compacted laterally and vertically downward into the preexisting soil matrix. If a hard or dense layer of soil is encountered, the hard or dense layer may be penetrated by pre-drilling or pre-penetrating that layer to form a cavity or passage into which the hollow tube and special bottom head element may be placed and driven.

15 The hollow tube is typically constructed from a uniform diameter tube with a bulbous bottom head element and may include an internal valve mechanism near or within the bottom head element or a valve mechanism at the lower end of the head element, or it may not include an internal valve closing and opening mechanism. The hollow tube is generally cylindrical with a constant, uniform, lesser diameter along an upper section of
20 the tube. The bulbous or larger external diameter lower end of the hollow tube (i.e. bulbous bottom head element) is integral with the lesser diameter hollow tube or may be separately formed and attached to the lower end of the lesser diameter hollow tube. That is, the bulbous bottom head element is also typically cylindrical, and has a greater external diameter or external cross sectional profile than the remainder of the hollow tube
25 and is concentric about the center line axis of the hollow tube. The lead end of the bulbous bottom head element is shaped to facilitate penetration into the soil matrix and to transmit desired vector forces to the surrounding soil during penetration as well as to the aggregate material subsequently released from the hollow tube. The transition from the lesser external diameter hollow tube section to the special bottom head element may
30 comprise a frustoconical shape. Similarly, the bottom of the head element may employ a frustoconical or conical shape to facilitate soil penetration and subsequent aggregate compaction. The leading end of the bulbous bottom head element may include a sacrificial cap member which is fixed to the bottom head element while penetrating the

soil matrix upon initial placement of the hollow tube into the soil matrix, to prevent soil from entering the hollow tube. The sacrificial cap may then be released or disengaged from the end of the hollow tube to reveal an end passage when as the hollow tube is first lifted so that aggregate material may be released through the hollow tube and may flow into the cavity which results from lifting the hollow tube.

Alternatively, or in addition, the leading end of the bulbous bottom head element may include an internal mechanical valve that is closed during initial penetration of the soil matrix by the hollow tube and bulbous bottom head element, but which may be opened during lifting to release aggregate material. Other types of leading end valve mechanisms and shapes may be utilized to facilitate initial matrix soil penetration, prevent soil entrance into the hollow tube, permit release of aggregate material when the hollow tube is lifted, and to transmit vector forces in combination with the leading end of the special bottom head element to compact the successive aggregate lifts.

Further, the apparatus may include means for positioning one or more vertical uplift members within the formed pier for subsequent use as a vertical uplift anchor force resistance member, as well as for a tell-tale member within the formed pier for measuring the movement of the bottom of the formed pier upon loading, such as during load testing. Such ancillary features or means may be introduced through the interior of the hollow tube during formation of the pier.

Alternatively, uplift anchor rods or a tell-tale rod or rods may be placed on the outside of the hollow tube and the bulbous bottom head element. Such rods would run longitudinally along the length of the hollow tube and head element and thus be positioned at the side of the cavity formed thereby. One, or two or more rods may be placed in such a manner. The rods placed on the outside of the hollow tube and head element may be employed alone or in combination with such rods initially positioned on the inside of the hollow tube.

As yet another feature of the invention, vibration dampers may be employed in combination with a hopper that feeds aggregate or other material into the hollow tube. Thus, two or more dampers may be used and thus, employed in combination with the driving mechanism.

In another aspect of the invention, the diameter of the hollow tube along its longitudinal length between the hopper or top end of the hollow tube and the bulbous bottom head element may be varied. The largest diameter hollow tube section may be positioned at the top of the hollow tube, with progressively smaller diameter sections below the largest diameter section, the smallest of which is joined to the bottom head element. This arrangement can effect reduction in total weight of the hollow tube, while increasing the strength in those portions of the hollow tube where greater strength is required. The hollow tube may be assembled in multiple sections which are bolted, welded or otherwise fastened together. The outer configuration of adjacent sections may also be varied, for example, they may have various geometrical cross sectional shapes such as circular, elliptical, hexagonal, etc. The sections may be pre-assembled or assembled by connecting them seriatim during soil penetration.

In the practice of the method of the invention, it may be advantageous to utilize crushed stone which has angular facets or faces rather than rounded or river stone which is more commonly used with other soil improvement methods. The ability to use crushed stone in the practice of the method enables the use of a material not commonly employed for building such piers and, as such, provides the capability to construct a pier having certain practical advantages such as a higher density and a greater stiffness. Nonetheless, rounded or river stone may also be used. Combinations of such stone including crushed stone and rounded or river stone may also be used.

As another feature of the invention, the hollow tube and bulbous bottom head element may be appropriately guided in movement into the soil matrix by means of an alignment guide. The alignment guide provides an additional function of preventing the hollow tube and special bottom head element from displacing laterally ("kicking out") during initial penetration into the soil matrix. One example of a special alignment guide is a toroidal guide member encircling the hollow tube and fastened to the drive machine to provide for guidance thereof for the hollow tube and bulbous bottom head element. Other forms of special alignment guides can be utilized and more than one alignment guide may be utilized.

As yet another feature, the hollow tube and bulbous bottom head element may be forced or driven into a soil matrix by means of a vibratory hammer which is fastened thereto by means of a lock plate construction. The lock plate is held in position by bolts or rods

which are retained by special lock washers, for example, the special lock washers having the commercial name "Northlock Washers". This arrangement reduces the electricity created between the driving apparatus and the hollow tube with bulbous bottom head element.

5 The typical exterior diameter of a circular cross section embodiment of the special bottom head element is in the range of about 14 inches. Other typical sizes in terms of the diameter of the head element include a head element having a diameter of anywhere from 12 to 16 inches and the range of the practicable diameters of a head element may be from about 10 to about 20 inches. This differs from other tubular apparatus for soil
10 improvement which typically are larger, from 24 to 36 inches in diameter. The shape of the head element in cross section is typically cylindrical, although other shapes may be utilized to provide the relative bulbous shape of the bulbous bottom head element when contrasted with the cross sectional area of the hollow tube section attached thereto.

15 A sensor device may be attached to the bulbous bottom head element to measure the vertical force over time as encountered by the bulbous bottom head element during the vertical compaction and lateral displacement of aggregate process. The sensor device enables measurement of the vertical force and the duration of vertical force being placed thereon. The sensor device can be attached to the bulbous bottom head element, for example, just above the lower shaped portion thereof to provide axial and transaxial
20 readings.

As another feature, the apparatus of the invention may be used in combination with aggregate, with cementitious grout in combination with aggregate, or with concrete, as well as other pier forming materials.

25 As another feature, the apparatus and method of the invention may be utilized in stiff, very stiff, medium dense or hard soils. In certain circumstances, one may pre-drill at least in part the soil at a pier location. Alternatively, it is possible to pre-penetrate the soil at a pier location with a special designed penetration head element fastened to a shaft. The cross sectional area of the shaft is typically less than the maximum cross sectional area of the penetration head element. The maximum diameter of the penetration head element is
30 typically less than the diameter of the bulbous bottom head element attached to the elongate hollow tube. A conical penetration head on a shaft is an effective shape for the

special designed penetration head element, although other configurations may be used. The operation of the pre-penetration step is prior to and typically separate from the steps of installing the pier by means of the hollow tube and bulbous bottom head element.

5 As another feature of the invention, aggregate piers made in accord with the apparatus and method of the invention may be installed at a depth beneath a soil surface. The aggregate pier may then serve as a base or support for an alternative type of pier construction. Thus, two or more different types of pier segments, one of which is the system described herein, may be joined or coupled or stacked to form a single pier.

10 The discharge opening at the extreme distal end of the bulbous bottom head element may vary in size. Typically, since the bottom head element is utilized to discharge aggregate or other similar material from an opening, then a portion of the extreme distal end of the bulbous bottom head element will comprise a generally horizontal structure coupled with a conical or generally conical surface. The bottom opening will typically comprise less than fifty percent of the surface area of the generally horizontal portion or section and the
15 generally conical surface portion. The horizontal bottom portion and the generally conical portion impart forces directly onto aggregate released or discharged from the bottom opening.

20 Thus, it is an object of this invention to provide a hollow tube apparatus with a special design, larger effective diameter than the hollow tube, bulbous bottom head element useful to create a compacted aggregate pier, with or without additives, that extend to a greater depth and to provide an improved method for creating a pier which extends to a greater depth than typically enabled or practiced by known, existing short aggregate pier technology.

25 Yet another object of the invention is to provide an improved method and apparatus for forming a pier of compacted aggregate material that does not require the use of temporary steel casing during the pier formation process, particularly in soils susceptible to caving in such as sandy soils and soils below the ground water table.

30 Yet another object of the invention is to provide an improved method and apparatus for forming a pier of compacted aggregate material that may include a multiplicity of optional additives, including a mix of aggregate, the addition of water, the addition of dry

cement, the addition of cementitious grout, the addition of water-cement-sand, the addition of fly-ash, the addition of hydrated lime or quicklime, and the addition of other types of additives, including the use of concrete, to improve the engineering properties of the matrix soil, of the aggregate materials and of the formed pier.

5 Yet a further object of the invention is to provide an aggregate material pier construction which is capable of being installed in many types of soil and which is further capable of being formed at greater depths and at greater speeds of construction than known prior aggregate pier constructions.

10 Yet a further object of the invention is to provide an improved method and apparatus for forming a pier of compacted aggregate material within a softened or loosened aggregate pier previously formed by different pier construction process and with different apparatus than that described herein in order to stabilize and stiffen the previously formed pier.

15 Another object of the invention is to provide a pier forming apparatus useful for quickly and efficiently constructing compacted multi-lift aggregate piers and/or aggregate piers comprised of as few as a single lift.

These and other objects, advantages and features of the invention will be set forth in the detailed description which follows.

4 Brief Description of the Drawings

20 In the detailed description which follows, reference will be made to the drawing comprised of the following figures:

Figure 1 is a schematic view of a hollow tube with a special bottom head element being pushed, forced or driven into soil by a vertical, static vector force and optional dynamic forces;

25 **Figure 2** is a schematic view of a subsequent step from Figure 1 wherein aggregate material is placed into a hopper and fed into the hollow tube. Hopper may also be detached from the hollow tube and placed on the ground rather than on top of the hollow tube;

Figure 3 is a cross sectional view of a hopper that has double two or more isolation dampers and may be used in combination with the hollow tube;

Figure 3A is a sectional, isometric view of the hopper and hollow tube of Figure 3;

Figure 3B is an isometric view of the hopper and hollow tube of Figure 3;

5 **Figure 4** is a cross sectional schematic view of a hollow tube having an internal pinch or check valve;

10 **Figure 5** is a schematic view depicting the step of optional introduction of water, cementitious grout or other additive material into the hollow tube with recirculation provided to a water or grout reservoir. Additive materials may also be introduced directly into the hollow tube;

Figure 6 is a schematic view depicting a step subsequent to the step of Figure 2 wherein the hollow tube with its bulbous bottom head element are lifted a predetermined distance to temporarily expose a hollow cavity portion in the soil matrix to allow aggregate to quickly fill the exposed hollow cavity portion;

15 **Figure 7** is a schematic view of the process step subsequent to Figure 6 wherein a bottom valve in the bottom portion of the hollow tube is opened releasing aggregate into an unshielded, hollow cavity section;

20 **Figures 8A and 8B** are schematic cross sectional views of an alternative to the device and step represented or illustrated in Figure 7 wherein the bulbous bottom head element of the hollow tube includes a sacrificial cap which is released into the bottom of a formed cavity when the hollow tube and special bottom head element are raised a predetermined distance, as shown in Figure 8B;

Figure 8C is a sectional view of the sacrificial cap of Figure 8B taken along the line 8C—8C in Figure 8B;

25 **Figure 9** is a schematic view wherein the hollow tube and its associated special bottom head element provide a vertical, static vector force with optional dynamic forces to move

the hollow tube and bulbous bottom head element downward a predetermined distance by impacting and compacting the aggregate material released from the hollow tube and by pushing a portion of the aggregate material laterally into the soil matrix;

5 **Figure 10** is a schematic view of the hollow tube and its special bottom head element being lifted a predetermined distance to form a second lift;

Figure 11 is a schematic view of the hollow tube and bulbous bottom head element operating to provide a vertical vector force to move the hollow tube and bulbous bottom head element downward a predetermined distance to form the second compacted lift on the top of a first compacted lift;

10 **Figure 12** is a schematic view of the hollow tube with an optional reinforcing steel rod element or tell-tale element attached to a plate for installation inside of a formed aggregate pier;

Figure 13 is a schematic view of the hollow tube wherein optional water or water-cement-sand grout, or other additive is combined with aggregate in the hollow tube;

15 **Figure 14** is a vertical cross sectional view of the special bottom head element with a trap door-type bottom valve;

Figure 15 is a cross sectional view of the bulbous bottom head element of Figure 14 taken along the line 15--15;

20 **Figure 15A** is a cross sectional view of a portion of an alternative bulbous bottom head element of the type depicted in Figure 14;

Figure 16 is a cross sectional view of the special bottom head element including a sacrificial cap at the lower end similar to Figure 8A;

Figure 17 is a cross sectional view of the special bottom head element with an optional uplift anchor member or tell-tale member attached to a plate;

Figure 18 is a cross sectional view of a partially formed multiple lift aggregate pier formed by the hollow tube and special bottom head element and method of the invention;

Figure 19 is a cross sectional view of a completely formed multiple lift aggregate pier formed by hollow tube and special bottom head element and method of the invention;

5 **Figure 20** is a cross sectional view of a formed, multiple lift aggregate pier with an optional reinforcing steel rod having an attached plate which enables the formed pier to comprise an uplift anchor pier or to include a tell-tale element for subsequent load testing;

Figure 21 is a cross sectional view of formed aggregate pier being preloaded or having an indicator modulus load test being performed on the completed pier;

10 **Figure 22** is a graph illustrating comparative load test plots of the present invention compared with a drilled concrete pile in the same soil matrix formation;

15 **Figure 23** is a schematic, cross sectional view of a method of use of the apparatus of the invention to form a single lift aggregate pier or an aggregate pier wherein a single lift or an extended lift is first formed to fill the cavity with aggregate and then an optional second step may be performed of re-penetrating into the single lift or extended lift to make subsequent thin lifts ;

Figure 24 is a schematic cross sectional view of continuation of the method illustrated by Figure 23;

20 **Figure 25** is a schematic cross sectional view of further continuation of the step depicted in Figure 24;

Figure 26 is a schematic cross sectional view of the further continuation of the method illustrated by Figures 22-24;

Figure 27 is a diagrammatic view illustrating the incorporation of two or more uplift or tell-tale rods external to the hollow tube and attached bottom plate or sacrificial cap;

25 **Figure 27A** is a lateral side view of the construction of Figure 27;

Figure 27B is a bottom plan view of the construction of Figure 27;

Figure 28 is a diagrammatic view illustrating apparatus incorporating different cross sectional area sections of a hollow elongate tube in combination with a bulbous bottom head element;

5 **Figure 29** is a diagrammatic view of an aggregate pier which incorporates uplift anchors;

Figure 30 is a diagrammatic view of an aggregate pier made in accord with the invention which incorporates tell-tale rods utilized for the conduct of load tests;

Figure 31 is a diagrammatic view of an embodiment of the invention apparatus for aligning the hollow tube and bulbous bottom head upon for insertion into a soil matrix;

10 **Figure 32** is a diagrammatic view of a bulbous bottom head element incorporating a sensor device for measuring force or pressure over time during the making of an aggregate pier;

15 **Figure 33** is an exploded diagrammatic view of apparatus for attachment of a vibratory hammer to a hollow tube in order to effect positioning of the hollow tube and bulbous bottom head element into a soil matrix;

Figure 34 is a diagrammatic view of a soil matrix pre-penetration device which may be used in combination with apparatus comprising an embodiment of the invention;

20 **Figure 35** is a diagrammatic view of a pier comprised of a composite of pier sections made in accord with a method of the invention in combination with other methods to result in a new combination;

Figure 36 is a bottom end view of a bulbous bottom head element depicting the orifice or opening at the extreme distal end thereof for the passage of aggregate and/or other material;

25 **Figure 37** is a diagrammatic drawing of an alternate construction comprising a telescoping hollow tube; and

Figure 38 is a further diagrammatic drawing of the embodiment of Figure 37.

5 Detailed Description of the Invention

5.1 General Construction

Figures 1, 2, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 18, 19, 20 and 23-26 illustrate the general overall method of construction of the pier forming device or mechanism and various as well as alternative sequential steps in the performance of the method of the invention that produce the resultant aggregate pier construction. Referring to Figure 1, the method is applicable to placement of piers in a soil matrix which requires reinforcement for the soil to become stiffer and/or stronger. A wide variety of soils may require the practice of this invention including, in particular, sandy and clay soils. With the invention, it is possible to construct piers comprised of one or more lifts, utilizing aggregate materials and optionally utilizing aggregate materials with additive materials such as water, cement, sand or grout. The resulting piers have greater stiffness and strength than many prior art aggregate piers, can economically be extended to or built to greater depths than many prior art aggregate piers, can be formed without use of temporary steel casing unlike many prior art aggregate piers, can be installed faster than many prior art aggregate piers, can be installed using less aggregate materials per foot of pier length than many prior art aggregate piers, and can be installed without causing soil matrix spoils from being discharged or accumulating at the ground surface in the vicinity of the top of pier.

As a first step of the method, a hollow tube or hollow shaft 30 having a longitudinal axis 35 including or with a special bottom head element 32, is pushed by a static, axial vector force driving apparatus 37 in Figure 3 and optionally vertically (axially) vibrated or rammed or both, with dynamic vector forces, into a soil matrix 36. The portion of soil matrix 36, that comprises the volume of material displaced by pushing a length of the hollow tube 30 including the bulbous bottom head element 32, is forced primarily laterally thereby compacting the adjacent soil matrix 36. As shown in Figure 1, the hollow tube 30 may comprise a cylindrical steel tube 30 having a longitudinal axis 35 and an external diameter in the range of 6 to 14 inches, for example. In the event that a layer of hard or dense soil prevents pushing of the hollow tube 30 and special bottom head element 32 into the soil matrix 36, such hard or dense layer may be pre-drilled, or pre-penetrated, and the pushing process may then continue utilizing the driving apparatus 37.

Typically, the hollow tube 30 has a uniform cylindrical external shape, although other shapes may be utilized. Though the external diameter of the hollow tube 30 is typically 6 to 14 inches, other diameters may be utilized in the practice of the invention. Also, typically, the hollow tube 30 will be extended or pushed into the soil matrix 36 to the ultimate depth of the aggregate pier, for example, up to 50 feet or more. The hollow tube 30 will normally fasten to an upper end drive extension 42 which may be gripped by a drive apparatus or mechanism 37 to push and optionally vibrate or ram, the hollow tube 30 into the soil matrix 36. Alternately, as shown in Fig 33, the hollow tube 30 may be fastened to a base plate 558 and from the base plate to the drive apparatus 556.

Figures 3, 3A and 3B illustrate a feature that may be associated with the hopper 34 when the hopper is located at the top of the hollow tube 30. Double isolation dampers 46, 48 are affixed to the upper and lower sides of the hopper 34 to reduce the vibration buildup of the hopper 34 and thereby provide a hopper assembly with greater structural integrity. An extension 42 is affixed to hollow tube 30 to impart the static and dynamic forces on the tube 30. Extension 42 is isolated from hopper 34 and thus is slidable relative to dampers 46, 48.

The hopper 34, which contains a reservoir 43 for aggregate materials, when located at the top of the hollow tube 30, will typically be isolated by the isolation dampers 46, 48 from extension 42. The vibrating or ramming device 37 which is fastened to extension 42 may be supported from a cable or excavator arm or crane. The weight of the hopper 34, ramming or vibrating device 37 (with optional additional weight) and the hollow tube 30 may be sufficient in some matrix soil conditions to provide a static force vector without requiring use of a separate static force drive mechanism. The static force vector may optionally be augmented by a vertically vibrating and/or ramming dynamic force mechanism. Also, the hopper 34 may be separate from the hollow tube 30 and extension 42. For example, a separate hopper not mounted on the top of the hollow tube 30 (not shown) may feed aggregate or other material into the hollow tube 30 along the side of the tube.

Figure 3(c) illustrates the manner of incorporating a hopper 34 in combination with a tube for feeding aggregate or other material into a passage formed in the soil matrix. Specifically damper mechanisms 46 and 48 are attached respectively to the hopper 34 and to the feed tube 42. The attachment is effected through an elastic connector 46 and 48

which effectively dampens the forces, particularly laboratory forces that may be imparted to the vertical feed tube 42.

Figure 4 illustrates an optional feature of the hollow tube 30. A restrictor, pinch valve, check valve or other type of valve mechanism 38 may be installed within the hollow tube 30 or in the special bottom head element or lower end section 32 of the hollow tube 30 to partially or totally close off the internal passageway of the hollow tube 30 and stop or control the flow or movement of aggregate materials 44 and optional additive materials. This valve 48 may be mechanically or hydraulically opened, partially opened or closed in order to control movement of aggregate materials 44 through the hollow tube 30. It may also operate by gravity in the manner of a check valve which opens when raised and closes when lowered onto the aggregate material 44.

Figure 14 illustrates a construction of the bulbous bottom head element or section 32. The bulbous bottom head element 32 is cylindrical, although other shapes may be utilized. The external diameter of the special bottom head element 32 is greater than the nominal external diameter of the upper section 33 of the hollow tube 30 and is typically 12 to 18 inches, although other diameters and/or cross sectional profiles may be utilized in the practice of the invention. Thus, the head element 32 will have cross sectional dimensions or area greater than that of hollow tube 30 immediately adjacent thereto.

Figures 14, 15 and 15A illustrate an embodiment of the invention having a valve mechanism incorporated in the bulbous bottom head element 32. The bulbous bottom head element 32 has a frustoconical bottom section or other shaped, bottom portion 50 with an aggregate material 44 discharge opening 52 that opens and closes as a valve plate 54 exposes or covers the opening 52. The valve plate 54 is mounted on a rod 56 that slides in a hub 59 held in position by radial struts 58 attached to the inside passage walls of the bulbous bottom head element 32 of the hollow tube 30. The plate 54 slides to a closed position when the hollow tube 30 is forced downward into the soil matrix 36 and slides to an open position when hollow tube 30 is raised, thus allowing aggregate material 44 to flow. The opening of valve 54 is controlled or limited by rod 56 which has a head 56a that limits sliding movement of rod 56. The hollow tube 30 may thus be driven to a desired depth 81 (Figure 6) with opening 52 closed by plate 54. Then as the hollow tube 30 is raised (for example, the distance 91 in Figure 10), the plate 54 extends or moves downwardly due to gravity so that aggregate material 44 will flow through opening 52

into the cavity formed due to the raising of the hollow tube 30. Thereafter, the tube 30 is impacted or driven downwardly closing valve plate 54 and compacting the released material to form a compacted lift 72. In the embodiment of Figures 14, 15, 15A the valve plate 54 moves in response to gravity. However, rod 56 may alternatively be replaced or
5 assisted in movement by a fluid drive, mechanical or electrical mechanism. Alternatively, as described hereinafter, the plate 54 may be replaced by a sacrificial cap 64 or by the bottom plate of an uplift anchor or a tell-tale mechanism 70 as described hereinafter. Also, the check valve 38 in Figure 4 may be utilized in place of the valve mechanism depicted in Figures 14, 15, 15A.

10 Typically, the internal diameter of the hollow tube 30 and head element 32 are uniform or equal, though the external diameter of the bulbous bottom head element 32 is greater than that of hollow tube 30. Alternatively, when a valve mechanism 54 is utilized, the internal diameter of the head element 32 may be greater than the internal diameter of the hollow tube 30. Bulbous bottom head element 32 may be integral with hollow tube 30 or formed
15 separately and bolted or welded onto hollow tube 30. Typically, the inside diameter of the hollow tube 30 is between 6 to 10 inches and the external diameter of the special bottom head element 32 is about typically 12 to 18 inches. The opening diameter 53 in Figure 14 at the extreme lower end or leading end of the special bottom head element 32 may be equal to or less than the internal diameter of the head element 32. For example,
20 referring to Figure 14, the head element 32 may have an internal diameter of 12 inches and the opening diameter 53 may be 6 to 10 inches, while in Figure 16, with the sacrificial cap embodiment described hereinafter, the discharge opening of head element 32 has the same diameter as the internal diameter of the head element 32 and hollow tube 30.

25 Also the plate or valve 54 may be configured to facilitate closure when the hollow tube 30 is pushed downward into the soil matrix 36 or against aggregate material 44 in the formed cavity. For example, the diameter of member 54 may exceed that of opening 52 as shown in Figure 14 or the edge 55 of the valve member may be beveled as depicted in Figure 15A to engage beveled edge 59 of opening 52. Then when applying a static or
30 other downward force to the hollow tube 30, the valve plate 54 will be held in a closed position relative to opening 52.

The lower bulbous bottom head element 32 of hollow tube 30 typically has a length in the range of one to three times its diameter or maximum lateral dimension. The bulbous bottom head element 32 provides enhanced lateral compaction forces on the soil matrix 36 as tube 30 penetrates or is forced into the soil and thus renders easier the subsequent passage of the lesser diameter section 33 of the hollow tube 30. The frustoconical or inclined leading and trailing edges 50, 63 of the head element 32 facilitate lowering or driving penetration and lateral compaction of the soil 36 because of their profile design. The trailing inclined section or edge 63 in Figure 14 facilitates the raising of the hollow tube 30 and head element 32 and lateral compaction of soil matrix 36 during the raising step of the method. Again, the shape or inclined configuration of bulbous bottom head element 32 enables this to occur. Typically the leading and trailing edges 50, 63 form a $45^{\circ} \pm 15^{\circ}$ angle with the longitudinal axis 35 of the hollow tube 30.

Figure 5 illustrates another feature of the hollow tube 30. Inlet port 60 and outlet port 62 are provided at the lower portion of the elevated hopper 34 or the upper end of hollow tube 30 to allow addition of water or of grout, such as water-cement-sand grout, as an additive to the aggregate for special pier constructions. A purpose of the outlet port 62 is to maintain the water or additive level where it will be effective to facilitate flow of aggregate and also to allow recirculation of the grout from a reservoir back into the reservoir to facilitate mixing and to keep the water head or grout head (pressure) relatively constant. The inlet port 60 and outlet port 62 may lead directly into the hopper 34 or directly into the hollow tube 30 (see Figure 13), or may connect with separate channels or conduits to the bulbous bottom head element 32. Grout discharge openings 31 may be provided through hollow tube 30 above bulbous bottom head element 32 as shown in Figure 2 to supplement discharge of grout into the annular space about hollow tube 30 and prevent cavity fill in by soil from the matrix 36.

Figures 8A, 8B, 8C and 16 illustrate another alternate feature of the bulbous bottom head element 32. A sacrificial cap 64 may be utilized in lieu of the bottom or lower end sliding valve 54 to protect the bulbous bottom head element 32 from clogging when the bulbous bottom head element 32 is pushed down through soil matrix 36. The cap 64 may be configured in any of a number of ways. For example, it may be flat, pointed or beveled. It may be arcuate. When beveled, it may form an angle of $45^{\circ} \pm 25^{\circ}$ with respect to horizontal axis 35. Cap 64 may include a number of outwardly biased legs 87 positioned to fit in the central opening 89 of the bulbous bottom head element 32 and hold cap 64 in

place until hollow tube 30 is first raised and aggregate 44 caused to flow out the opening 52 into an exposed cavity section.

Figure 17 illustrates another alternate feature of the bottom head element 32. The sliding plate 54 and rod 68 for support of plate 54 may include a passage or axial tube 57 that allows the placement of a reinforcing element or rod 68 attached to a bottom plate 70. The rod 68 and plate 70 will be released at the bottom of a formed cavity and used to provide an uplift anchor member or a tell-tale member for measuring bottom movement of a pier during a load test. The sliding rod 68 attached to a bottom plate 70 may be substituted for the sacrificial cap 64 closing the opening of the bulbous bottom head element 32 during pushing into the soil matrix 36, and perform as a platform for the uplift anchor member or tell-tale member being installed. The bottom valve plate 54 may thus be omitted or may be kept in place while the uplift anchor or tell-tale elements are being utilized. Figure 20 illustrates the uplift anchor 68, 70 or tell-tale in place upon the forming of a pier by the invention wherein the plate or valve 54 is omitted.

5.2 Method of Operation

Figure 1 illustrates the typical first step of the operation of the described device or apparatus. The hollow tube 30 with bulbous bottom head element 32 and attached upper extension 42 and connected hopper assembly 34, are pushed with a vertical or axial static vector force, typically augmented by dynamic vector forces, into the soil matrix 36 by drive apparatus 37 or by the weight of the component parts. In practice, utilizing a tube 30 with special bottom head element 32 having the dimensions and configuration described, a vector force of 5 to 20 tons applied thereto is typical throughout. Figure 2 illustrates placing of aggregate 44 into the hopper 34 when the hollow tube 30 and attachments reach the planned depth 81 of pier into the soil matrix 36. Figure 6 illustrates subsequent upward or lifting movement of the hollow tube 30 by a predetermined lifting distance 91, typically 24 to 48 inches to reveal a portion of unshielded cavity 102 below the lower section head element 32 in the soil matrix 36.

Figure 7 illustrates opening of the bottom valve 54 to allow aggregate 44 and optional additives to fill the space or portion 85 of cavity 102 below the bulbous bottom head element 32 while the hollow tube 30 and attachments are being raised. The valve 54 may open as the hollow tube 30 is lifted due to weight of aggregate 44 on the top side of valve

54. Alternatively, valve 54 may be actuated by a hydraulic mechanism for example, or the hollow tube 30 may be raised and aggregate then added to flow through valve opening 53 by operation of valve 54. Alternatively, internal valve 38 may be opened during lifting or after lifting. Alternatively, if there is no valve 54, the sacrificial cap 64 will be released from the end of the head element 32, generally by force exerted by the weight of aggregate material 44 directed through the hollow tube 30 when the bulbous bottom head element 32 is raised a predetermined distance from the bottom 81 of the formed pier cavity 102.

Figure 9 illustrates the subsequent pushing downward of the hollow tube 30 and attachments and closing of the bottom valve 54 to compact the aggregate 44 in the cavity portion 85 thereby forcing the aggregate 44 and optional additives laterally into the soil matrix 36 as well as vertically downward. The predetermined movement distance for pushing downward is typically equal to the lifting distance 91 minus one foot, in order to produce a completed lift 72 thickness of one foot following the predetermined lifting distance 91 of hollow tube 30. The designed thickness of lift 72 may be different than one foot depending on the specific formed aggregate pier requirements and the engineering characteristics of the soil matrix 36 and aggregate 44. Compacting the aggregate material 44 released into the vacated, unshielded cavity portion 85 in Figure 7 to effect lateral movement of the aggregate material 44 horizontally as well as compaction of the aggregate material vertically is important in the practice of the invention.

Figure 10 illustrates the next or second lift formation effected by lifting of the hollow tube 30 and attachments another predetermined distance 91A, typically 24 to 48 inches to allow opening of the bottom valve 54 (in the event of utilization of the embodiment using valve 54) and passage or movement of aggregate 44 and optional additives into the portion of the cavity 85A that has been opened or exposed by raising tube 30.

Raising of the hollow tube in the range of two (2) to four (4) feet is typical followed by lowering (as described below) to form an aggregate pier lift 72, having a one (1) foot vertical dimension is typical for pier forming materials as described herein. The axial dimension of the lift 72 may thus be in the range of $\frac{3}{4}$ to $\frac{1}{5}$ of the distance 91 the hollow tube 30 is raised. However, the embodiment depicted in Figures 23-26 constitutes an alternate compaction protocol.

Figure 11 illustrates pushing down of the hollow tube 30 and attachments and closing of the bottom valve 54 to compact the aggregate 44 in the newly exposed, unshielded cavity portion 85A of Figure 10 and forcing of aggregate 44 and optional additives laterally into the soil matrix 36. The distance of pushing will be equal to the distance of lifting minus the designed lift thickness. When the sacrificial cap 64 method is utilized, the bottom opening 50 may remain open while compacting the aggregate 44.

Figure 18 illustrates an aggregate pier partially formed by the process described wherein multiple lifts 72 have been formed sequentially by compaction and the hollow tube 30 is rising as aggregate 44 is filling cavity portion 85X. Figure 19 illustrates a completely formed aggregate pier 76 by the process described. Figure 20 illustrates a formed pier 76 with uplift anchor member 68, 70 or tell-tale member installed. Figure 21 illustrates an optional preloading step on a formed aggregate pier 76 by placement of a weight 75, for example, on the formed pier and an optional modulus indicator test being performed on the formed aggregate pier 76 comprised of multiple compacted lifts 78.

Figures 23 through 26 illustrate an alternative protocol for the formation of a pier using the described apparatus. The hollow tube 30 is initially forced or driven into a soil matrix 36 to a desired depth 100. The extreme bottom end of the head element 32 includes a valve mechanism 54, sacrificial cap 64 or the like. Forcing the hollow tube 30 vertically downward in the soil forms a cavity 102 (Figure 23). Assuming the special bottom head element 32 is generally cylindrical, cavity 102 is generally cylindrical, and may or may not maintain the full diameter configuration associated with the shape and diameter of special bottom head element 32.

Upon reaching the desired penetration into the matrix soil 36 (Figure 23) and having displaced and densified the matrix soils that previously existed within the formed cavity, the hollow tube 30 is raised to the top of the formed cavity or to the top of the planned aggregate pier (Figure 24) in a single lift. As it is raised, aggregate material 44 and optional additive materials are discharged below the bottom end of the special bottom head element 32.

Optionally, additive materials are discharged into the annular space 104 defined between the upper section 33 of hollow tube 30 and the interior walls of the formed cavity 102. The additive materials may flow through ancillary lateral passages 108 or supplemental

conduits 110 in the hollow tube 30. As the hollow tube 30 is raised, the cavity 102 is filled with aggregate and optionally, additive materials. Also, additive materials in the annular space 104 may be forced outwardly into the soil matrix 36 by and due to the configuration of the bulbous bottom head element 32 as it is raised.

5 The hollow tube 30 is thus typically raised substantially the full length of the initially formed cavity 102 and then, as depicted by Figure 25, again may be forced downward causing the aggregate material in the cavity 102 to be compacted and a portion of the aggregate materials to be forced laterally into the soil matrix 36 (Figure 25). The extent of downward movement of the hollow tube 30 is dependent on various factors including
10 the size and shape of the cavity 102, the composition and mix of aggregate materials and additives, the forces imparted on the hollow tube 30, and the characteristics of the soil matrix 36. Typically, the downward movement is continued until the lower end or bottom of the special bottom head element 32 is at or close to the bottom 81 of the previously formed cavity 102 or until essential refusal of downward movement occurs.

15 After completion of the second downward movement, the hollow tube 30 is raised typically the full length of the cavity 102, again discharging aggregate and optionally additive materials during the raising, and again filling, the newly created cavity 102A (Figure 26). The cycle of fully lowering and fully raising is completed at least two times and optionally three or more times, to force more aggregate 44 and optionally additive
20 materials, laterally into the matrix soil 36. Further, the cycling may be adjusted in various patterns such as fully raising and lowering followed by fully raising and partially lowering, or partially raising and fully lowering, and combinations thereof. Alternately, after one of more full cycles of raising of the hollow tube 30 with discharging of aggregate and optionally additive materials, the subsequent operation can be the same or
25 similar to a typical aggregate pier forming sequence as described previously, where each lift is formed by raising and lowering a predetermined distance.

Alternatively, after completion of a single lift, the resulting aggregate pier with or without optional additive materials, further steps of re-entry of hollow tube 30 and bulbous bottom head element 32 into the formed single lift aggregate pier, may be eliminated. In
30 other words, the apparatus may be used to form a single elongate pier within the soil matrix extending the vertical length of soil penetration. The single lift aggregate pier with densified adjacent matrix soils may be effective without further strengthening or

stiffening. One situation in which a single lift aggregate pier will typically be effective is in liquefaction mitigate during seismic events when the matrix soils are liquefiable.

5.3 Summary Considerations

Water or grout or other liquid may be utilized to facilitate flow and feeding of aggregate material 44 through hollow tube 30. The water may be fed directly into the hollow tube 30 or through the hopper 34. It may be under pressure or a head may be provided by using the hopper 34 as a reservoir. The water, grout or other liquid thus enables efficient flow of aggregate, particularly in the small diameter hollow tube 30, i.e. 5 to 10 inches tube 30 diameter. Typically the size of the tube 30 internal passage and/or discharge opening is at least 4.0 times the maximum aggregate size for all the described embodiments. With each lift 72 being about 12 inches in vertical height and the internal diameter of tube 30 being about 6 to 10 inches, use of water as a lubricant is especially desirable.

It is noted that the diameter of the cavity 102 formed in the matrix soil 36 is relatively less than many alternative pier forming techniques. The method of utilizing a relatively small diameter cavity 102 or a small dimension opening into the soil matrix 36, enables forcing or driving a tube 30 to a significant depth and subsequent formation of a pier having horizontal dimensions measurably greater than the external dimensions of the tube 30. Utilization of aggregate 44 with or without additives including fluid materials, to form one or more lifts by compaction and horizontal displacement is thus enabled by the hollow tube 30 and special bottom head element 32 as described. Lifts 72 are compacted vertically and aggregate 44 forced transaxially with the result of a highly coherent pier construction and production of a stiffer and stronger aggregate pier with a larger diameter than its original cavity diameter.

5.4 Test Results

Figure 22 illustrates the results of testing of piers of the present invention as contrasted with a drilled concrete pier. The graph illustrates the movements of three aggregate piers constructed in accordance with the invention (curves A, B, C) with a prior art drilled concrete pier (curve D), as the piers are loaded with increasing loads to maximum loads

and then decreasing loads to zero load. The tests were conducted using the following test conditions and using a steel-reinforced, drilled concrete pier as the control test pier.

5 A hole or cavity of approximately 8-inches in diameter was drilled to a depth of 20 feet and filled with concrete to form a drilled concrete pier (test D). A steel reinforcing bar was placed in the center of the drilled concrete pier to provide structural integrity. A cardboard cylindrical form 12 inches in diameter was placed in the upper portion of the pier to facilitate subsequent compressive load testing. The matrix soil for all four tests was a fine to medium sand of medium density with standard Penetration Blow Counts (SPT's) ranging from 3 to 17 blows per foot. Groundwater was located at a depth of
10 approximately 10 feet below the ground surface.

The aggregate piers of the invention, reported as in tests A, B, and C, were made with a hollow tube 30, six (6) inches in external diameter and with a special bottom head element 32 with an external diameter of 10 inches. Tests A and B utilized aggregate only. Test C utilized aggregate and cementitious grout. Test A utilized predetermined lifting
15 movements of two feet and predetermined downward pushing movements of one foot resulting in a plurality of one foot lifts. Test B utilized predetermined upward movements of three feet and predetermined downward pushing movements of two feet, again resulting in one foot lifts. Test C utilized predetermined upward movements of two feet and predetermined downward pushing movements of one foot, and included addition of
20 cementitious grout.

Analyses of the data can be related to stiffness or modulus of the piers constructed. At a deflection of 0.5 inches, test A corresponded to a load of 27 tons, test B corresponded to a load of 35 tons, test C corresponded to a load of 47 tons and test D corresponded to a load of 16 tons. Thus at this amount of deflection (0.5 inches) and using test B as the standard
25 test and basis for comparison, ratios of relative stiffness for test B is 1.0, test A is 0.77, Test C is 1.34, and Test D is 0.46. The standard, Test B, is 2.19 times stiffer than the control test pier, Test D. The standard Test B is 1.30 times stiffer than Test A, whereas the Test C with grout additive is 2.94 times stiffer than the prior art concrete pier (Test D). This illustrates that the modulus of the piers formed by the invention are substantially
30 superior to the modulus of the drilled, steel-reinforced concrete pier (Test D). These tests also illustrate that the process of three feet lifting movement with two feet downward pushing movement was superior to the process of two feet lifting movement and one foot

downward pushing movement. The tests also illustrate that use of cementitious grout additive substantially improved the stiffness of the formed pier for deflections less than about 0.75 inches, but did not substantially improve the stiffness of the formed pier compared with Test B for deflections greater than about 0.9 inches.

5 In the embodiment disclosed, because the bulbous bottom head element 32 of the hollow tube or hollow shaft 30 has a greater cross sectional area, various advantages result. First the configuration of the apparatus, when using a bottom valve mechanism 54, reduces the chance that aggregate material will become clogged in the apparatus during the formation of the cavity 102 in the soil matrix 36 as well as when the hollow tube 30 is withdrawn
10 partially from the soil matrix 36 to expose or form a cavity 85 within the soil matrix 36. Further, the configuration allows additional energy from static force vectors and dynamic force vectors to be imparted through the bottom head element 32 of the apparatus and impinge upon aggregate 44 in the cavity 70. Another advantage is that the friction of the hollow tube 30 on the side of the formed cavity 102 in the ground is reduced due to the
15 effective diameter of the hollow tube 30 being less than the effective diameter of the bottom head element 32 and therefore being less than the initial diameter of the formed cavity. This permits quicker pushing into the soil and allows pushing through formations that might be considered to be more firm or rigid. The larger cross sectional area head element 32 also enhances the ability to provide a cavity section 102 sized for receipt of
20 aggregate 44 which has a larger volume than would be associated with the remainder of the hollow shaft 30 thus providing for additional material for receipt of both longitudinal (or axial) and transverse (or transaxial) forces when forming the lift 72. The reduced friction of the hollow tube 30 on the side of the formed cavity 102 in the soil 36 also provides the advantage of more easily raising the hollow tube 30 during pier formation and prevention of the hollow tube 30 becoming stuck within the soil matrix.
25

In the process of the invention, the lowest lift 72 may be formed with a larger effective diameter and have a different amount of aggregate provided therein. Thus the lower lift 72 or lowest lift in the pier 76 may be configured to have a larger transverse cross section as well as a greater depth when forming a base for the pier 76. By way of example the
30 lowest portion or lowest lift 72 may be created by lifting of the hollow shaft 30 four feet and then lowering the hollow tube 30 three feet, thus reducing the height of the lift 72 to one foot, whereas subsequent lifts 72 may be created by raising the hollow shaft 30 three

feet and then lowering the hollow tube 30 two feet, thus reducing the thickness of the lift 72 to one foot.

5 The completed aggregate pier 76 may, as mentioned heretofore, be preloaded after it has been formed by applying a static load or a dynamic load 75 at the top of the pier 76 for a set period of time (see Figure 21). Thus a load 75 may be applied to the top of the aggregate pier 76 for a period of time from 15 seconds to 15 minutes, or longer. This application of force may also provide a "modulus indicator test" inasmuch as a static load 75 applied to the top of the pier 76 can be accompanied by measurement of the deflection accruing under the static load 75. The modulus indicator test may be incorporated into the
10 preload of each pier to accomplish two purposes with one activity; namely, (1) applying a preload; and (2) performing a modulus indicator test.

The aggregate material 44 which is utilized in the making of the pier 76 may be varied. That is, clean aggregate stone may be placed into a cavity 85. Such stone may have a nominal size of 40 mm diameter with fewer than 5% having a nominal diameter of less
15 than 2 mm. Subsequently a grout may be introduced into the formed material as described above. The grout may be introduced simultaneous with the introduction of the aggregate 44 or prior or subsequent thereto.

When a vibration frequency is utilized to impart a dynamic force, the vibration frequency of the force imparted upon the hollow shaft or hollow tube 30 is preferably in a range
20 between 300 and 3000 cycles per minute. The ratio of the various diameters of the hollow tube or shaft 30 to the bulbous bottom head element 32 is typically in the range of 0.92 to 0.50. As previously mentioned, the angle of the bottom bevel may typically be between 30° and 60° relative to a longitudinal axis 35.

As a further feature of the invention, the method for forming a pier may be performed by
25 inserting the hollow tube 30 with the bulbous bottom head element 32 to the total depth 81 of the intended pier. Subsequently, the hollow tube 30 and bulbous bottom head element 32 will be raised the full length of the intended pier in a continuous motion as aggregate and/or grout or other liquid are being released or injected into the cavity as the hollow tube 30 and special bottom head element 32 are lifted. Subsequently, upon
30 reaching the top of the intended pier, the hollow tube 30 and special bottom head element 32 can again be statically pushed and optionally augmented by vertically vibrating and/or

ramming dynamic force mechanism downward toward or to the bottom of the pier in formation. The aggregate 44 and/or grout or other material filling the cavity as previously discharged will be moved transaxially into the soil matrix as it is displaced by the downwardly moving hollow tube 30 and special bottom head element 32. The process
5 may then be repeated with the hollow tube 30 and special bottom head element 32 raised either to the remaining length or depth of the intended pier or a lesser length in each instance with aggregate and/or liquid material filling in the newly created cavity as the hollow tube 30 is lifted. In this manner, the material forming the pier may comprise one lift or a series of lifts with extra aggregate material and optional grout and/or other
10 additives transferred laterally to the sides of the hollow cavity into the soil matrix. Alternatively, the last sequence can be the same or similar to the "typical" aggregate pier forming method of this invention, whereas thin lifts are formed by raising and lowering the hollow tube 30.

It is noted that the mechanism for implementing the aforesaid procedures and methods
15 may operate in an accelerated manner. Driving the hollow tube 30 and bulbous bottom head element 32 downwardly may be effected rather quickly, for example, in a matter of two minutes or less. Raising the hollow tube 30 and bulbous bottom head element 32 incrementally a partial or full distance within the formed cavity may take even less time, depending upon the distance of the lifting movement and rate of lifting. Thus, the
20 aggregate pier is formed from the soil matrix 36 within a few minutes. The rate of production associated with the methodology and the apparatus of the invention is therefore significantly faster.

5.5 Additional Features

Figures 27 through 36 illustrate additional features and embodiments of the invention.
25 Referring to Figures 27, 27A and 27B, there is illustrated diagrammatically, an apparatus including a hollow tube 500 coupled to a bulbous bottom head element 502. The bulbous bottom head element 502 includes central body 501 which is generally cylindrical with a frustoconical or conical shaped downwardly and inwardly inclined section or surface 504 surface joined to a generally horizontal section or surface 505 with an opening 506
30 therethrough for passage of materials such as aggregate material, cementitious material, grout or combinations thereof. A separate horizontal plate 508 with generally vertically extending rods 510 and 512 is positioned against closure cap 508a fitted against surface

505. The rods 510 and 512 fit along the outside of the combination of hollow tube 500 and bottom head element 502. The plate 508 may be in the form of a bar reinforced by angled plates 508B and 508C. Plate 508 engages circular cap or plate 503 which includes vertical pegs 511 that align plate 508 with opening 506 covering the opening 506 or in the form of a grid or other generally horizontal element which is transported during placement of the hollow tube 500 and bulbous bottom head element 502 downwardly into the soil during the initial penetration of the soil matrix. Then upon withdrawal of hollow tube 500 and head element 502, the plate 508 and rods 510 and 512 as well as cap 503 will remain in place at the bottom end of the pier in formation. The rods, such as the rods 510 and 512, may, as shown in Figure 29, serve as an uplift anchor or as depicted in Figure 30, may serve as tell-tale rods for load testing. Thus, as depicted in Figures 29 and 30, the tell-tale rods 510 and 512 in combination with the lower connecting plate member 508 contemplate positioning of the described assembly on the outside of the hollow tube 500 and bulbous bottom head element 502, yet are enabled to be positioned under the lower end of a formed aggregate pier such as pier 520 in Figure 29 or pier 522 in Figure 30.

Figure 28 depicts a variation of the apparatus which may be utilized for the practice of the invention. In this alternative apparatus, a hollow tube 526 is comprised of a series of connected or bolted tube sections 528, 530 and 532, which extend longitudinally from an elevated hopper 534 or they may extend longitudinally directly from the hollow tube. The smaller cross sectional portion of the hollow tube 526 is connected to the bulbous bottom head element 536. In this manner, the overall weight of the hollow tube section can be reduced, yet the bulbous bottom head element 536 will provide an adequate means and an adequate diameter for penetration into a soil matrix. The hollow tube 526 will also provide an adequate channel for the passage of aggregate, crushed stone, rounded stone, crushed concrete, grout, cementitious material, or other pier forming materials, or combinations thereof.

Numerous variations of the multiple section hollow tube may be practiced, although the typical sequence is for sections to decrease in cross sectional area from top to bottom. Example variations include sections that increase in traverse cross sectional area toward the top end of the hollow tube. The sections may increase in traverse cross sectional area and then decrease. They may have the same traverse cross sectional area but distinct cross sectional configurations. They may be integrally connected or detachable sections.

Combinations of these described features may be used. The separate sections may be pre-assembled or they may be assembled seriatim at a work site as soil penetration occurs. Typically, they are pre-assembled.

5 Figure 31 illustrates a combination of features for use with a hollow tube 540 and bulbous bottom head element 542 that facilitate alignment of the hollow tube 540 for soil penetration. Thus, a special alignment guide device 544 in the form of an annular support ring fits around the hollow tube 540 and is fastened to the drive mechanism. The alignment guide device 544 serves to guide the combination hollow tube 540 and bottom head element 542 in the desired direction and location into a soil matrix. The alignment
10 guide or element 544 also prevents "kick out" of the hollow tube 540, especially when the matrix soil is hard or dense. One or more such alignment guide devices 544 may be utilized. The hollow tube 540 is generally slidably or moveably mounted within the guide 544.

15 Figure 32 illustrates a feature that may be incorporated into the bulbous bottom head element 542, namely the placement of a sensor device 546 within the bulbous bottom head element 542 for sensing the forces imparted by the bulbous head or bottom head element 542 on the material being discharged therefrom, as well as on the soil matrix. The force applied may be charted over time to provide a pattern of the effect of the bottom head element 542 upon compaction of the aggregate and upon penetration of the
20 soil matrix.

Figure 33 illustrates a mechanism utilized to force the hollow tube 550 and attached head element (not shown in Fig. 33) downwardly into a soil matrix (not shown in Figure 33). More specifically, the upper end 554 of the hollow tube 550 is fitted into a short cylindrical section 553 of a guide tube 555 welded to a connection tube 557, in turn,
25 welded to a solid metal fitting 559 with a plate 552. The plate 552 is a horizontal plate and thus forces directed axially against that plate 552 will impinge the plate 552 against the top end 554 of the hollow tube 550. A vibratory hammer 556 includes a mating plate 558 which may be fitted against the plate 552 and which is coupled thereto by means of rods or fasteners 561 projecting through the openings, such as opening 560, and latches
30 562 to retain the plates 552 and 558 joined together. The vibratory hammer 556 may then be operated to vibrate and drive the hollow tube 550 and head element (not shown) downwardly into the soil matrix onto compact discharged aggregate, etc.

Figure 34 illustrates a form or shape of a pre-penetration device which may be used in combination with a hollow tube apparatus and head element as previously described. More particularly, a pre-penetration device may be utilized to form a preliminary opening or passage within a soil matrix, in particular, a stiff or medium dense soil. The device may comprise a vertical rod 570 with a leading end 572 which is shaped or configured to facilitate soil penetration, such as having the shape of a cone, for example. Generally, the large diameter end of the cone 572 is less than the maximum traverse dimension of a bulbous bottom head element associated with a subsequent step in the process, namely the step of using a bulbous bottom head element and hollow tube to penetrate into the soil matrix. The shape and configuration of the penetrating end 572, however, may be varied to accomplish the goal of providing a means to facilitate the creation of an initial passage in the soil matrix into which a hollow tube and associated bulbous bottom head element will subsequently be driven or inserted.

Figure 35 illustrates another aspect of the method of the invention. That is, the method generally comprises use of a bulbous bottom head element, as described, and a hollow tube associated therewith to build a section or portion of an aggregate pier, such as a lower section 584, within a soil matrix 586. The region above the lower section 584 may subsequently be comprised of a pier construction, namely a pier construction 588, built in accord with some other teaching, for example the teaching as set forth in U.S. Patent No. 5,249,892. The combination of pier sections of the type associated with the method of the present invention in combination with other pier forming methods is especially desirable or useful, inasmuch as the technologies are compatible and will enable the construction of deeper piers in a highly efficient and extremely fast manner inasmuch as the features associated with the respective sections compliment one another. For example, the upper pier portion formed by one teaching or method and apparatus may be of higher capacity than the lower pier portion associated with the method of the present invention. Stresses from loads are greater in the upper portion of a combined pier system. Two, or more than two, types of pier constructions in vertical alignment are considered to be within the scope of the invention.

Figure 36 is a diagrammatic view illustrating a typical bottom plan view of a bulbous bottom head element made in accord with the invention. As previously described, the bulbous bottom head element 600 is a bulbous element and has a cross sectional dimension greater than that of the hollow tube element 602 attached adjacent thereto. The

far distal end 590 of the bulbous bottom head element typically includes an opening 592 through which material such as aggregate or crushed stone, smooth stone, crushed concrete, grout, cementitious materials or the like, will flow during the practice of the method. The bottom opening 592 is typically, as depicted in various figures, of a lesser dimension than the horizontal face 590 at the extreme distal end 590 of the bulbous bottom head element 600. The opening 592 thus, is typically less than one half of the surface area of the traverse cross sectional area of the bottom head element 600. Surface 590 with the opening 592, connects with a shaped surface 594 which generally is a conical shape. As previously described, however, other shapes may be used to provide a transition from the outer surface 596 of the bulbous head element 600 to the extreme bottom surface 590 of the bulbous bottom head element 600. Moreover, the opening 592, as previously described, is initially covered by a plate or a sacrificial cap or a closable cover, for example, during initial soil matrix penetration.

Figures 37 and 38 illustrate a further embodiment of the invention. Referring first to Figure 37, there is disclosed a bulbous head element 600 which is attached to a hollow pipe or mandrel 602. The hollow pipe or mandrel 602 includes a generally equal length second mandrel or hollow pipe of lesser diameter; namely, pipe 604 slidably positioned therein. The hollow tubes or pipes 602 and 604 are joined together by bolts or pins 606 and 608 fitted through the upper end of the outer hollow tube 602 and the upper end of the interior hollow tube 604. The interior hollow tube 604 further includes at the lower end thereof passages or openings 610 and 612 discussed with respect to Figure 38.

Referring to Figure 38 the interior mandrel or tube 604 may telescope longitudinally in the direction of the longitudinal axis 616 upwardly relative to the lower mandrel or hollow tube 602 which is attached to the bulbous head element 600. The pins or bolts 606 and 608 are removed from connecting the outer tube 602 to the inner tube 604 as depicted in Figure 37 and then reinserted through the openings and in particular the openings 610 and 612 to thereby elongate the effective operational limit or length of the hollow tube element which is comprised of the combination of lengths of the lower and larger diameter hollow tube 602 and the upper or lesser diameter hollow tube 604. A hopper or other mechanism may be provided for directing aggregate material into the interior of the hollow tubes 602 and 604.

The embodiment of Figures 37 and 38 is especially useful in that it enables the practice of the methodology associated with the invention at deeper depths within a soil matrix. That is, the soil matrix level is represented by the surface level 622 in Figure 37. The combination of the bulbous head element 600 and the hollow tubes 602 and 604 may be placed in the soil matrix to the depth as illustrated in Figure 37. Then, referring to Figure 38, the tubes 602 and 604 may be telescoped and driven to a deeper depth. That is, the interior hollow tube 604 may be extended as shown in Figure 38 and the entire assembly then pushed down or placed further into the soil. In this manner, the combination of the bulbous head element 600 and the hollow tubes 602 and 604 may be inserted to a much greater depth easily and quickly. The material fed through the hollow tube 602 and 604 may then be fed therein using the methodologies such as previously described. The telescoping tubes 602 and 604 enable a significant increase of the depth which the methodology of the invention may be practiced in a very quick, efficient and economical manner. Of course, all of the other features previously described may be used in combination with the telescoping mandrels or tubes described with respect to Figures 37 and 38. Also, additional telescoping tubes may be utilized, although there may be a practical limit to such usage. Typically, the larger diameter tube 602 is attached to head element 600 and positioned on the outside of the next telescoping tube 604 as illustrated in Figures 37 and 38, although the reverse may be adopted also with a larger diameter tube being on the outside of the smaller diameter tube and the larger diameter tube being the tube which is raised or extended upwardly or telescoped away from the bulbous head element 600.

6 Concluding Remarks

Various modifications and alterations may thus be made to the methodology as well as the apparatus to be within the scope of the invention. Thus, it is possible to vary the construction and method of operation of the invention without departing from the spirit and scope thereof. Alternative hollow tube configurations, sizes, cross sectional profiles and lengths of tube may be utilized. The bulbous bottom head element 32 may be varied in its configuration and use. The bottom valve 54 may be varied in its configuration and use, or may be eliminated by adoption of a sacrificial cap. The leading end of the bulbous bottom head element 32 may have any suitable shape. For example, it may be pointed, cone shaped, blunt, angled, screw shaped, or any shape that will facilitate penetration of a matrix soil and compaction of discharged aggregate material. The enlarged or bulbous

bottom head element 32 may be utilized in combination with one or more differing external diameter sections of the hollow tube 30 having various shapes or configurations. Therefore the invention is to be limited only by the following claims and equivalents thereof.

THE CLAIMS

We claim:

1. A method for forming an aggregate pier in a matrix soil comprising the steps of:
 - (a) forming an elongate cavity having a bottom and a longitudinal axis in the matrix soil by lowering a hollow tube with a bulbous bottom head element having an open end at the extreme end thereof including a closure mechanism for closing the extreme open end, said bulbous bottom head element configured with a greater cross sectional area portion than the cross sectional area of the adjacent connected hollow tube and configured to provide axial and transaxial vector forces on the soil matrix, said closure mechanism closed during formation of the elongate cavity to prevent aggregate material discharge from the bottom head element during formation of the cavity and to prevent clogging of the bottom head element or hollow tube with matrix soil materials during penetration and formation of the elongate cavity;
 - (b) raising the hollow tube a predetermined first incremental distance in the formed cavity;
 - (c) opening the closure mechanism when the hollow tube is raised;
 - (d) feeding pier forming aggregate material through the special bottom head element extreme open end into the portion of the cavity revealed by raising the hollow tube said first incremental distance; and
 - (e) lowering the hollow tube a predetermined second incremental distance to compact the discharged aggregate material in the cavity by axial and transaxial force impact from the bulbous bottom head element onto the discharged aggregate material surface while displacing a portion of the pier forming aggregate material transaxially into the sidewalls of the filled cavity.

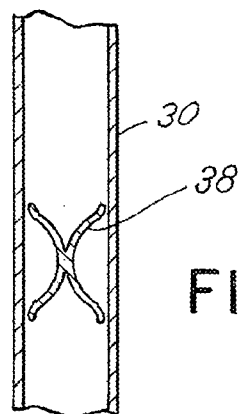
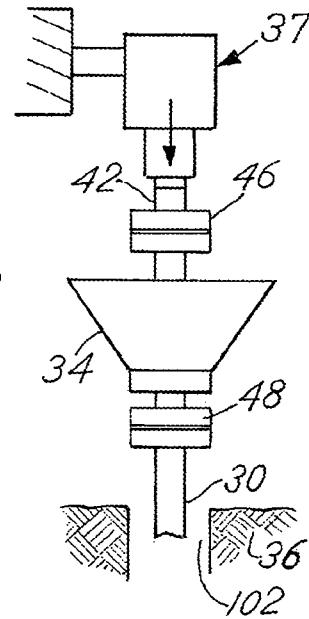
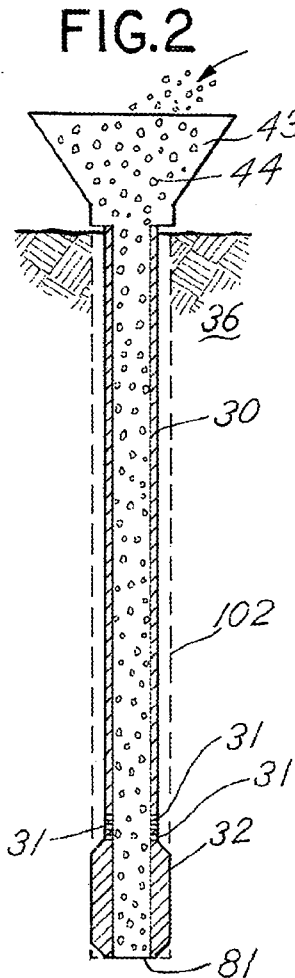
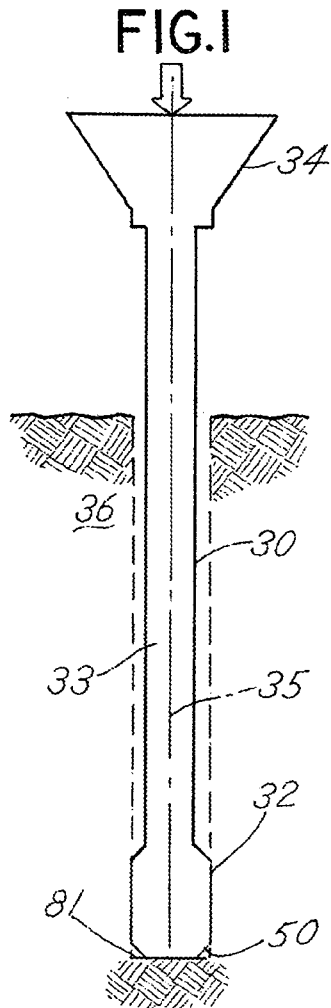
2. The method of claim 1 wherein the hollow tube is initially forced a predetermined distance into the matrix soil to form an elongate cavity.
3. The method of claim 1 wherein the elongate cavity or a portion of its diameter is initially formed by pre-drilling or pre-penetrating the matrix soil to form an elongate cavity with diameter approximately the same as that of the bottom head element or slightly less than that of the bottom head element and to subsequently lower or partially lower and partially force, the hollow tube with bulbous bottom head element into the pre-formed elongate cavity.
4. The method of claim 1 including the repetition of steps (b) through (e).
5. The method of claim 1 including the step of closing the closure mechanism before compacting.
6. The method of claim 1 including the additional step of separately feeding a material in combination with the aggregate material to facilitate aggregate flow and/or to increase the strength and/or stiffness of the formed aggregate pier.
7. The method of claim 1 wherein the step of compacting the discharged aggregate comprises reducing the axial dimension of the compacted lift to about $\frac{1}{2}$ to $\frac{1}{4}$ of the uncompacted aggregate incremental distance to form a compacted aggregate lift having a vertical axial dimension of about $\frac{1}{2}$ to $\frac{1}{4}$ of the incremental distance the apparatus was raised during step (b).
8. A method for forming an aggregate pier in a matrix soil comprising the steps of:
 - (a) forming an elongate cavity having a bottom and a longitudinal axis in a matrix soil by positioning a hollow tube with a bulbous bottom head element into the matrix soil to a predetermined depth, said bottom head element having a bulbous shape with a maximum cross sectional area greater than the attached hollow tube adjacent thereto, said bottom head element configured to impart axial and transaxial forces on the matrix soil and on discharged materials and having an extreme bottom end discharge opening with a cover plate;

- (b) raising the hollow tube an incremental distance from the bottom of the cavity;
 - (c) opening the bottom discharge opening and feeding pier forming material through the hollow tube into the cavity upon raising of the hollow tube; and
 - (d) vertically compacting the pier forming material with the head element by driving the hollow tube and head element downwardly toward the bottom of the cavity while displacing a portion of the pier forming material transaxially in the cavity.
9. The method of claim 1 further including the step of forming a second pier or pile segment of a type not formed by method of claim 1 upon an aggregate pier formed by the method of claim 1.
10. The method of claim 2 including the step of providing a static force on the hollow tube to effect driving of the hollow tube and to effect compacting of discharged aggregate.
11. The method of claim 2 including the step of providing a dynamic axial force and a static force on the hollow tube to effect driving of the hollow tube and to effect compacting of discharged aggregate.
12. The method of claim 1 including the additional step of preloading the formed aggregate pier to increase its capacity and strength.
13. The method of claim 1 including the step of placing one or more generally aligned rods with the hollow tube, said rod or rods extending upwardly from a plate.
14. The method of claim 1 wherein the first incremental distance is varied for at least one of the repetitions.

15. The method of claim 1 wherein the first incremental distance is substantially equal to the height of the pier to be formed.
16. Apparatus for construction of a soil reinforcement aggregate pier in a soil matrix comprising, in combination:
 - (a) an elongate hollow tube having a longitudinal axis with a material entrance opening and a bulbous bottom head element having an open bottom discharge end, the external cross section of the bulbous bottom head element being greater than the external cross section of the hollow tube adjacent thereto to thereby form a bulbous section of the hollow tube having an external cross sectional shape and size greater than the external cross sectional shape and size of the hollow tube adjacent the bulbous end;
 - (b) said bulbous end having a surface configured to impart axial and transaxial forces upon downward movement on matrix soil and aggregate material; and
 - (c) said bulbous end including a material discharge opening at the extreme end thereof with a removable cover plate or a valve that is able to open and close.
17. The apparatus of claim 16 wherein the hollow tube is further comprised of multiple sections each having a distinct cross sectional area.
18. The apparatus of claim 16 further including at least two rods mounted externally of the hollow tube and head element, said rods attached to a plate external the hollow tube and head element.
19. The apparatus of claim 18 wherein the rods comprise uplift anchor rods as part of an uplift anchor system.
20. The apparatus of claim 18 wherein the rods comprise tell-tale members .

21. The apparatus of claim 16 further including an alignment mechanism for stabilizing the hollow tube and preventing it from laterally translating.
22. The apparatus of claim 16 further including a pressure detection sensor device mounted within the bulbous bottom head element to sense pressure.
23. The apparatus of claim 16 in combination with a separate soil matrix pre-penetration device to form a cavity prior to inserting the elongate hollow tube with bulbous bottom head element into the ground.
24. The apparatus of claim 16 further including a first plate mounted to the hollow tube and a second plate attached to a vibratory hammer, said first and second plates capable of being connected together by connecting rods and a lock mechanism.
25. The apparatus of claim 16 wherein said hollow tube is comprised of at least two telescoping longitudinal sections and one of said sections is attached to said bottom head element.
26. The apparatus of claim 25 including a releasable fastening mechanism for attaching the sections together in a non-telescoping configuration.
27. The apparatus of claim 25 wherein said sections are concentric.
28. The apparatus of claim 25 wherein the sections comprised a first larger diameter section attached to the head element and a second section slidably positioned within the first section.
29. The apparatus of claim 25 including a radial pin removably connecting the sections.

1/13



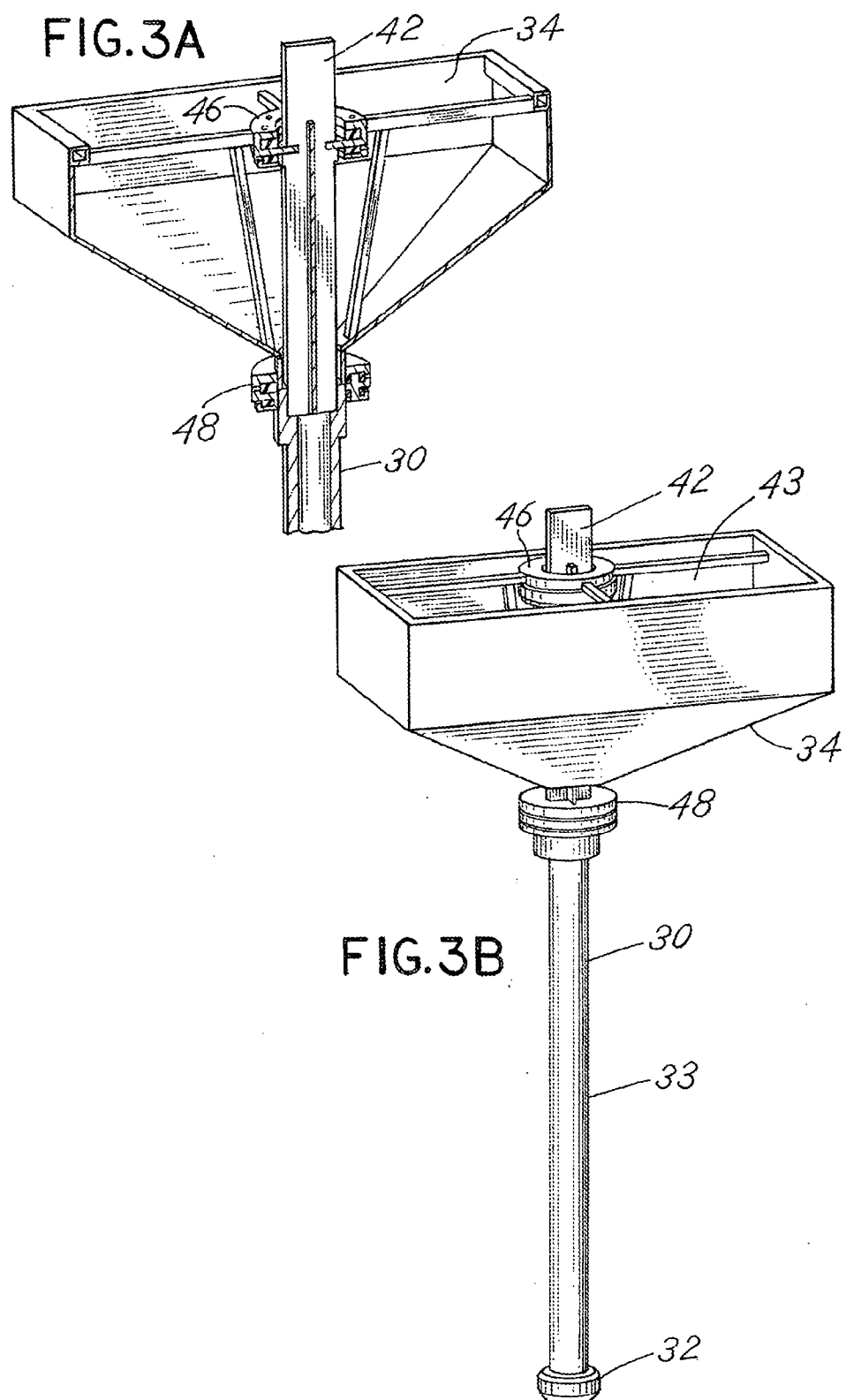


FIG.5

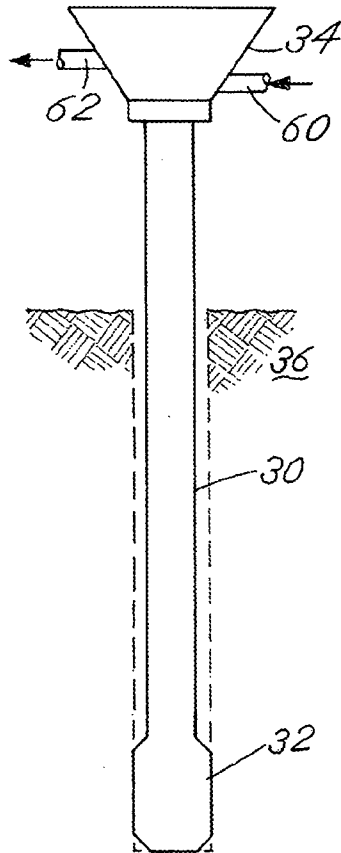


FIG.6

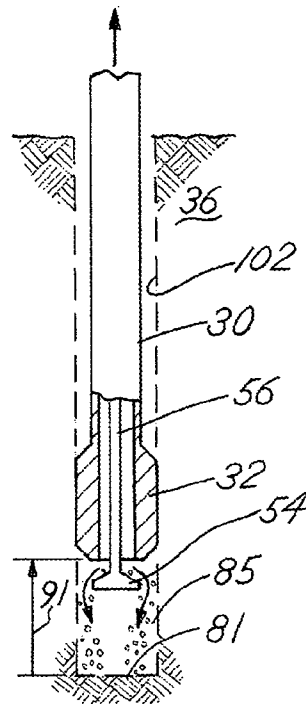


FIG.7

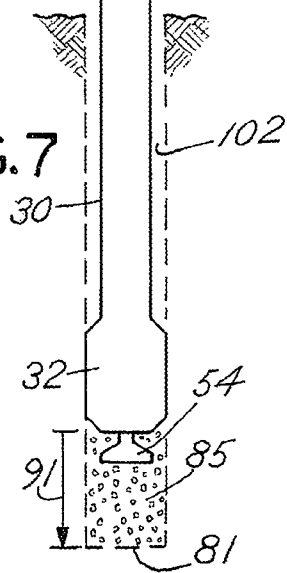


FIG.8B

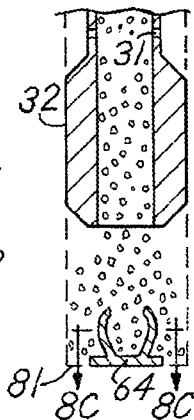


FIG.8A

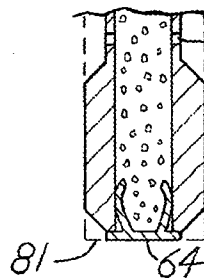
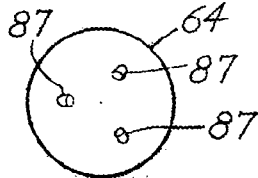


FIG.8C



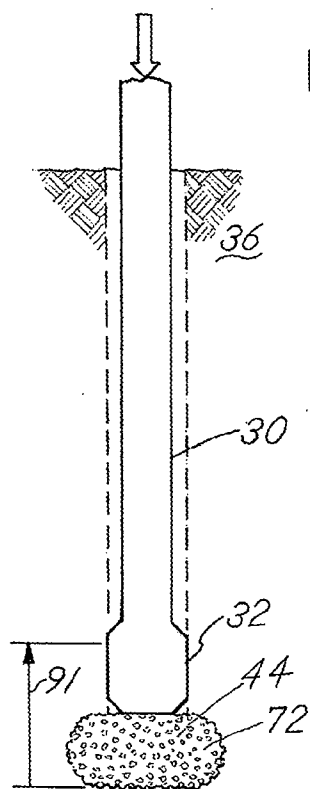


FIG. 9

FIG. 12

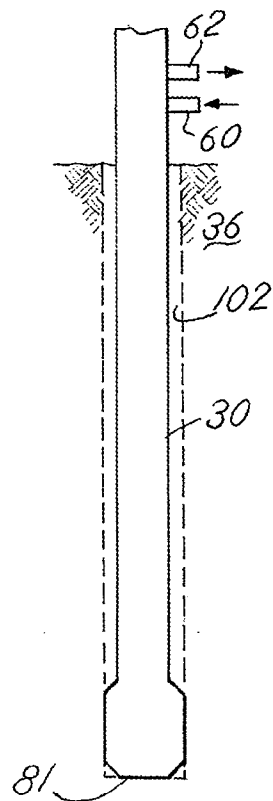
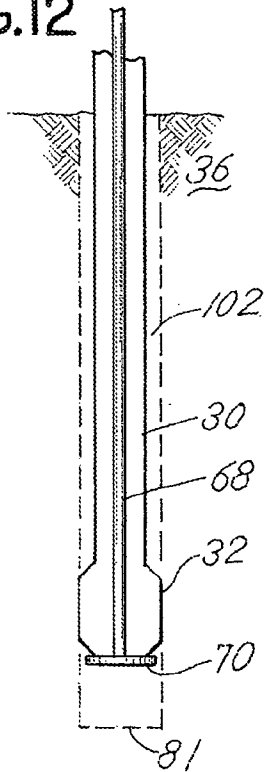


FIG. 13

FIG. 10

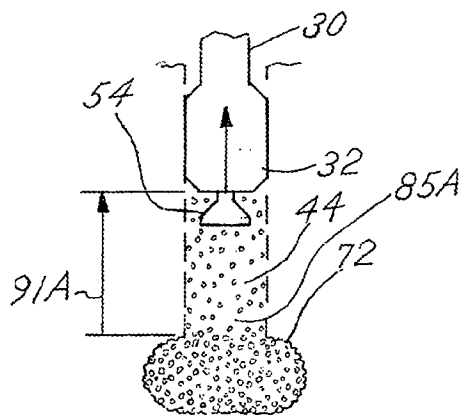


FIG. 11

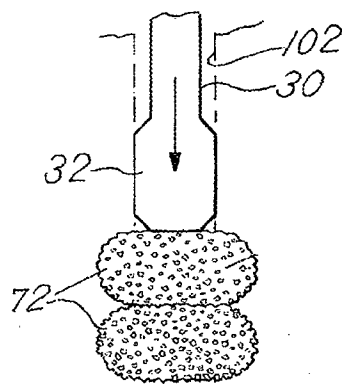


FIG.14

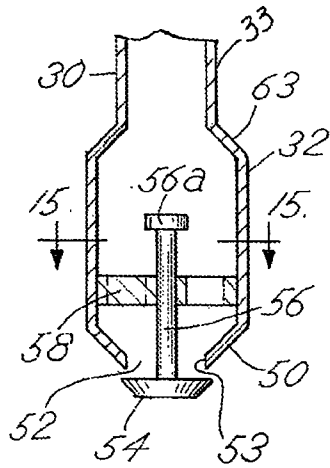


FIG.16

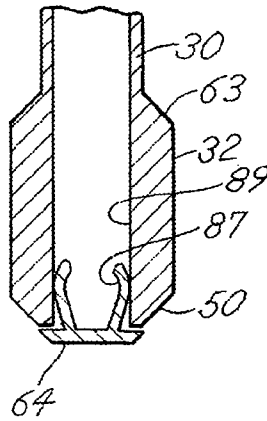


FIG.17

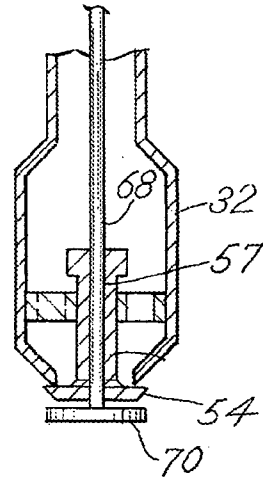


FIG.18

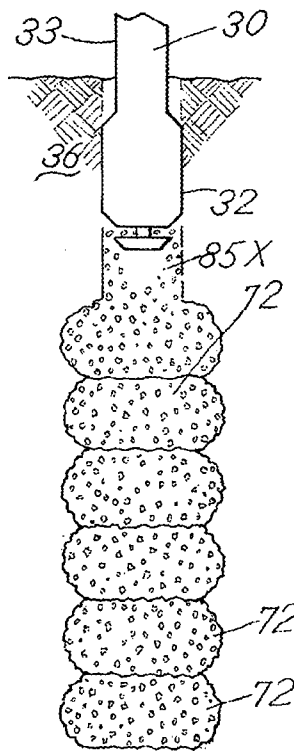


FIG.19

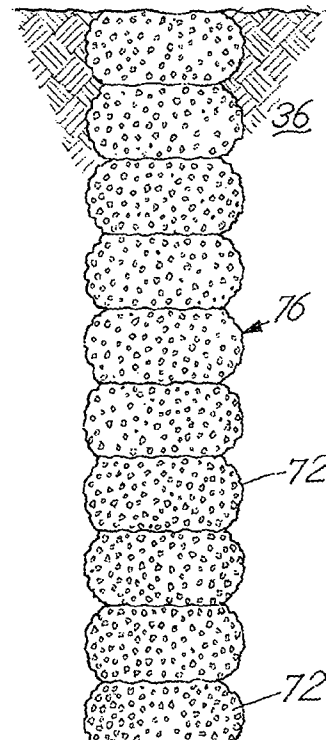


FIG.15

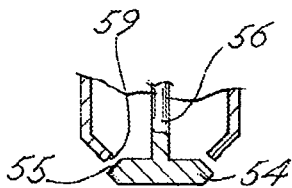
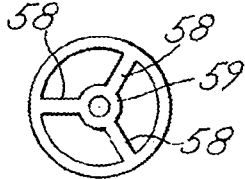


FIG.15A

FIG. 20

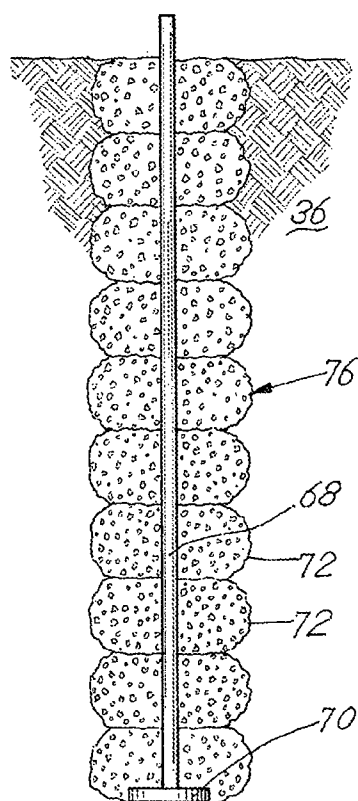
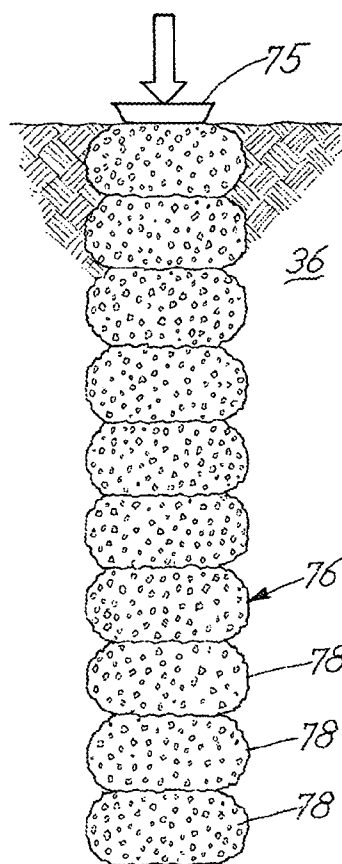


FIG. 21



7/13

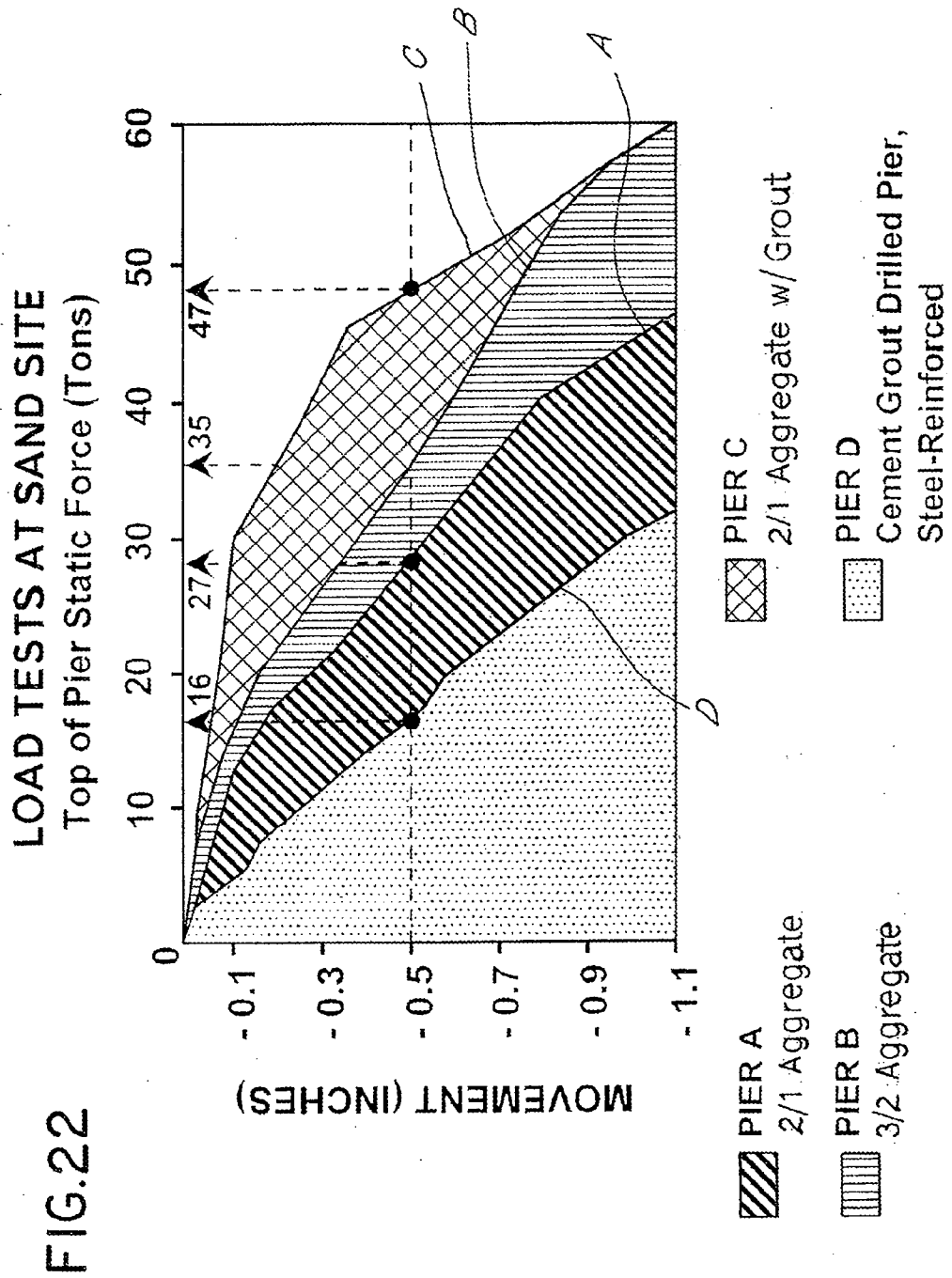


FIG. 23

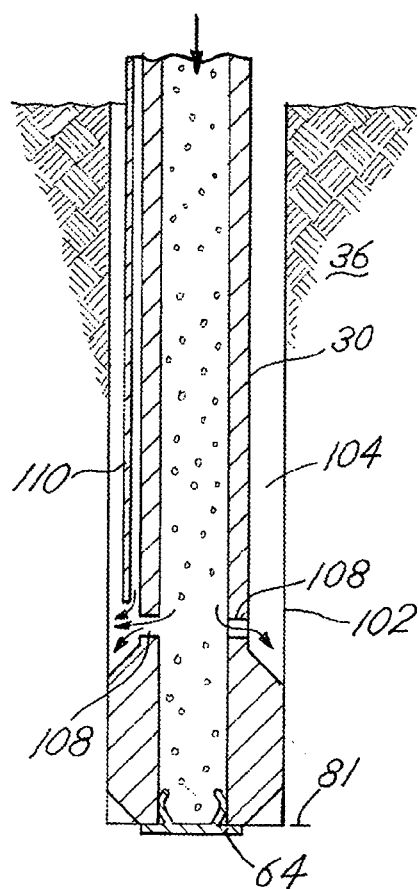
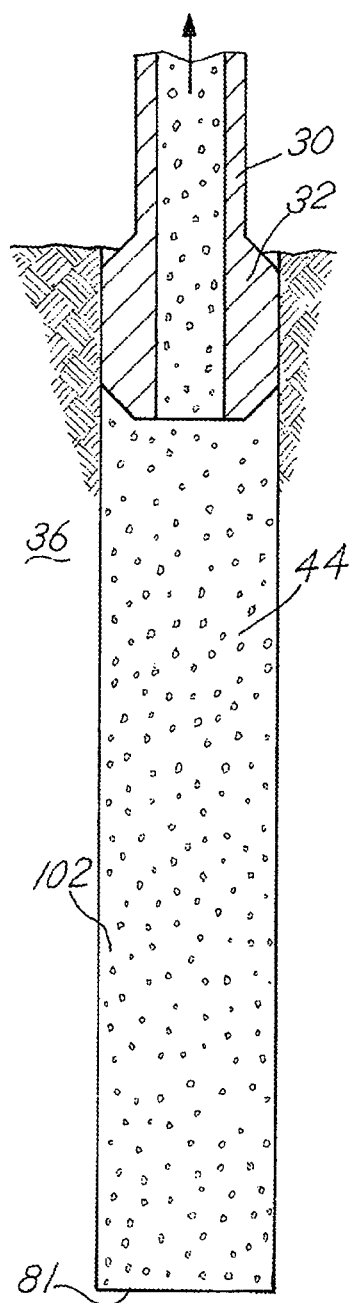


FIG. 24



9/13

FIG.25

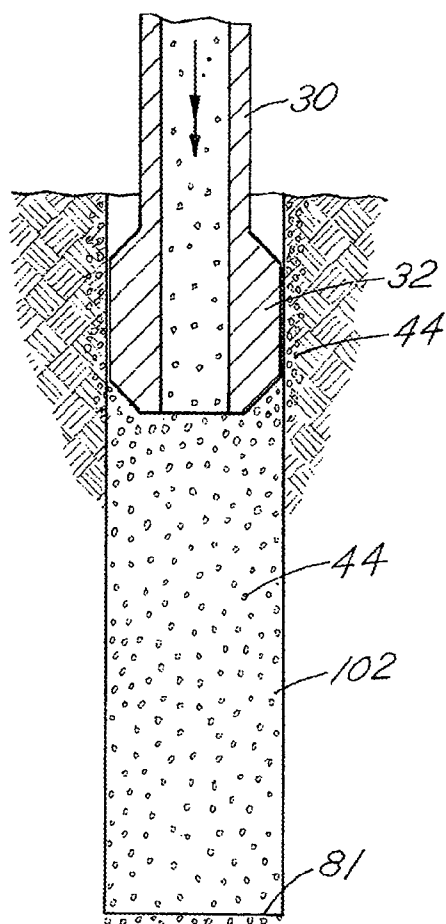
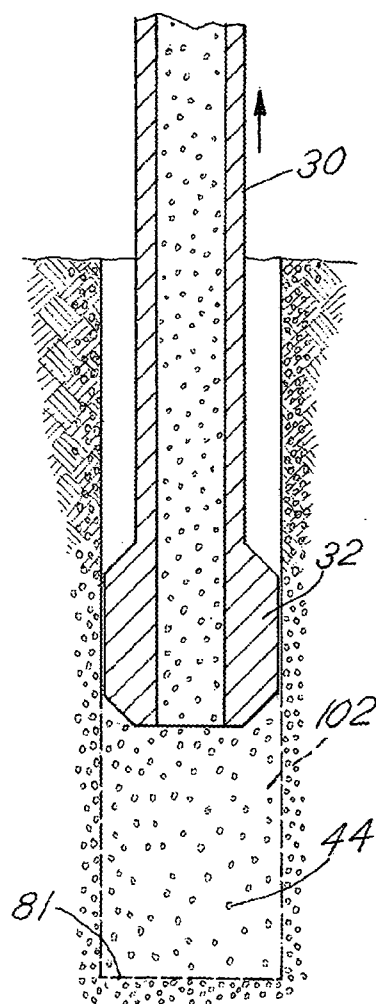


FIG.26



10/13

FIG.27

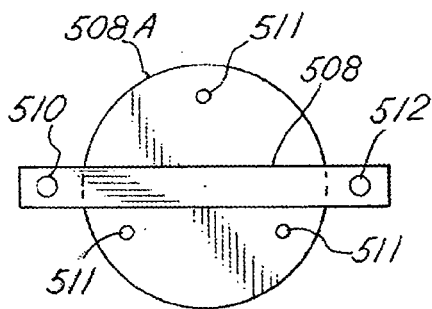
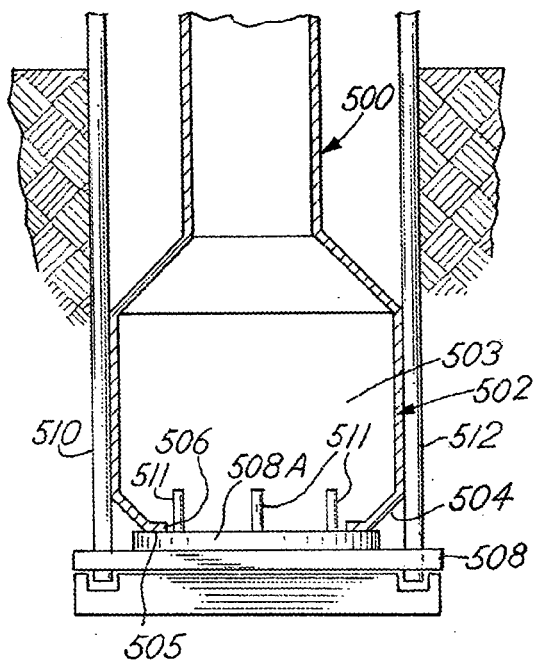


FIG.27B

FIG.27A

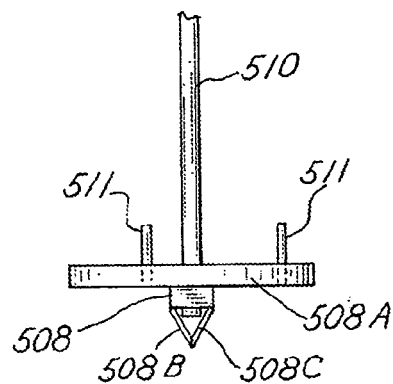
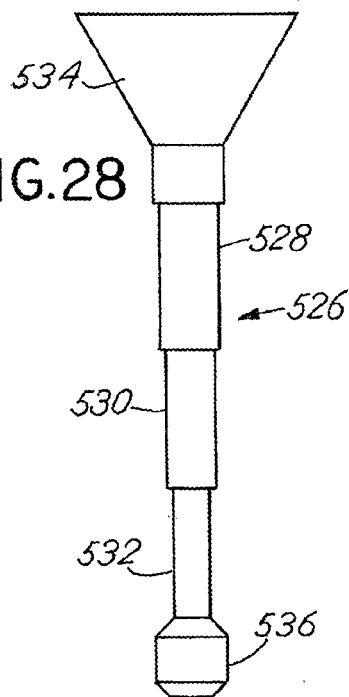


FIG.28



11/13

FIG.29

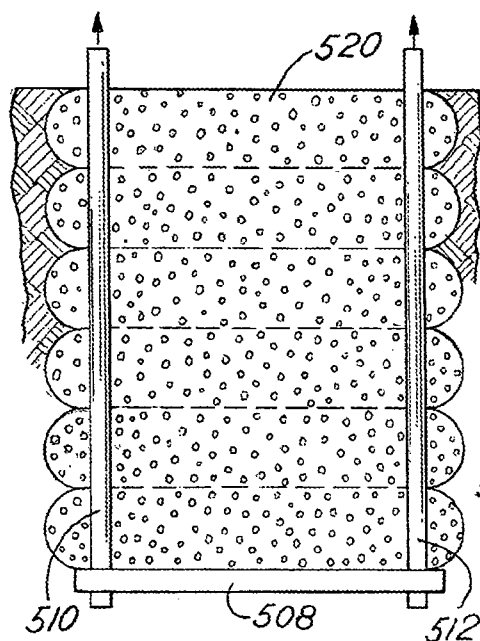


FIG.30

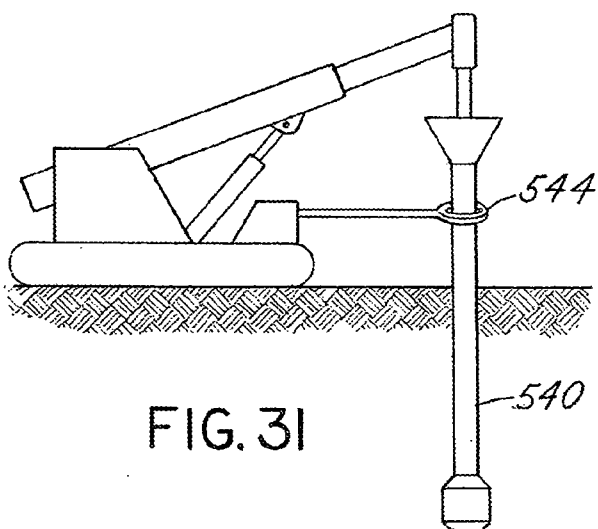
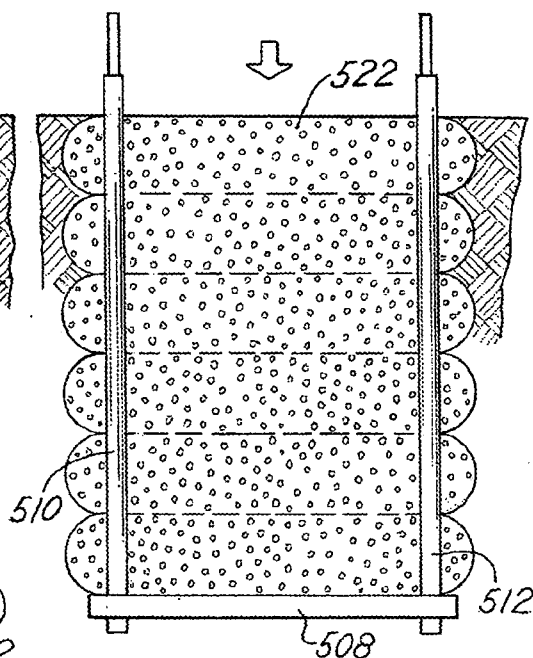
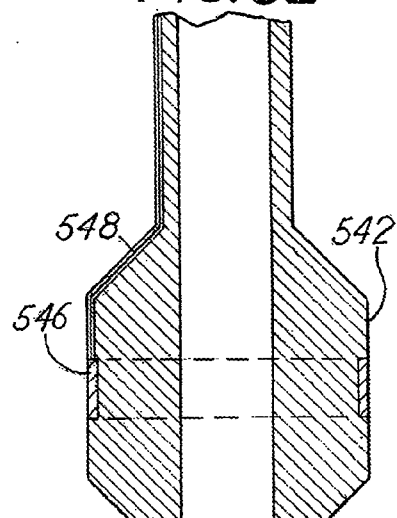


FIG. 31

FIG.32



12/13

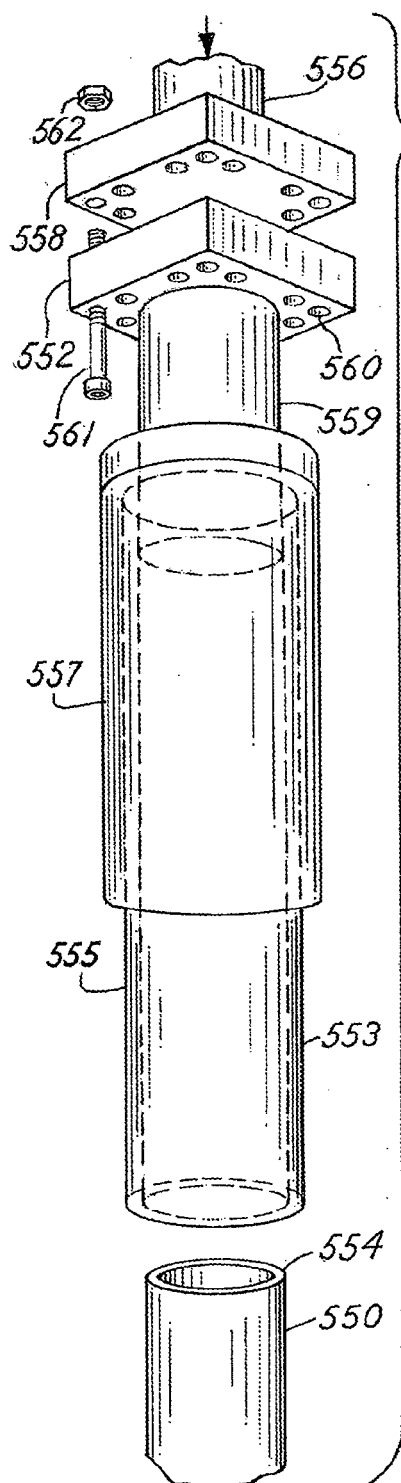


FIG. 33

FIG. 34

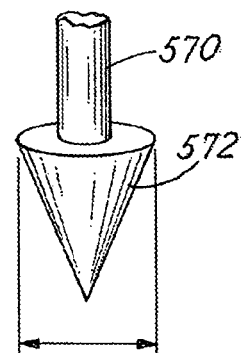


FIG. 35

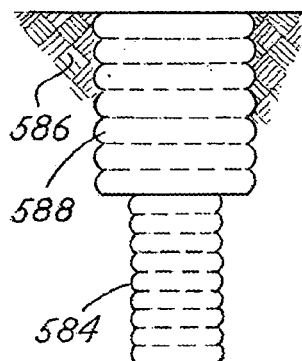
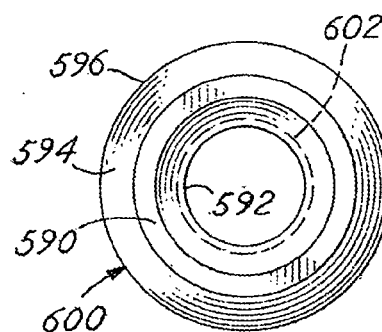
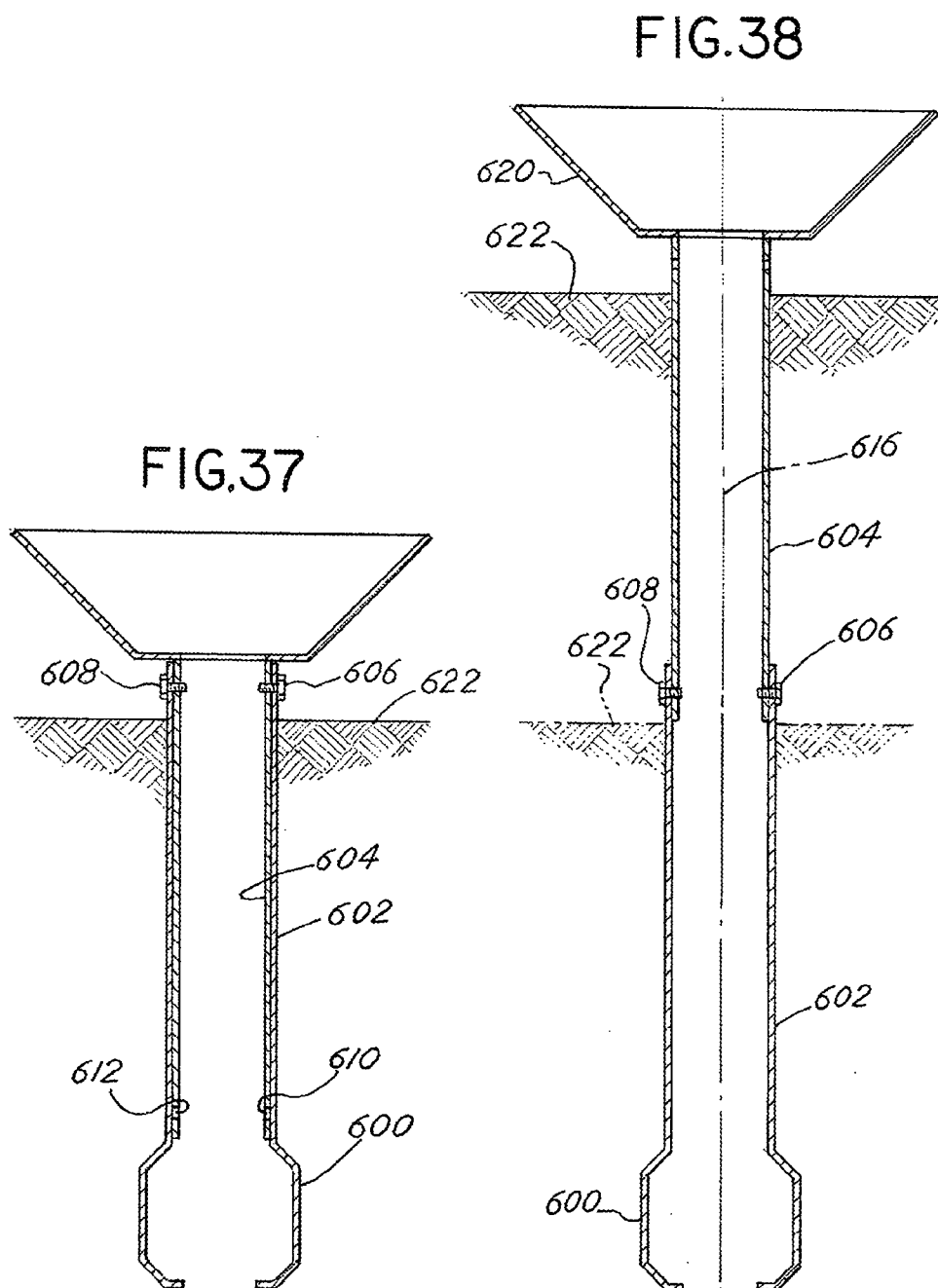


FIG. 36





**MÉTODO Y APARATO PARA CONSTRUIR PILARES DE SOPORTE A PARTIR
DE UNO O MÁS ESCALONES SUCESIVOS FORMADOS EN UNA MATRIZ DE
SUELO**

Solicitudes relacionadas

5 Esta solicitud reivindica prioridad para la
Solicitud de Patente de E.U. No. de Serie 11/876,556
presentada el 22 de Octubre, 2007 y la cual se incorpora en
la presente mediante la referencia. El No. de Serie
11/876,556 es una solicitud de continuación en parte de la
10 No. de Serie 11/747,271 presentada el 11 de Mayo, 2007 la
cual es una continuación de la 10/728,405 presentada el 12 de
Febrero, 2004 la cual es una solicitud de utilidad en base a
la solicitud provisional con No. de Serie 60/513,755
presentada el 23 de Octubre, 2003, todas las cuales se
15 incorporan en la presente mediante la referencia.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

En un aspecto principal, la presente invención se
refiere a un método y aparato para construir un pilar de
soporte comprendido de uno o más escalones compactados de
20 material inerte. El aparato permite la formación o
construcción de un pilar de uno o múltiples escalones dentro
de una matriz de suelo mientras que simultáneamente refuerza
el suelo adyacente al pilar. El aparato forma así, una
cavidad en la matriz de suelo al forzar un dispositivo de
25 tubo hueco en la matriz de suelo seguido por la elevación del

dispositivo de tubo, liberando o inyectando material inerte a través del dispositivo de tubo en la sección de cavidad por debajo del dispositivo de tubo elevado y después por los pilares de escalones múltiples que llevan, empujan, 5 descienden y/o fuerzan al dispositivo de tubo hacia abajo para compactar el material inerte liberado mientras simultáneamente fuerzan hacia abajo el material inerte de manera vertical y lateralmente hacia el exterior en la matriz de suelo circundante.

10 En la Patente de E.U. No. 5,249,892, incorporada en la presente mediante la referencia, se describe un método y aparato para construir pilares cortos de material inerte in situ. El proceso incluye perforar una cavidad en una matriz de suelo y después introducir y compactar capas o escalones 15 sucesivos de material inerte en la cavidad para formar un pilar que puede proporcionar apoyo para una estructura. Tales pilares se fabrican al perforar primero un orificio o cavidad en una matriz de suelo, después retirando la barrena, después colocando una capa separada, relativamente pequeña de 20 material inerte en la cavidad, y después apisonando o compactando la capa de material inerte en la cavidad con un apisonador mecánico. El apisonador mecánico se retira típicamente después de compactar cada capa, y después se coloca material inerte adicional en la cavidad para formar la 25 siguiente capa o escalón compactado. Los escalones o capas

de material inerte, que se compactan durante el proceso de formación del pilar, tienen típicamente un diámetro de 2 o 3 pies y una elevación vertical de aproximadamente 12 pulgadas.

Este aparato y proceso producen una columna o pilar
5 rígido y de estabilidad efectiva útil el soporte de una estructura. Sin embargo, este método de construcción de pilares tiene una limitación en términos de la profundidad a la que puede llevarse a cabo económicamente el proceso de formación de pilares, y de la velocidad a la que puede
10 conducirse el proceso. Otra limitación es que, en ciertos tipos de suelos, especialmente en suelos de arena, ocurren hundimientos durante la perforación de la cavidad o el proceso de formación y pueden requerir el uso de un revestimiento temporal tal como un revestimiento de tubería
15 de acero. El uso de un revestimiento de acero temporal retrasa significativamente la producción de pilares y por tanto aumenta el costo de producción de pilares. Así, típicamente, el proceso descrito en la Patente No. 5,249,892 se limita a formar pilares en limitados tipos de suelo a
20 profundidades generalmente no mayores a aproximadamente 25 pies.

Como resultado, se ha desarrollado una necesidad de un proceso único de construcción de pilares y un aparato mecánico especial asociado el cual puede utilizarse de forma
25 exitosa y económica para formar o construir pilares de

material inerte a mayores profundidades, a mayores velocidades de instalación, y en arenas y otros suelos que se colapsan y son inestables cuando se perforan, sin la necesidad de un revestimiento temporal, teniendo aún los
5 atributos y beneficios asociados con el método, aparato y construcción de pilares cortos de material inerte descritos en la Patente No. 5,249,892, así como los beneficios adicionales.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

10 Brevemente, la presente invención comprende un método para la instalación de un pilar formado a partir de una o más capas o escalones formados de material inerte, con o sin aditivos, e incluye las etapas de colocar o empujar o forzar un tubo hueco alargado, que tiene un elemento de
15 cabezal inferior de configuración especial y configuración de tubo única, dentro de una matriz de suelo, rellenar el tubo hueco incluyendo el elemento de cabezal inferior con un material inerte, liberar un volumen predeterminado de material inerte desde el elemento de cabezal inferior a
20 medida que se eleva el tubo hueco una distancia adicional predeterminada en la cavidad formada en la matriz de suelo, y después impartir una fuerza vectorial estática, axial y fuerzas vectoriales dinámicas opcionales sobre el tubo hueco y su elemento de cabezal inferior especial para transferir
25 energía mediante el extremo inferior del elemento conformado

31

de cabezal inferior del tubo hueco hacia la parte superior del escalón del material inerte liberado compactando así verticalmente el escalón de material inerte y también, simultáneamente, al forzar una porción del material inerte liberado lateralmente o transaxialmente hacia las paredes de la cavidad. La elevación del tubo hueco que tiene el elemento de cabezal inferior especial seguida por el empuje hacia abajo con una fuerza vectorial estática axial o vertical aplicada y fuerzas vectoriales dinámicas opcionales, impacta el material inerte que no se encuentra protegido por el tubo hueco desde las paredes laterales de la cavidad al momento del impacto, densificando y compactando verticalmente así el material inerte así como al forzar una porción del material inerte lateralmente hacia el exterior hacia la matriz de suelo debido a la parte inferior conformada del elemento de cabezal inferior bulboso, facilitando las fuerzas laterales sobre y dentro del material inerte liberado e impartiendo por tanto una tensión lateral sobre la matriz de suelo adyacente. El material inerte liberado, compactado, y parcialmente desplazado define así un "escalón" que generalmente tiene una dimensión lateral o un diámetro mayor que el de la cavidad formada por el tubo hueco y el elemento de cabezal inferior bulboso, dando como resultado una construcción de pilar formada de uno o más escalones compactados de material inerte.

El material inerte se libera desde el elemento de cabezal inferior especial del tubo hueco a medida que el elemento de cabezal inferior bulboso se eleva, preferentemente en etapas adicionales predeterminadas, primero por arriba de la parte inferior de la cavidad y después por arriba de la porción superior de cada uno de los escalones sucesivos de material inerte del pilar que se han formado en la cavidad y en la matriz de suelo adyacente mediante el proceso. El material inerte liberado desde el tubo hueco se compacta mediante las fuerzas de compactación suministradas por el tubo hueco y el elemento de cabezal inferior especial después de que el tubo hueco se ha elevado para exponer una porción de la cavidad mientras libera el material inerte hacia esa porción expuesta. A continuación, el tubo hueco y el elemento de cabezal inferior bulboso se fuerzan hacia abajo para compactar verticalmente el material inerte y para empujar la porción del material inerte lateralmente hacia la matriz de suelo. El material inerte, es así compactado y se desplaza parcialmente en incrementos o escalones secuenciales predeterminados. El proceso se repite continuamente a lo largo de la longitud o profundidad de la cavidad dando como resultado la formación de un pilar o columna de material inerte de escalones o capas compactadas de forma separada hacia la matriz de suelo. De esta manera, puede construirse un pilar de material inerte verticalmente

compactado que tiene una longitud de cincuenta (50) pies o mayor, en un periodo de tiempo relativamente corto sin retirar del suelo el tubo hueco y el elemento de cabezal inferior especial. El pilar de material inerte verticalmente compactado resultante tiene también generalmente una dimensión formada en sección transversal, consistentemente mayor que la del tubo hueco.

Puede utilizarse un número de tipos de material inerte en la práctica del proceso que incluyen piedra triturada de muchos tipos de canteras, o concreto triturado reciclado.

Los aditivos pueden incluir agua, cemento seco, o lechada tal como agua-cemento arena-lechada, ceniza de cobalto, cal hidratada o cal viva, o puede utilizarse cualquier otro aditivo que pueda mejorar la capacidad de carga o las características de ingeniería del pilar de material inerte formado. También pueden utilizarse combinaciones de estos materiales en el proceso.

El tubo hueco con el elemento de cabezal inferior bulboso puede colocarse dentro de la matriz de suelo empujando y/o vibrando verticalmente o apisonando verticalmente el tubo hueco, teniendo el extremo delantero, el elemento de cabezal inferior bulboso en el suelo con una fuerza estática vectorial vertical o axial aplicada y, opcionalmente, con fuerzas vectoriales dinámicas

acompañantes. La matriz de suelo, la cual se encuentra desplazada mediante el forzado, empujado y/o vibración inicial del tubo hueco con el elemento de cabezal inferior especial, generalmente se desplaza y se compacta lateral y verticalmente hacia abajo en la matriz de suelo preexistente. Si se encuentra una capa de suelo dura o densa, la capa dura o densa puede penetrarse mediante la pre-perforación o pre-penetración de esa capa para formar una cavidad o pasaje dentro del cual puede colocarse e impulsarse el tubo hueco y el elemento de cabezal inferior especial.

El tubo hueco se construye típicamente a partir de un tubo de diámetro uniforme con un elemento de cabezal inferior bulboso y puede incluir un mecanismo de válvula interna cercano o dentro del elemento de cabezal inferior o un mecanismo de válvula en el extremo inferior del elemento de cabezal, o puede no incluir un mecanismo de apertura y cierre de válvula interior. El tubo hueco es generalmente cilíndrico con un diámetro menor, constante, uniforme, a lo largo de una sección superior del tubo. El extremo inferior bulboso o de mayor diámetro externo del tubo hueco (i.e. elemento de cabezal inferior bulboso) es integral con el tubo hueco de menor diámetro o puede formarse por separado y unirse al extremo inferior del tubo hueco de menor diámetro. Es decir, el elemento de cabezal inferior bulboso es también típicamente cilíndrico, y tiene un diámetro externo o perfil

en sección transversal externo mayor que el resto del tubo hueco y es concéntrico alrededor del eje de línea central del tubo hueco. El extremo delantero del elemento de cabezal inferior bulboso se conforma para facilitar la penetración hacia la matriz de suelo y para transmitir las fuerzas vectoriales deseadas al suelo circundante durante la penetración así como al material inerte subsecuentemente liberado desde el tubo hueco. La transición desde la sección de tubo hueco de diámetro externo menor al elemento de cabezal inferior especial puede comprender una forma frustocónica. De manera similar, la parte inferior del elemento de cabezal puede emplear una forma cónica o frustocónica para facilitar la penetración del suelo y la subsecuente compactación del material inerte. El extremo delantero del elemento de cabezal inferior bulboso puede incluir un miembro de tapa sacrificial que se encuentra fijo al elemento de cabezal inferior mientras que penetra la matriz de suelo durante la colocación inicial del tubo hueco hacia la matriz de suelo, para evitar que la tierra se introduzca en el tubo hueco. La tapa sacrificial puede entonces liberarse o desembragarse del extremo del tubo hueco para revelar un pasaje de extremo a medida que se eleva primero el tubo hueco de tal forma que el material inerte puede liberarse a través del tubo hueco y puede fluir en la cavidad, lo cual resulta de la elevación del tubo hueco.

Alternativamente, o además, el extremo delantero del elemento de cabezal inferior bulboso puede incluir una válvula mecánica interna que se encuentra cerrada durante la penetración inicial de la matriz de suelo mediante el tubo hueco y el elemento de cabezal inferior bulboso, pero que puede abrirse durante la elevación para liberar el material inerte. Pueden utilizarse otros tipos de mecanismos y formas de válvula de extremo delantero para facilitar la penetración inicial de la matriz de suelo, evitar la entrada de tierra dentro del tubo hueco, permitir la liberación del material inerte cuando el tubo hueco se encuentra elevado, y para transmitir fuerzas vectoriales en combinación con el extremo delantero del elemento de cabezal inferior especial para compactar los escalones sucesivos de material inerte.

Además, el aparato puede incluir medios para colocar uno o más miembros de elevación vertical dentro del pilar formado para su uso subsecuente como un miembro de resistencia de fuerza de anclaje de elevación vertical, así como para un miembro indicador dentro del pilar formado para medir el movimiento de la parte inferior del pilar formado durante la carga, tal como durante la prueba de carga. Tales características o medios auxiliares pueden introducirse a través del interior del tubo hueco durante la formación del pilar.

Alternativamente, pueden colocarse varillas de

anclaje de elevación o una varilla o varillas de indicador sobre el exterior del tubo hueco y del elemento de cabezal inferior bulboso. Tales varillas correrían longitudinalmente a lo largo de la longitud del tubo hueco y del elemento de cabezal y, por lo tanto, se colocarían en el lado de la cavidad formada por los mismos. De tal manera, pueden colocarse una, o dos o más varillas. Las varillas, colocadas en el exterior del tubo hueco y el elemento de cabezal, pueden emplearse solas o en combinación con las varillas inicialmente colocadas en el interior del tubo hueco.

Aún como otra característica de la invención, pueden emplearse reguladores de vibración en combinación con una tolva que alimenta el material inerte u otro material hacia el tubo hueco. Por consiguiente, pueden utilizarse dos o más reguladores y, por lo tanto, emplearse en combinación con el mecanismo de desplazamiento.

En otro aspecto de la invención, el diámetro del tubo hueco a lo largo de su extensión longitudinal entre la tolva o extremo superior del tubo hueco y el elemento de cabezal inferior bulboso puede variar. La sección de tubo hueco de diámetro mayor puede colocarse en la parte superior del tubo hueco, con secciones de diámetro progresivamente menores por debajo de la sección de diámetro más grande, cuya parte más pequeña se une al elemento de cabezal inferior. Esta disposición puede efectuar la reducción en el peso total

del tubo hueco, mientras que incrementa la resistencia en aquellas porciones del tubo hueco en donde se requiere mayor resistencia. El tubo hueco puede ensamblarse en secciones múltiples que se encuentran empernadas, soldadas o, de otra
5 manera, sujetadas entre sí. La configuración externa de las secciones adyacentes puede también variar, por ejemplo, pueden tener diversas formas geométricas en sección transversal tales como circular, elíptica, hexagonal, etc. Las secciones pueden pre-ensamblarse o ensamblarse
10 conectándolas punto por punto durante la penetración del suelo.

En la práctica del método de la invención, puede ser ventajoso utilizar piedra triturada que tiene lados o caras angulares, más que piedra redondeada o de río la cual
15 se utiliza más comúnmente con otros métodos de mejoramiento de suelos. La capacidad para utilizar piedra triturada en la práctica del método permite el uso de un material que no se emplea comúnmente para construir tales pilares y, como tal, proporciona la capacidad de construir un pilar que tiene
20 ciertas ventajas prácticas tales como mayor densidad y mayor rigidez. Sin embargo, también pueden utilizarse piedras redondeadas o de río. También pueden utilizarse combinaciones de tales piedras que incluyen piedra triturada y piedra redondeada o de río.

25 Como otra característica de la invención, el tubo

hueco y el elemento de cabezal inferior bulboso pueden guiarse de forma apropiada en movimiento hacia la matriz de suelo mediante una guía de alineamiento. La guía de alineamiento proporciona la función adicional de evitar que
5 el tubo hueco y el elemento de cabezal inferior especial se desplacen lateralmente ("se desenganchen") durante la penetración inicial hacia la matriz de suelo. Un ejemplo de una guía de alineamiento especial es un miembro de guía toroidal que rodea al tubo hueco y lo sujeta a la máquina de
10 desplazamiento para proporcionar la guía del mismo para el tubo hueco y el elemento de cabezal inferior bulboso. Pueden utilizarse otras formas de guías de alineamiento especial y puede utilizarse más de una guía de alineamiento.

Aún como otra característica, el tubo hueco y el
15 elemento de cabezal inferior bulboso pueden forzarse o impulsarse hacia la matriz de suelo mediante un martillo vibrador que se sujeta a los mismos mediante una construcción de placa de encaje. La placa de encaje se mantiene en posición mediante pernos o varillas que se encuentran
20 retenidos mediante arandelas de presión especiales, por ejemplo, las arandelas de presión especiales que tienen el nombre comercial de "Northlock Washers". Esta disposición reduce la electricidad creada entre el aparato de desplazamiento y el tubo hueco con el elemento de cabezal
25 inferior bulboso.

El diámetro externo típico de una modalidad circular en sección transversal del elemento de cabezal inferior especial, se encuentra en el rango de aproximadamente 14 pulgadas. Otros tamaños típicos, en
5 términos del diámetro, del elemento de cabezal incluyen un elemento de cabezal que tiene un diámetro dentro de cualquiera de 12 a 16 pulgadas y el rango de los diámetros practicables de un elemento de cabezal puede ser de aproximadamente 10 a aproximadamente 20 pulgadas. Esto
10 difiere de otros aparatos tubulares para el mejoramiento de suelos que típicamente son más grandes, de 24 a 36 pulgadas de diámetro. La forma del elemento de cabezal en sección transversal es típicamente cilíndrica, aunque pueden utilizarse otras formas para proporcionar una forma
15 relativamente bulbosa del elemento de cabezal inferior bulboso cuando se contrasta con el área en sección transversal de la sección de tubo hueco unida al mismo.

Un dispositivo detector puede encontrarse unido al elemento de cabezal inferior bulboso para medir la fuerza
20 vertical al paso del tiempo, como la encontrada por el elemento de cabezal inferior bulboso durante la compactación vertical y el desplazamiento lateral del proceso de material inerte. El dispositivo detector permite la medición de la fuerza vertical y de la duración de la fuerza vertical que se
25 coloca sobre el mismo. El dispositivo detector puede unirse

al elemento de cabezal inferior bulboso, por ejemplo, justo por arriba de la porción inferior formada del mismo para proporcionar lecturas axiales y tansaxiales.

Como otra característica, el aparato de la
5 invención puede utilizarse en combinación con material inerte, con lechada de cemento en combinación con material inerte, o con concreto, así como con otros materiales de formación de pilares.

Como otra característica, el aparato y método de la
10 invención pueden utilizarse en suelos rígidos, muy rígidos, de densidad media o duros. En ciertas circunstancias, es posible pre-perforar al menos en parte el suelo en la ubicación del pilar. Alternativamente, es posible pre-penetrar el suelo en la ubicación del pilar con un elemento
15 de cabezal de penetración especialmente diseñado sujetado a un eje. El área en sección transversal del eje es típicamente menor que el área máxima en sección transversal del elemento de cabezal de penetración. El diámetro máximo del elemento de cabezal de penetración es típicamente menor
20 que el diámetro del elemento de cabezal inferior bulboso unido al tubo hueco alargado. Una cabeza de penetración cónica sobre un eje es una configuración efectiva para el elemento de cabezal de penetración especialmente diseñado, aunque pueden utilizarse otras configuraciones. La operación
25 de la etapa de pre-penetración es previa a y, típicamente,

45

separada de las etapas de instalación del pilar por medio del tubo hueco y el elemento de cabezal inferior bulboso.

Como otra característica de la invención, los pilares de material inerte fabricados de acuerdo con el
5 aparato y método de la invención pueden instalarse a una profundidad por debajo de la superficie del suelo. El pilar de material inerte puede entonces servir como una base o soporte para un tipo alternativo de construcción de pilar. Por lo tanto, pueden unirse o acoplarse o apilarse dos o más
10 tipos diferentes de segmentos de pilar, uno de los cuales es el sistema descrito en la presente, para formar un pilar único.

La abertura de descarga en el extremo distal máximo del elemento de cabezal inferior bulboso puede variar en
15 tamaño. Típicamente, debido a que el elemento de cabezal inferior se utiliza para descargar material inerte u otro material similar desde una abertura, una porción del extremo distal máximo del elemento de cabezal inferior bulboso comprenderá una estructura generalmente horizontal acoplada
20 con una superficie cónica o generalmente cónica. La abertura inferior comprenderá típicamente menos del cincuenta por ciento del área de superficie de la porción o sección generalmente horizontal y la porción de superficie generalmente cónica. La porción inferior horizontal y la
25 porción generalmente cónica imparten fuerzas directamente

sobre el material inerte liberado o descargado desde la abertura inferior.

Por lo tanto, es un objetivo de esta invención proporcionar un aparato de tubo hueco con un diámetro
5 efectivo de diseño especial más grande que el del elemento de cabezal inferior bulboso del tubo hueco, útil para crear un pilar de material inerte compactado, con o sin aditivos, que se extienda a una mayor profundidad y proporcionar un método mejorado para crear un pilar que se extienda a una mayor
10 profundidad que la típicamente disponible o practicada por la tecnología conocida existente de pilares de material inerte cortos.

Aún otro objetivo de la invención es proporcionar un método y aparato mejorados para formar un pilar de
15 material inerte compactado que no requiera el uso de revestimiento de acero temporal durante el proceso de formación de pilar, particularmente en suelos susceptibles a hundimientos tales como suelos arenosos y los suelos por debajo del nivel freático.

20 Aún otro objetivo de la invención es proporcionar un método y aparato mejorados para formar un pilar de material inerte compactado que puede incluir una multiplicidad de aditivos opcionales, que incluyen una mezcla de material inerte, la adición de agua, la adición de cemento
25 seco, la adición de lechada de cemento, la adición de agua-

cemento-arena, la adición de cenizas volantes, la adición de cal hidratada o cal viva, y la adición de otros tipos de aditivos, que incluyen el uso de concreto, para mejorar las propiedades de ingeniería de la matriz de suelo, de los
5 materiales de material inerte y del pilar formado.

Aún un objetivo adicional de la invención es proporcionar una construcción de pilar de material inerte capaz de instalarse en muchos tipos de suelo y que es capaz además de formarse a mayores profundidades y a mayores
10 velocidades de construcción que las construcciones de pilar de material inerte anteriores conocidas.

Aún un objetivo adicional de la invención es proporcionar un método y aparato mejorados para formar un pilar de material inerte compactado dentro de un pilar de
15 material inerte ablandado o suelto previamente formado, mediante un proceso de construcción de pilar diferente y con aparatos diferentes a los descritos en la presente a fin de estabilizar y rigidizar el pilar previamente formado.

Otro objetivo de la invención es proporcionar un
20 aparato de formación de pilar útil para construir rápidamente y eficientemente pilares de material inerte compactado de múltiples escalones y/o pilares de material inerte que comprenden tan pocos como un único escalón.

Estos y otros objetivos, ventajas y características
25 de la invención se establecerán en la siguiente descripción

detallada.

Breve Descripción de los Dibujos

En la siguiente descripción detallada, se hará referencia al dibujo comprendido de las siguientes figuras:

5 Figura 1 es una vista esquemática de un tubo hueco con un elemento de cabezal inferior especial que se empuja, se fuerza o se desplaza hacia el suelo mediante una fuerza vectorial estática vertical y fuerzas dinámicas opcionales;

10 La Figura 2 es una vista esquemática de una etapa subsecuente a la Figura 1, en donde se coloca el material inerte dentro de una tolva y se alimenta hacia el tubo hueco. La tolva puede también desprenderse del tubo hueco y colocarse sobre el suelo más que en la parte superior del tubo hueco;

15 La Figura 3 es una vista en sección transversal de una tolva que tiene dos o más reguladores de aislamiento dobles y que puede utilizarse en combinación con el tubo hueco;

20 La Figura 3A es una vista seccional isométrica de la tolva y el tubo hueco de la Figura 3;

 La Figura 3B es una vista isométrica de la tolva y el tubo hueco de la Figura 3;

25 La Figura 4 es una vista esquemática en sección transversal de un tubo hueco que tiene una constricción o válvula de retención interna;

La Figura 5 es una vista esquemática que representa la etapa de la introducción opcional de agua, lechada de cemento u otro material aditivo hacia el tubo hueco, proporcionando recirculación a un depósito de agua o lechada.

5 Los materiales aditivos pueden introducirse también directamente hacia el tubo hueco;

La Figura 6 es una vista esquemática que representa la etapa subsecuente a la etapa de a Figura 2, en donde el tubo hueco con su elemento de cabezal inferior bulboso, se
10 eleva una distancia predeterminada para exponer temporalmente una porción de cavidad hueca en la matriz de suelo para permitir que el material inerte llene rápidamente la porción de cavidad hueca expuesta;

La Figura 7 es una vista esquemática de la etapa de
15 proceso subsecuente a la Figura 6, en donde una válvula inferior en la porción inferior del tubo hueco se abre para liberar el material inerte hacia una sección de cavidad hueca, no recubierta;

Las Figuras 8A y 8B son vistas esquemáticas en
20 sección transversal de una alternativa al dispositivo y a la etapa representada o ilustrada en la Figura 7, en donde el elemento de cabezal inferior bulboso del tubo hueco incluye una tapa sacrificial que se libera hacia abajo de una cavidad formada cuando el tubo hueco y el elemento de cabezal
25 inferior especial se elevan a una distancia predeterminada,

como se muestra en la Figura 8B;

La Figura 8C es una vista seccional de la tapa sacrificial de la Figura 8B tomada a lo largo de la línea 8C-8C en la Figura 8B;

5 La Figura 9 es una vista esquemática en donde el tubo hueco y su elemento de cabezal inferior especial asociado proporcionan una fuerza vectorial estática vertical con fuerzas dinámicas opcionales para mover el tubo hueco y el elemento de cabezal inferior bulboso hacia abajo una
10 distancia predeterminada mediante impactación y compactación del material inerte liberado desde el tubo hueco y empujando una porción del material inerte lateralmente hacia la matriz de suelo;

La Figura 10 es una vista esquemática del tubo
15 hueco y su elemento de cabezal inferior especial elevándose una distancia predeterminada para formar un segundo escalón;

La Figura 11 es una vista esquemática del tubo hueco y el elemento de cabezal inferior bulboso en funcionamiento para proporcionar una fuerza vectorial
20 vertical para mover el tubo hueco y el elemento de cabezal inferior bulboso hacia abajo una distancia predeterminada para formar el segundo escalón compactado sobre la parte superior de un primer escalón compactado;

La Figura 12 es una vista esquemática del tubo
25 hueco con un elemento opcional de varilla de acero de

refuerzo o elemento indicador unido a una placa para su instalación dentro de un pilar de material inerte formado;

La Figura 13 es una vista esquemática del tubo hueco en donde se combinan agua o lechada de agua-cemento-arena, u otro aditivo opcional con el material inerte en el tubo hueco;

La Figura 14 es una vista en sección transversal vertical del elemento de cabezal inferior especial con una válvula inferior de tipo trampilla;

La Figura 15 es una vista en sección transversal del elemento de cabezal inferior bulboso de la Figura 14 tomada a lo largo de la línea 15-15;

La Figura 15A es una vista en sección transversal de una porción de un elemento de cabezal inferior bulboso alternativo del tipo representado en la Figura 14;

La Figura 16 es una vista en sección transversal del elemento de cabezal inferior especial que incluye una tapa sacrificial en el extremo inferior, similar a la Figura 8A;

La Figura 17 es una vista en sección transversal del elemento de cabezal inferior especial con un miembro de anclaje de elevación opcional o miembro indicador unido a una placa;

La Figura 18 es una vista en sección transversal de un pilar de material inerte de escalón múltiple parcialmente

formado, formado por medio del tubo hueco y el elemento de cabezal inferior especial y el método de la invención;

La Figura 19 es una vista en sección transversal de un pilar de material inerte de escalón múltiple completamente
5 formado, formado por medio del tubo hueco y el elemento de cabezal inferior especial y el método de la invención;

La Figura 20 es una vista en sección transversal de un pilar de material inerte de escalón múltiple formado, con una varilla de acero de refuerzo opcional que tiene una placa
10 unida que permite que el pilar formado comprenda un pilar de anclaje de elevación o que incluya un elemento indicador para la prueba de carga subsecuente;

La Figura 21 es una vista en sección transversal del pilar de material inerte formado que se pre carga o que
15 tiene un modulo indicador de la prueba de carga que se lleva a cabo sobre el pilar completo;

La Figura 22 es un gráfico que ilustra los trazos comparativos de la prueba de carga de la presente invención, comparados con una pila de concreto perforada en la misma
20 formación de matriz de suelo;

La Figura 23 es una vista esquemática en sección transversal de un método de uso del aparato de la invención para formar un pilar de material inerte de escalón único o un pilar de material inerte en donde se forma primero un escalón
25 único o un escalón extendido para llenar la cavidad con

material inerte y después puede llevarse a cabo una segunda etapa opcional de re-penetración hacia el escalón único o el escalón extendido para fabricar subsecuentes escalones delgados;

5 La Figura 24 es una vista esquemática en sección transversal de la continuación del método ilustrado mediante la Figura 23;

 La Figura 25 es una vista esquemática en sección transversal de una continuación adicional de la etapa
10 representada en la Figura 24;

 La Figura 26 es una vista esquemática en sección transversal de la continuación adicional del método ilustrado mediante las Figuras 22-24;

 La Figura 27 es una vista diagramática que ilustra
15 la incorporación de dos o más varillas de elevación o de indicador externas al tubo hueco y a la placa inferior unida o tapa sacrificial;

 La Figura 27A es una vista de la cara lateral de la construcción de la Figura 27;

20 La Figura 27B es una vista en planta inferior de la construcción de la Figura 27;

 La Figura 28 es una vista diagramática que ilustra el aparato que incorpora diferentes secciones del área en sección transversal de un tubo hueco alargado en combinación
25 con un elemento de cabezal inferior bulboso;

La Figura 29 es una vista diagramática de un pilar de material inerte que incorpora anclajes de elevación;

La Figura 30 es una vista diagramática de un pilar de material inerte fabricado de acuerdo con la invención, que
5 incorpora varillas de indicador utilizadas para llevar a cabo las pruebas de carga;

La Figura 31 es una vista diagramática de una modalidad del aparato de la invención para alinear el tubo hueco y el elemento de cabezal inferior bulboso durante su
10 inserción hacia la matriz de suelo;

La Figura 32 es una vista diagramática de un elemento de cabezal inferior bulboso que incorpora un dispositivo detector para medir la fuerza o la presión al paso del tiempo durante la fabricación de un pilar de
15 material inerte;

La Figura 33 es una vista diagramática despiezada del aparato para unir un martillo vibrador a un tubo hueco a fin de colocar el tubo hueco y el elemento de cabezal inferior bulboso hacia la matriz de suelo;

La Figura 34 es una vista diagramática de un
20 dispositivo de pre-penetración de matriz de suelo que puede utilizarse en combinación con el aparato que comprende una modalidad de la invención;

La Figura 35 es una vista diagramática de un pilar
25 que comprende una composición de secciones de pilar

5

fabricadas de acuerdo con un método de la invención en combinación con otros métodos para dar como resultado una nueva combinación;

La Figura 36 es una vista de extremo inferior de un
5 elemento de cabezal inferior bulboso que representa el orificio o abertura en el extremo distal máximo del mismo para el paso del material inerte y/u otro material;

La Figura 37 es un dibujo diagramático de una construcción alternativa que comprende un tubo hueco
10 telescópico; y

La Figura 38 es un dibujo diagramático adicional de la modalidad de la Figura 37.

Descripción Detallada de la Invención

Construcción General

15 Las Figuras 1, 2, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 18, 19, 20 y 23-26 ilustran la totalidad general del método de construcción del dispositivo o mecanismo de formación de pilares y varias etapas secuenciales alternativas en el desempeño del método de la invención que producen la
20 construcción de pilar de material inerte resultante. Con referencia a la Figura 1, el método puede aplicarse a la colocación de pilares en una matriz de suelo que requiere refuerzo para que el suelo se vuelva más rígido y/o más fuerte. Una amplia variedad de suelos pueden requerir la
25 práctica de esta invención incluyendo, en particular, suelos

arenosos y de arcilla. Con la invención, es posible construir pilares conformados por uno o más escalones, utilizando materiales de material inerte y opcionalmente utilizando materiales de material inerte con materiales de
5 aditivo tales como agua, cemento, arena o lechada. Los pilares resultantes tienen mayor rigidez y resistencia que muchos pilares de material inerte de la técnica anterior, pueden extenderse económicamente a o construirse a mayores profundidades que muchos de los pilares de material inerte de
10 la técnica anterior, pueden formarse sin el uso de revestimiento de acero temporal a diferencia de muchos de los pilares de material inerte de la técnica anterior, pueden instalarse más rápido que muchos de los pilares de material inerte de la técnica anterior, pueden instalarse utilizando
15 menos materiales de material inerte por pie de longitud del pilar que muchos de los pilares de material inerte de la técnica anterior, y pueden instalarse sin ocasionar que los restos de la matriz de suelo se descarguen o se acumulen en la superficie de la tierra en la cercanía de la parte
20 superior del pilar.

Como una primera etapa del método, un tubo hueco o eje hueco 30 que tiene un eje longitudinal 35 que incluye o con un elemento de cabezal inferior especial 32, se empuja mediante un aparato de desplazamiento 37 de fuerza vectorial
25 axial estática en la Figura 3 y, opcionalmente, se hace

vibrar o se apisona verticalmente (axialmente) o ambos, con fuerzas vectoriales dinámicas, hacia la matriz de suelo 36. La porción de matriz de suelo 36, que comprende el volumen de material desplazado empujando una extensión del tubo hueco 30
5 incluyendo el elemento de cabezal inferior bulboso 32, se fuerza principalmente lateralmente compactando de este modo la matriz de suelo 36 adyacente. Como se muestra en la Figura 1, el tubo hueco 30 puede comprender un tubo de acero cilíndrico 30 que tiene un eje longitudinal 35 y un diámetro
10 externo en el rango de 6 a 14 pulgadas, por ejemplo. En el caso de que una capa de suelo duro o denso evite empujar el tubo hueco 30 y el elemento de cabezal inferior especial 32 hacia la matriz de suelo 36, tal capa dura o densa puede pre-perforarse, o pre-penetrarse, y el proceso de empuje puede
15 entonces continuar utilizando el aparato de desplazamiento 37.

Típicamente, el tubo hueco 30 tiene una forma externa cilíndrica uniforme, aunque pueden utilizarse otras configuraciones. Aunque el diámetro externo del tubo hueco
20 30 es típicamente de 6 a 14 pulgadas, pueden utilizarse otros diámetros en la práctica de la invención. También típicamente, el tubo hueco 30 se extenderá o se empujará hacia la matriz de suelo 36 hasta lo más profundo del pilar de material inerte, por ejemplo, hasta 50 pies o más. El
25 tubo hueco 30 se sujetará normalmente a una extensión de

desplazamiento de extremo superior 42 que puede sujetarse mediante un aparato o mecanismo de desplazamiento 37 para empujar y opcionalmente hacer vibrar o apisonar el tubo hueco 30 hacia la matriz de suelo 36. Alternativamente, como se muestra en la Figura 33, el tubo hueco 30 puede sujetarse a la placa base 558 y desde la placa base hasta el aparato de desplazamiento 556.

Las Figuras 3, 3A, y 3B ilustran una característica que puede asociarse con la tolva 34 cuando la tolva se encuentra ubicada en la parte superior del tubo hueco 30. Se fijan reguladores de doble aislamiento 46, 48 a los lados superior e inferior de la tolva 34 para reducir la acumulación de vibración de la tolva 34 y por consiguiente proporcionar una instalación de tolva con mayor integridad estructural. Se fija una extensión 42 al tubo hueco 30 para impartir las fuerzas estática y dinámica sobre el tubo 30. La extensión 42 se aísla de la tolva 34 y por tanto puede deslizarse en relación a los reguladores 46, 48.

La tolva 34, que contiene un depósito 43 para materiales de material inerte, cuando se ubica en la parte superior del tubo hueco 30, típicamente se aislará de la extensión 42 mediante los reguladores de aislamiento 46, 48. El dispositivo de vibración o apisonado 37 que se encuentra sujeto a la extensión 42 puede encontrarse soportado por un cable o brazo o grúa de excavación. El peso de la tolva 34,

del dispositivo de vibración o apisonamiento 37 (con un peso adicional opcional) y el tubo hueco 30 pueden ser suficientes, en algunas condiciones de matriz de suelo, para proporcionar un vector de fuerza estática sin requerir el uso de un mecanismo de desplazamiento de fuerza estática separado. El vector de fuerza estática puede aumentarse opcionalmente mediante un mecanismo de fuerza dinámica de vibración y/o apisonado vertical. También, la tolva 34 puede encontrarse separada del tubo hueco 30 y de la extensión 42. Por ejemplo, una tolva separada no instalada sobre la parte superior del tubo hueco 30 (no mostrada) puede suministrar el material inerte u otro material hacia el tubo hueco 30 a lo largo del lado del tubo.

La Figura 3(c) ilustra la manera de incorporar una tolva 34 en combinación con un tubo para suministrar material inerte u otro material hacia un pasaje formado en la matriz de suelo. Específicamente los mecanismos reguladores 46 y 48 se encuentran unidos, respectivamente, a la tolva 34 y al tubo de suministro 42. La unión se lleva a cabo a través de un conector elástico 46 y 48 que regula efectivamente las fuerzas, particularmente las fuerzas de trabajo que pueden impartirse al tubo de suministro 42 vertical.

La Figura 4 ilustra una característica opcional del tubo hueco 30. Puede instalarse un inhibidor, una válvula tipo constrictora, una válvula de retención u otro tipo de

mecanismo de válvula 38 dentro del tubo hueco 30 o en el elemento de cabezal inferior especial o sección de extremo inferior 32 del tubo hueco 30 para cerrar parcialmente o totalmente el pasaje interno del tubo hueco 30 y detener o
5 controlar el flujo o movimiento de los materiales de material inerte 44 y materiales de aditivo opcionales. Esta válvula 48 puede abrirse mecánicamente o hidráulicamente, abrirse o cerrarse parcialmente a fin de controlar el movimiento de los materiales de material inerte 44 a través del tubo hueco 30.
10 Ésta puede también funcionar mediante gravedad de la misma manera que una válvula de retención que se abre cuando se eleva y se cierra cuando desciende sobre el material inerte 44.

La Figura 14 ilustra una construcción del elemento
15 o sección de cabeza inferior bulboso 32. El elemento de cabezal inferior bulboso 32 es cilíndrico, aunque pueden utilizarse otras configuraciones. El diámetro externo del elemento de cabezal inferior especial 32 es mayor que el diámetro externo nominal de la sección superior 33 del tubo
20 hueco 30 y es típicamente de 12 a 18 pulgadas, aunque pueden utilizarse otros diámetros y/o perfiles en sección transversal en la práctica de la invención. Por lo tanto, el elemento de cabezal 32 tendrá dimensiones o áreas en sección transversal más grandes que las del tubo hueco 30
25 inmediatamente adyacente al mismo.

61

Las Figuras 14, 15 y 15A ilustran una modalidad de la invención que tiene un mecanismo de válvula incorporado en el elemento de cabezal inferior bulboso 32. El elemento de cabezal inferior bulboso 32 tiene una sección inferior frustocónica o de otra configuración, la porción inferior 50 con una abertura de descarga 52 de material inerte 44 se abre y se cierra a medida que la placa de válvula 54 expone o cubre la abertura 52. La placa de válvula 54 se encuentra instalada sobre una varilla 56 que se desliza en un cubo 59 que se mantiene en posición mediante puntales radiales 58 unidos a las paredes interiores del pasaje del elemento de cabezal inferior bulboso 32 del tubo hueco 30. La placa 54 se desliza hasta una posición de cerrado cuando el tubo hueco 30 se fuerza hacia abajo hacia la matriz de suelo 36 y se desliza hasta una posición abierta cuando el tubo hueco 30 se eleva, permitiendo así que fluya el material inerte 44. La abertura de la válvula 54 se controla o se limita mediante una varilla 56 que tiene una cabeza 56a que limita el movimiento de deslizamiento de la varilla 56. El tubo hueco 30 puede, por lo tanto, desplazarse a una profundidad deseada 81 (Figura 6) con la abertura 52 cerrada mediante la placa 54. Después, a medida que se eleva el tubo hueco 30 (por ejemplo, la distancia 91 en la Figura 10), la placa 54 se extiende o se mueve hacia abajo debido a la gravedad de tal forma que el material inerte 44 fluirá a través de la

abertura 52 en la cavidad formada debido a la elevación del tubo hueco 30. Posteriormente, el tubo 30 se impacta o se desplaza hacia abajo cerrando la placa de válvula 54 y compactando el material liberado para formar un escalón compactado 72. En la modalidad de las Figuras 14, 15, 15A, la placa de válvula 54 se mueve en respuesta a la gravedad. Sin embargo, la varilla 56 puede alternativamente reemplazarse o asistirse en movimiento mediante un mecanismo de desplazamiento de fluido, mecánico o eléctrico. Alternativamente, como se describe más adelante, la placa 54 puede reemplazarse por una tapa sacrificial 64 o por la placa inferior de un mecanismo de anclaje de elevación o indicador 70 como se describe más adelante. También, la válvula de retención 38 en la Figura 4 puede utilizarse en lugar del mecanismo de válvula representado en las Figuras 14, 15, 15A.

Típicamente, el diámetro interno del tubo hueco 30 y del elemento de cabezal 32 son uniformes o iguales, aunque el diámetro externo del elemento de cabezal inferior bulboso 32 es más grande que el del tubo hueco 30. Alternativamente, cuando se utiliza un mecanismo de válvula 54, el diámetro interno del elemento de cabezal 32 puede ser más grande que el diámetro interno del tubo hueco 30. El elemento de cabezal inferior bulboso 32 puede ser integral con el tubo hueco 30 o formarse por separado y empernarse o soldarse sobre el tubo hueco 30. Típicamente, el diámetro interno del

tubo hueco 30 se encuentra entre 6 a 10 pulgadas y el diámetro externo del elemento de cabezal inferior especial 32 es, aproximadamente, típicamente de 12 a 18 pulgadas. El diámetro de la abertura 53 en la Figura 14 en el extremo inferior máximo o extremo delantero del elemento de cabezal inferior especial 32 puede ser igual o menor que el diámetro interno del elemento de cabezal 32. Por ejemplo, con referencia a la Figura 14, el elemento de cabezal 32 puede tener un diámetro interno de 12 pulgadas y el diámetro de la
5 abertura 53 puede ser de 6 a 10 pulgadas, mientras que en la Figura 16, con la modalidad de tapa sacrificial descrita más adelante, la abertura de descarga del elemento de cabezal 32 tiene el mismo diámetro que el diámetro interno del elemento de cabezal 32 y del tubo hueco 30.
10

15 También, la placa o válvula 52 puede configurarse para facilitar el cierre cuando el tubo hueco 30 se empuja hacia abajo hacia la matriz de suelo 36 o contra el material inerte 44 en la cavidad formada. Por ejemplo, el diámetro del miembro 54 puede exceder el de la abertura 52 como se muestra en la Figura 14, o el borde 55 del miembro de válvula
20 puede ser biselado como se representa en la Figura 15A para embragarse con el borde biselado 59 de la abertura 52. Después cuando se aplica una fuerza estática u otra fuerza hacia abajo al tubo hueco 30, la placa de válvula 54 se
25 mantendrá en una posición cerrada en relación a la abertura

52.

El elemento de cabezal inferior bulboso 32 del tubo hueco 30 típicamente tiene una longitud en el rango de una a tres veces su diámetro o máxima dimensión lateral. El
5 elemento de cabezal inferior bulboso 32 proporciona fuerzas de compactación laterales aumentadas sobre la matriz de suelo 36 a medida que el tubo 36 penetra o se fuerza hacia el suelo y por tanto hace más fácil el subsecuente pasaje de la sección 33 de menor diámetro del tubo hueco 30. Los bordes
10 frustocónicos o inclinados delantero y posterior 50, 63 del elemento de cabezal 32 facilitan el descenso o la penetración de avance y la compactación lateral del suelo 36 debido a su diseño perfilado. La sección o borde posterior inclinado 63 en la Figura 14 facilita la elevación del tubo hueco 30 y el
15 elemento de cabezal 32 y la compactación lateral de la matriz de suelo 36 durante la etapa de elevación del método. Una vez más, la forma o configuración inclinada del elemento de cabezal inferior bulboso 32 permite que esto ocurra. Típicamente los bordes delantero y posterior 50, 63 forman un
20 ángulo de $45^{\circ} \pm 15^{\circ}$ con el eje longitudinal 35 del tubo hueco 30.

La Figura 5 ilustra otra característica del tubo hueco 30. Se proporciona un puerto de entrada 60 y un puerto de salida 62 en la porción inferior de la tolva elevada 34 o
25 del extremo superior del tubo hueco 30 para permitir la

5

adición de agua o de lechada, tal como la lechada de agua-cemento-arena, como un aditivo al material inerte para construcciones de pilar especiales. Un propósito del puerto de salida 62 es mantener el nivel de agua o aditivo en donde
5 sea efectivo para facilitar el flujo del material inerte y también para permitir la recirculación de la lechada desde un depósito de vuelta al depósito para facilitar el mezclado y para mantener la carga hidrostática o la carga de lechada (presión) relativamente constante. El puerto de entrada 60 y
10 puerto de salida 62 pueden conducir directamente hacia la tolva 34 o directamente hacia el tubo hueco 30 (ver Figura 13), o pueden conectarse con canales o conductos separados al elemento de cabezal inferior bulboso 32. Pueden proporcionarse aberturas de descarga de lechada 31 a través
15 del tubo hueco 30 por arriba del elemento de cabezal inferior bulboso 32, como se muestra en la Figura 2, para suplementar la descarga de lechada hacia el espacio anular alrededor del tubo hueco 30 y evitar que la cavidad se llene con tierra de la matriz 36.

20 Las Figuras 8A, 8B, 8C y 16 ilustran otra característica alternativa del elemento de cabezal inferior bulboso 32. Puede utilizarse una tapa sacrificial 64 en lugar de la válvula deslizante inferior o de extremo inferior 54 para proteger el elemento de cabezal inferior bulboso 32
25 del atasco cuando el elemento de cabezal inferior bulboso 32

se empuja hacia abajo a través de la matriz de suelo 36. La tapa 64 puede configurarse en cualquiera de un número de formas. Por ejemplo, puede ser plana, en punta o biselada. Puede ser arqueada. Cuando es biselada, puede formar un
5 ángulo de $45^{\circ} \pm 25^{\circ}$ con respecto al eje horizontal 35. La tapa 64 puede incluir un número de tramos inclinados hacia el exterior 87 colocados para ajustar en la abertura central 89 del elemento de cabezal inferior bulboso 32 y sujetar la tapa 64 en su sitio hasta que el tubo hueco 30 se eleva por
10 primera vez y ocasiona que el material inerte 44 fluya fuera de la abertura 52 hacia una sección de cavidad expuesta.

La Figura 17 ilustra otra característica alternativa del elemento de cabezal inferior 32. La placa deslizable 54 y la varilla 68 para sostener la placa 54,
15 pueden incluir un pasaje o tubo axial 57 que permite la colocación de un elemento o varilla de refuerzo 68 unida a la placa inferior 70. La varilla 68 y la placa 70 se liberarán en la parte inferior de una cavidad formada y se utilizarán para proporcionar un miembro de anclaje de elevación o
20 miembro indicador para medir el movimiento de la parte inferior de un pilar durante una prueba de carga. La varilla de deslizamiento 68 unida a la placa inferior 70 puede sustituirse por la tapa sacrificial 64 que cierra la abertura del elemento de cabezal inferior bulboso 32 durante el empuje
25 hacia la matriz de suelo 36, y que actúa como una plataforma

para el miembro de anclaje de elevación o miembro de
indicador que se instala. La placa de válvula inferior 54
puede por tanto omitirse o puede mantenerse en su sitio
mientras se utilicen los elementos de anclaje de elevación o
5 de indicador. La Figura 20 ilustra el anclaje de elevación
68, 70 o indicador en su sitio durante la formación del pilar
mediante la invención, en donde la placa o válvula 54 se
omite.

Método de Operación

10 La Figura 1 ilustra la típica primera etapa de la
operación del dispositivo o aparato descrito. El tubo hueco
30 con el elemento de cabezal inferior bulboso 32 y la
extensión superior unida 42 y la instalación de tolva
conectada 34, se empujan con una fuerza vectorial estática
15 vertical o axial, típicamente aumentada mediante fuerzas
vectoriales dinámicas, hacia la matriz de suelo 36 mediante
el aparato de desplazamiento 37 o mediante el peso de las
partes componentes. En la práctica, utilizando un tubo 30
con el elemento de cabezal inferior especial 32 que tiene las
20 dimensiones y la configuración descritas, es típico en
general aplicar una fuerza vectorial de 5 a 20 toneladas al
mismo. La Figura 2 ilustra la colocación del material inerte
44 dentro de la tolva 34 cuando el tubo hueco 30 y las
uniones alcanzan la profundidad de pilar planeada 81 hacia la
25 matriz de suelo 36. La Figura 6 ilustra el subsecuente

movimiento hacia la parte superior o de elevación del tubo hueco 30 por una distancia de elevación predeterminada 91, típicamente de 24 a 48 pulgadas para revelar una porción de la cavidad no protegida 102 por debajo de la sección más baja del elemento de cabezal 32 en la matriz de suelo 36.

La Figura 7 ilustra la apertura de la válvula inferior 54 para permitir que el material inerte 44 y los aditivos opcionales rellenen el espacio o porción 85 de la cavidad 102 por debajo del elemento de cabezal inferior bulboso 32 mientras que el tubo hueco 30 y las uniones se elevan. La válvula 54 puede abrirse a medida que se eleva el tubo hueco 30 debido al peso del material inerte 44 sobre el lado superior de la válvula 54. Alternativamente, la válvula 54 puede accionarse mediante un mecanismo hidráulico por ejemplo, o el tubo hueco 30 puede elevarse y después agregar el material inerte para que fluya a través de la abertura de válvula 53 mediante el funcionamiento de la válvula 54. Alternativamente, la válvula interna 38 puede abrirse durante la elevación o después de la elevación. Alternativamente, si no existe ninguna válvula 54, la tapa sacrificial 64 se liberará del extremo del elemento de cabezal 32, generalmente mediante la fuerza ejercida por el peso del material inerte 44 dirigido a través del tubo hueco 30 cuando el elemento de cabezal inferior bulboso 32 se eleva una distancia predeterminada desde la parte inferior 81 de la cavidad de

pilar formado 102.

La Figura 9 ilustra el subsecuente empuje hacia abajo del tubo hueco 30 y las uniones y el cierre de la válvula inferior 54 para compactar el material inerte 44 en la porción de cavidad 85 al forzar de este modo el material inerte 44 y los aditivos opcionales lateralmente hacia la matriz de suelo 36 así como verticalmente hacia abajo. La distancia de movimiento predeterminada para empujar hacia abajo es típicamente igual a la distancia de elevación 91 menos un pie, a fin de producir un grosor de escalón completado 72 de un pie siguiendo la distancia de elevación predeterminada 91 del tubo hueco 30. El grosor designado del escalón 72 puede ser diferente a un pie dependiendo de los requerimientos específicos del pilar de material inerte formado y de las características de ingeniería de la matriz de suelo 36 y el material inerte 44. La compactación del material inerte 44 liberado en la porción de cavidad vacía, no protegida 85 en la Figura 7, para efectuar el movimiento lateral del material inerte 44 horizontalmente así como la compactación del material inerte verticalmente, es importante en la práctica de la invención.

La Figura 10 ilustra la siguiente o segunda formación de escalón efectuada mediante la elevación del tubo hueco 30 y las uniones a otra distancia predeterminada 91A, típicamente de 24 a 48 pulgadas para permitir la apertura de

la válvula inferior 54 (en el caso de que se utilice la modalidad que utiliza la válvula 54) y el paso o movimiento del material inerte 44 y los aditivos opcionales hacia la porción de la cavidad 85A que se ha abierto o expuesto
5 mediante la elevación del tubo 30.

La elevación del tubo hueco en el rango de dos (2) a cuatro (4) pies es típica, seguida por el descenso (como se describe más adelante), para formar un escalón de pilar de material inerte 72, que tiene una dimensión vertical de un
10 (1) pie que es típica para materiales de formación de pilares como se describe en la presente. La dimensión axial del escalón 72 puede por tanto encontrarse en el rango de $\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{5}$ de la distancia 91 a la que se eleva el tubo hueco 30. Sin embargo, la modalidad representada en las Figuras 23-26
15 constituye un protocolo de compactación alternativo.

La Figura 11 ilustra el empuje descendente del tubo hueco 30 y las uniones, y el cierre de la válvula inferior 54 para compactar el material inerte 44 en la porción de cavidad no protegida recién expuesta 85A de la Figura 10 y el forzado
20 del material inerte 44 y los aditivos opcionales lateralmente hacia la matriz de suelo 36. La distancia del empuje será igual a la distancia de la elevación menos el grosor del escalón designado. Cuando se utiliza el método de tapa sacrificial 64, la abertura inferior 50 puede permanecer
25 abierta mientras se compacta el material inerte 44.

21

La Figura 18 ilustra un pilar de material inerte parcialmente formado mediante el proceso descrito, en donde se han formado múltiples escalones 72 secuencialmente mediante la compactación, y el tubo hueco 30 se eleva a medida que el material inerte 44 rellena la porción de cavidad 85X. La Figura 19 ilustra un pilar de material inerte 76 completamente formado mediante el proceso descrito. La Figura 20 ilustra un pilar formado 76 con el miembro de anclaje de elevación 68, 70 o miembro indicador instalado. La Figura 21 ilustra una etapa opcional de precarga sobre un pilar de material inerte formado 76 mediante la colocación de un peso 75, por ejemplo, sobre el pilar formado y llevándose a cabo una prueba de indicador de coeficiente opcional sobre el pilar de material inerte formado 76 que comprende múltiples escalones compactados 78.

Las Figuras 23 a 26 ilustran un protocolo alternativo para la formación de un pilar utilizando el aparato descrito. El tubo hueco 30 se fuerza inicialmente o se desplaza hacia la matriz de suelo 36 a una profundidad deseada 100. El extremo inferior máximo del elemento de cabezal 32 incluye un mecanismo de válvula 54, una tapa sacrificial 64 o lo similar. Al forzar el tubo hueco 30 verticalmente hacia abajo en el suelo, se forma una cavidad 102 (Figura 23). Asumiendo que el elemento de cabezal inferior especial 32 es generalmente cilíndrico, la cavidad

102 es generalmente cilíndrica, y puede o no mantener la configuración del diámetro total asociada con la forma y diámetro del elemento de cabezal inferior especial 32.

Al alcanzar la penetración deseada hacia la matriz
5 de suelo 36 (Figura 23) y habiendo desplazado y densificado los suelos de matriz que anteriormente existían dentro de la cavidad formada, el tubo hueco 30 se eleva hacia la parte superior de la cavidad formada o hacia la parte superior del pilar de material inerte planeado (Figura 24) en un escalón
10 único. A medida que éste se eleva, el material inerte 44 y los materiales aditivos opcionales se descargan por debajo del extremo inferior del elemento de cabezal inferior especial 32.

Opcionalmente, se descargan materiales aditivos
15 hacia el espacio anular 104 definido entre la sección superior 33 del tubo hueco 30 y las paredes interiores de la cavidad formada 102. Los materiales aditivos pueden fluir a través de pasajes laterales auxiliares 108 o conductos suplementarios 110 en el tubo hueco 30. A medida que se
20 eleva el tubo 30, la cavidad 102 se rellena con el material inerte y, opcionalmente, con los materiales aditivos. También, los materiales aditivos en el espacio anular 104 pueden forzarse hacia el exterior hacia la matriz de suelo 36 mediante y debido a la configuración del elemento de cabezal
25 inferior bulboso 32 a medida que se eleva.

Típicamente, el tubo hueco 30 se eleva, por lo tanto, sustancialmente a la longitud total de la cavidad formada inicialmente 102 y después, como se representa en la Figura 25, una vez más puede forzarse hacia abajo ocasionando
5 que el material inerte 44 en la cavidad 102 se compacte y que una porción de los materiales de material inerte se fuercen lateralmente hacia la matriz de suelo 36 (Figura 25). El grado de movimiento descendente del tubo hueco 30 depende de varios factores que incluyen el tamaño y la forma de la
10 cavidad 102, la composición y mezcla de los materiales de material inerte y aditivos, las fuerzas impartidas sobre el tubo hueco 30, y las características de la matriz de suelo 36. Típicamente, el movimiento descendente continúa hasta que el extremo inferior o parte inferior del elemento de
15 cabezal inferior especial 32 se encuentra en o cerca de la parte inferior 81 de la cavidad previamente formada 102 o hasta que ocurra un rechazo esencial del movimiento descendente.

Después de completar el segundo movimiento
20 descendente, el tubo hueco 30 se eleva típicamente a la totalidad de la longitud de la cavidad 102, una vez más descargando el material inerte y, opcionalmente, los materiales aditivos durante la elevación, y una vez más rellenando, la cavidad recién creada 102A (Figura 26). El
25 ciclo de descenso total y elevación total se completa al

menos dos veces y opcionalmente tres o más veces, para forzar más material inerte 44 y, opcionalmente, materiales aditivos, lateralmente hacia la matriz de suelo 36. Además, el ciclo puede ajustarse en varios patrones tales como la elevación y el descenso total seguidos por la elevación total y el descenso parcial, o la elevación parcial y el descenso total, y combinaciones de los mismos. Alternativamente, después de uno o más ciclos completos de elevación del tubo hueco 30 con descarga de material inerte y, opcionalmente, materiales aditivos, la operación subsecuente puede ser igual o similar a una secuencia típica de formación de pilar de material inerte, como se describió anteriormente, en donde cada escalón se forma mediante la elevación y el descenso a una distancia predeterminada.

Alternativamente, después de completar un único escalón, el pilar de material inerte resultante, con o sin materiales aditivos opcionales, pueden eliminarse las etapas adicionales de reintroducción del tubo hueco 30 y el elemento de cabezal inferior bulboso 32 dentro del pilar de material inerte de escalón único formado. En otras palabras, el aparato puede utilizarse para formar un único pilar alargado dentro de la matriz de suelo que se extiende a la longitud vertical de la penetración del suelo. El pilar de material inerte de escalón único con matriz de suelo adyacente densificada puede ser efectivo sin endurecimiento o rigidez

adicional. Una situación en la que un pilar de material inerte de escalón único será típicamente efectivo es en la licuefacción mitigada durante eventos sísmicos cuando los suelos de matriz pueden licuarse.

5 Consideraciones del Sumario

Puede utilizarse agua o lechada u otro líquido para facilitar el flujo y el suministro del material inerte 44 a través del tubo hueco 30. El agua puede alimentarse directamente hacia el tubo hueco 30 o a través de la tolva 10 34. Ésta puede encontrarse bajo presión o puede proporcionarse un cabezal utilizando la tolva 34 como un depósito. El agua, lechada u otro líquido permite por tanto el flujo eficiente del material inerte, particularmente en el tubo hueco 30 de pequeño diámetro, i.e., un tubo 30 de 5 a 10 15 pulgadas de diámetro. Típicamente, el tamaño del pasaje interno y/o de la abertura de descarga del tubo 30 es al menos 4.0 veces el tamaño máximo del material inerte para todas las modalidades descritas. Siendo cada escalón 72 de aproximadamente 12 pulgadas de altura y siendo el diámetro 20 interno del tubo 30 de aproximadamente 6 a 10 pulgadas, el uso de agua como lubricante es especialmente deseable.

Se hace notar que el diámetro de la cavidad 102 formada en el suelo matriz 36 es relativamente menor que en muchas técnicas alternativas de formación de pilares. El 25 método de utilizar una cavidad 102 de diámetro relativamente

pequeño o una abertura de pequeña dimensión hacia la matriz de suelo 36, permite forzar o impulsar el tubo 30 hacia una profundidad significativa y a la subsecuente formación de un pilar que tiene dimensiones horizontales considerablemente
5 mayores que las dimensiones externas del tubo 30. La utilización del material inerte 44 con o sin aditivos incluyendo materiales líquidos para formar uno o más escalones mediante compactación y desplazamiento horizontal, se habilita por tanto mediante el tubo hueco 30 y el elemento
10 especial de cabezal inferior 32, como se describe. Los escalones 72 se compactan verticalmente y el material inerte 44 se fuerza transaxialmente con el resultado de una construcción de pilar altamente coherente y la producción de un pilar de material inerte más rígido y más fuerte con un
15 diámetro más grande que el diámetro de su cavidad original.

Resultados de la Prueba

La Figura 22 ilustra los resultados de la prueba de los pilares de la presente invención en contraste con un pilar de concreto perforado. La gráfica ilustra los
20 movimientos de tres pilares de material inerte contruidos de acuerdo con la invención (curvas A, B, C) con un pilar de concreto perforado de la técnica anterior (curva D), a medida que los pilares se cargan con cargas incrementadas a cargas máximas y después con cargas decrecientes a carga cero. Las
25 pruebas se condujeron utilizando las siguientes condiciones

de prueba y utilizando un pilar de concreto perforado reforzado con acero como el pilar de prueba de control.

Un orificio o cavidad de aproximadamente 8 pulgadas se perforó a una profundidad de 20 pies y se relleno con
5 concreto para formar un pilar de concreto perforado (prueba D). Se colocó una varilla de refuerzo de acero en el centro del pilar de concreto perforado para proporcionar integridad estructural. Una forma cilíndrica de cartón de 12 pulgadas de diámetro se colocó en la porción superior del pilar para
10 facilitar la prueba subsecuente de carga compresiva. El suelo matriz para todas las cuatro pruebas fue una arena de fina a media de densidad media con conteos de soplado por penetración (SPTs) estándar variando de 3 a 17 soplados por pie. El agua freática se encontraba localizada a una
15 profundidad de aproximadamente 10 pies bajo la superficie terrestre.

Los pilares de material inerte de la invención, reportados como en las pruebas A, B y C, se produjeron con un tubo hueco 30, de seis (6) pulgadas de diámetro externo y con
20 un elemento especial de cabezal inferior 32 con un diámetro externo de 10 pulgadas. Las pruebas A y B utilizaron solamente el material inerte. La prueba C se utilizó en material inerte y lechada de cemento. La prueba A utilizó movimientos de elevación predeterminados de dos pies y
25 movimientos de empuje descendente predeterminados de un pie,

dando como resultado una pluralidad de escalones de un pie. La prueba B utilizó movimientos ascendentes predeterminados de tres pies y movimientos de empuje descendente predeterminados de dos pies, de nuevo dando como resultado
5 escalones de un pie. La prueba C utilizó movimientos ascendentes predeterminados de dos pies y movimientos de empuje descendente predeterminados de un pie, e incluyó la adición de lechada de cemento.

Los análisis de los datos pueden estar relacionados
10 con la rigidez o coeficiente de los pilares construidos. A una deflexión de 0.5 pulgadas, la prueba A correspondió a una carga de 27 toneladas, la prueba B correspondió a una carga de 35 toneladas, la prueba C correspondió a una carga de 47 toneladas y la prueba D correspondió a una carga de 16
15 toneladas. Por lo tanto, a este grado de deflexión (0.5 pulgadas) y utilizando la prueba B como la prueba estándar y la base para comparación, las relaciones de rigidez relativa son, para la prueba B 1.0, prueba A 0.77, prueba C 1.34, y prueba D 0.46. El estándar, prueba B, es 2.19 más rígido que
20 el pilar de prueba de control, prueba D. El estándar, prueba B, es 1.30 veces más rígido que la prueba A, mientras que la prueba C con aditivo de lechada es 2.94 veces más rígido que el pilar de concreto de la técnica anterior (prueba D). Esto ilustra que el coeficiente de los pilares formados por la
25 invención es sustancialmente superior al coeficiente del

pilar de concreto perforado reforzado con acero (prueba D). Estas pruebas ilustran también que el proceso de movimiento de elevación de tres pies con movimiento de empuje descendente de dos pies fue superior al proceso de movimiento de elevación de dos pies y movimiento de empuje descendente de un pie. Las pruebas también ilustran que el uso de un aditivo de lechada de cemento mejoró sustancialmente la rigidez del pilar formado para deflexiones menores que aproximadamente 0.75 pulgadas, pero no mejoró sustancialmente la rigidez del pilar formado en comparación con la prueba B para deflexiones mayores que aproximadamente 0.9 pulgadas.

En la modalidad descrita, debido a que el elemento de cabezal inferior bulboso 32 del tubo hueco o eje hueco 30 tiene un área más grande en sección transversal, resultan diversas ventajas. Primero, la configuración del aparato, cuando se utiliza un mecanismo de válvula inferior 54, reduce la posibilidad de que el material inerte se atasque en el aparato durante la formación de la cavidad 102 en la matriz de suelo 36, así como cuando el tubo hueco 30 se retira parcialmente de la matriz de suelo 36 para exponer o formar una cavidad 85 hacia la matriz de suelo 36. Además, la configuración permite impartir energía adicional vectorial de fuerza estática y vectores de fuerza dinámica a través del elemento de cabezal inferior 32 del aparato y afecta el material inerte 44 en la cavidad 70. Otra ventaja es que la

fricción del tubo hueco 30 sobre el lado de la cavidad 102 formada en la tierra, se reduce debido al diámetro efectivo del tubo hueco 30 que es menor que el diámetro efectivo del elemento de cabezal inferior 32 y, en consecuencia, es menor
5 que el diámetro inicial de la cavidad formada. Esto permite un empuje más rápido hacia el suelo y permite el empuje a través de formaciones que pueden considerarse más firmes o rígidas. El área en sección transversal más grande del elemento de cabezal 32 también mejora la capacidad para
10 proporcionar una sección de cavidad 102 dimensionada para recibir el material inerte 44 que tiene un volumen más grande que el que se asociaría con el resto del eje hueco 30, proporcionando así material adicional para recibir las fuerzas tanto longitudinales (o axiales) como transversales
15 (o transaxiales) cuando se forma el escalón 72. La fricción reducida del tubo hueco 30 sobre el lado de la cavidad formada 102 en el suelo 36 también proporciona la ventaja de elevar más fácilmente el tubo hueco 30 durante la formación del pilar y evita que el tubo hueco 30 se hunda hacia la
20 matriz de suelo.

En el proceso de la invención, el escalón más inferior 72 puede formarse con un diámetro efectivo más grande y tener provista una cantidad diferente del material inerte en el mismo. Por lo tanto, el escalón inferior 72 o
25 escalón más inferior en el pilar 76 puede configurarse para

tener una sección transversal más grande así como una profundidad más grande cuando forma la base para el pilar 76. A modo de ejemplo, la porción más inferior o escalón más inferior 72 puede crearse elevando el eje hueco 30 cuatro
5 pies y después haciendo descender el tubo hueco 30 tres pies, reduciendo así la altura del escalón 72 a un pie, mientras que pueden crearse los escalones subsecuentes 72 elevando el eje hueco 30 tres pies y después haciendo descender el tubo hueco 30 dos pies, reduciendo así el grosor del escalón 72 a
10 un pie.

El pilar de material inerte 76 completado, como se mencionó anteriormente, puede precargarse después de haberse formado aplicando una carga estática o una carga dinámica 75 en la parte superior del pilar 76 durante un período de
15 tiempo establecido (ver Figura 21). Por lo tanto, puede aplicarse una carga 75 a la parte superior del pilar de material inerte 76 durante un período de tiempo de 15 segundos a 15 minutos o más largo. Esta aplicación de fuerza también puede proporcionar una "prueba de indicador de
20 coeficiente" considerando que la carga estática 75 aplicada a la parte superior del pilar 76 puede acompañarse por la medición de la deflexión acumulada bajo la carga estática 75. La prueba de indicador de coeficiente puede incorporarse en la precarga de cada pilar para lograr dos propósitos con una
25 actividad; a saber, (1) aplicar una precarga; y (2) preformar

una prueba de indicador de coeficiente.

El material inerte 44 que se utiliza en la producción del pilar 76, puede variar. Es decir, puede colocarse piedra de material inerte limpia en una cavidad 85.

5 Tal piedra puede tener un tamaño nominal de 40 mm de diámetro teniendo menos del 5% u diámetro nominal menor que 2 mm. Subsecuentemente, puede introducirse una lechada en el material formado como se describió anteriormente. La lechada puede introducirse simultánea con la introducción del

10 material inerte 44 o previo o subsecuente a la misma.

Cuando se utiliza una frecuencia de vibración para impartir una fuerza dinámica, la frecuencia de vibración de la fuerza impartida sobre el eje hueco o tubo hueco 30 se encuentra preferentemente en un rango de entre 300 y 3000

15 ciclos por minuto. La relación de los diversos diámetros del tubo o eje hueco 30 al elemento de cabezal inferior bulboso 32, se encuentra típicamente en el rango de 0.92 a 0.50. Como se mencionó previamente, el ángulo del bisel inferior puede encontrarse típicamente entre 30° y 60° en relación a

20 un eje longitudinal 35.

Como una característica adicional de la invención, el método para formar un pilar puede llevarse a cabo insertando el tubo hueco 30 con el elemento de cabezal inferior bulboso 32 a la profundidad total 81 del pilar

25 pretendido. Subsecuentemente, el tubo hueco 30 y el elemento

de cabezal inferior bulboso 32 se elevarán a la longitud total del pilar pretendido en un movimiento continuo a medida que el material inerte y/o lechada u otro líquido, se libera o se inyecta en la cavidad mientras se eleva el tubo hueco 30 y el elemento especial de cabezal inferior 32. Subsecuentemente, al alcanzar la parte superior del pilar pretendido, el tubo hueco 30 y el elemento especial de cabezal inferior 32 pueden empujarse de nuevo estáticamente y aumentarse opcionalmente haciendo vibrar verticalmente y/o compactando un mecanismo de fuerza dinámica de manera descendente hacia o a la parte inferior del pilar en formación. El material inerte 44 y/o lechada u otro material que rellena la cavidad previamente descargado, se moverán transaxialmente hacia la matriz de suelo a medida que se desplaza por medio del tubo hueco 30 y el elemento especial de cabezal inferior 32 que se mueven de manera descendente. El proceso puede repetirse entonces con el tubo hueco 30 y el elemento especial de cabezal inferior 32 elevados ya sea a la longitud o profundidad restante del pilar pretendido o a una longitud menor en cada instancia con el material inerte y/o el material líquido relleno la cavidad recién creada a medida que se eleva el tubo hueco 30. De esta manera, el material que forma el pilar puede comprender un escalón o una serie de escalones con el material inerte extra y lechada y/u otros aditivos opcionales transferido lateralmente hacia los

84

lados de la cavidad hueca en la matriz de suelo. Alternativamente, la última secuencia puede ser la misma o similar al método de formación "típico" de pilar de material inerte de esta invención, considerando que se forman
5 escalones delgados elevando y haciendo descender el tubo hueco 30.

Se hace notar que el mecanismo para implementar los procedimientos y métodos antes mencionados puede operar de manera acelerada. Impulsar el tubo hueco 30 y el elemento de
10 cabezal inferior bulboso 32 hacia abajo, puede efectuarse de preferencia rápidamente, por ejemplo, en cuestión de dos minutos o menos. La elevación del tubo hueco 30 y el elemento de cabezal inferior bulboso 32 en incremento a una distancia parcial o total dentro de la cavidad formada, puede
15 tomar incluso menos tiempo, dependiendo de la distancia del movimiento de elevación y de la tasa de elevación. Por lo tanto, el pilar de material inerte se forma a partir de la matriz de suelo 36 dentro de pocos minutos. La tasa de producción asociada con la metodología y el aparato de la
20 invención, es, en consecuencia, significativamente más rápida.

Características Adicionales

Las Figuras 27 a 36 ilustran características y modalidades adicionales de la invención. Con referencia a
25 las Figuras 27, 27A y 27B, se ilustra a manera de diagrama,

85

un aparato que incluye un tubo hueco 500 acoplado a un elemento de cabezal inferior bulboso 502. El elemento de cabezal inferior bulboso 502 incluye un cuerpo central 501 que es generalmente cilíndrico, con una sección o superficie 504 de configuración frustocónica o cónica, inclinada hacia abajo y hacia adentro, unida en su superficie a una sección o superficie 505 generalmente horizontal con una abertura 506 a través de la misma para el paso de materiales tales como material inerte, material de cemento, lechada o combinaciones de los mismos. Una placa horizontal separada 508, con varillas 510 y 512 que se extienden generalmente de manera vertical, se encuentra colocada contra una tapa de cierre 508a ajustada contra la superficie 508. Las varillas 510 y 512 se ajustan a lo largo de la pare exterior de la combinación de tubo hueco 500 y elemento de cabezal inferior 502. La placa 508 puede encontrarse en forma de una varilla reforzada por placas anguladas 508B y 508C. La placa 508 se embraga a una tapa o placa circular 503 que incluye chavetas verticales 511 que alinean la placa 508 con la abertura 506 cubriendo la abertura 506 o en forma de una rejilla u otro elemento generalmente horizontal que se transporta durante la colocación del tubo hueco 500 y el elemento de cabezal inferior bulboso 502 hacia abajo en el suelo durante la penetración inicial de la matriz de suelo. Después al retirar el tubo hueco 500 y el elemento de cabezal 502, la

placa 508 y las varillas 510 y 512, así como la tapa 503, permanecerán en su sitio en el extremo inferior del pilar en formación. Las varillas, tales como las varillas 510 y 512, como se muestra en la Figura 29, pueden servir como un
5 anclaje de elevación o, como se representan en la Figura 30, pueden servir como varillas indicadoras para la prueba de carga. Por lo tanto, como se representa en las Figuras 29 y 30, las varillas indicadoras 510 y 512 en combinación con el miembro de placa de conexión inferior 508, contemplan la
10 colocación de la instalación descrita sobre la parte exterior del tubo hueco 500 y el elemento de cabezal inferior bulboso 502, y aún se habilitan para colocarse bajo el extremo inferior de un pilar de material inerte formado tal como el pilar 520 en la Figura 29 o el pilar 522 en la Figura 30.

15 La Figura 28 representa una variación del aparato que puede utilizarse para la práctica de la invención. En este aparato alternativo, el tubo hueco 526 se encuentra comprendido de una serie de secciones de tubo 528, 530 y 532 conectadas o empernadas que se extienden longitudinalmente
20 desde una tolva elevada 534 o pueden extenderse longitudinalmente directamente desde el tubo hueco. La porción más pequeña en sección transversal del tubo hueco 526 se encuentra conectada al elemento de cabezal inferior bulboso 536. De esta manera, el peso total de la sección de
25 tubo hueco puede reducirse, y aún el elemento de cabezal

inferior bulboso 536 proporcionará un medio adecuado y un diámetro adecuado para su penetración en una matriz de suelo. El tubo hueco 526 también proporcionará un canal adecuado para el paso del material inerte, piedra triturada, piedra redondeada, concreto triturado, lechada, material de cemento, u otros materiales para formación de pilares, o combinaciones de los mismos.

Pueden practicarse numerosas variaciones del tubo hueco de secciones múltiples, aunque la secuencia típica es para disminuir las secciones en el área en sección transversal de arriba a abajo. Las variaciones ejemplares incluyen secciones que se incrementan en el área transversal en sección transversal hacia el extremo superior del tubo hueco. Las secciones pueden incrementarse en el área transversal en sección transversal y después disminuir. Éstas pueden tener la misma área transversal en sección transversal, pero distintas configuraciones en sección transversal. Éstas pueden ser secciones integralmente conectadas o desmontables.

Pueden utilizarse combinaciones de estas características descritas. Las secciones separadas pueden pre-ensamblarse o pueden ensamblarse punto por punto en un sitio de trabajo a medida que ocurre la penetración en el suelo. Típicamente, se encuentran pre-ensambladas.

La Figura 31 ilustra una combinación de

características para su uso con un tubo hueco 540 y un elemento de cabezal inferior bulboso 542 que facilita el alineamiento del tubo hueco 540 para la penetración al suelo. Así, se ajusta un dispositivo especial de guía de
5 alineamiento 544 en forma de un anillo de soporte anular alrededor del tubo hueco 540 y se asegura al mecanismo de desplazamiento. El dispositivo de guía de alineamiento 544 sirve para guiar la combinación de tubo hueco 540 y elemento de cabezal inferior 542 en la dirección y ubicación deseadas
10 en una matriz de suelo. La guía o elemento de alineamiento 544 evita también el "desenganche" del tubo hueco 540, especialmente cuando el suelo matriz es duro o denso. Puede utilizarse uno o más de tales dispositivos guía de alineamiento 544. El tubo hueco 540 generalmente se
15 encuentra instalado de manera deslizable o movable dentro de la guía 544.

La Figura 32 ilustra una característica que puede incorporarse en el elemento de cabezal inferior bulboso 542, es decir, la colocación de un dispositivo detector 546 dentro
20 del elemento de cabezal inferior bulboso 542, para detectar las fuerzas impartidas por el elemento de cabezal inferior 542 sobre el material que se descarga del mismo, así como sobre la matriz de suelo. La fuerza aplicada puede establecerse en un gráfico al paso del tiempo para
25 proporcionar un patrón del efecto del elemento de cabezal

inferior 542 al compactarse el material inerte y al penetrar la matriz de suelo.

La Figura 33 ilustra un mecanismo utilizado para forzar el tubo hueco 550 y el elemento de cabezal unido (no
5 mostrado en la Figura 33) hacia abajo hacia una matriz de suelo (no mostrada en la Figura 33). Más específicamente, el extremo superior 554 del tubo hueco 550 se encuentra ajustado en una sección cilíndrica corta 553 de un tubo guía 555 soldado a un tubo de conexión 557 a su vez soldado a una
10 pieza de metal sólida 559 con una placa 552. La placa 552 es una placa horizontal y, en consecuencia, las fuerzas dirigidas axialmente contra la placa 252 chocarán con la placa 552 contra el extremo superior 554 del tubo hueco 550. Un martillo vibrador 556 incluye una placa de acoplamiento
15 558 que puede ajustarse contra la placa 552 y que se encuentra acoplada a la misma por medio de varillas o sujetadores 561 que se proyectan a través de aberturas, tales como la abertura 560, y enganches 562 para retener las placas 552 y 558 unidas entre sí. El martillo vibrador 556 puede
20 entonces operarse para vibrar y guiar el tubo hueco 550 y el elemento de cabezal (no mostrado) hacia abajo hacia la matriz de suelo sobre el material inerte compacto descargado, etc.

La Figura 34 ilustra una forma o configuración de un dispositivo de pre-penetración que puede utilizarse en
25 combinación con un aparato de tubo hueco y elemento de

cabezal, como se describió previamente. Más particularmente, puede utilizarse un dispositivo de pre-penetración para formar una abertura o pasaje preliminar dentro de una matriz de suelo, en particular un suelo duro o de densidad media.

5 El dispositivo puede comprender una varilla vertical 570 con un extremo delantero 572 que se forma o configura para facilitar la penetración al suelo, tal como, por ejemplo, teniendo la forma de un cono. Generalmente, el diámetro grande del extremo del cono 572 es menor que la dimensión

10 transversal máxima de un elemento de cabezal inferior bulboso asociado con una etapa subsecuente en el proceso, es decir, la etapa de utilizar un elemento de cabezal inferior bulboso y un tubo hueco para penetrar en la matriz de suelo. Sin embargo, la forma y configuración del extremo de penetración

15 572 puede variar para lograr la meta de proporcionar un medio para facilitar la creación de un pasaje inicial en la matriz de suelo dentro de la cual se dirigirá o se insertará un tubo hueco y un elemento de cabezal inferior bulboso asociado.

La Figura 35 ilustra otro aspecto del método de la

20 invención. Es decir, el método comprende generalmente el uso de un elemento de cabezal inferior bulboso, como se describe, y un tubo hueco asociado con el mismo, para construir una sección o porción de un pilar de material inerte tal como una sección inferior 584, dentro de una matriz de suelo 586. La

25 región sobre la sección inferior 584 puede estar comprendida

91

subsecuentemente de una construcción de pilar, es decir, una construcción de pilar 588 construida de acuerdo con alguna otra enseñanza, por ejemplo, la enseñanza establecida en la Patente de E.U. No. 5,249,892. La combinación de secciones
5 de pilar del tipo asociado con el método de la presente invención, en combinación con otros métodos de formación de pilares, es especialmente deseable o útil, considerando que las tecnologías son compatibles y permitirán la construcción de pilares más profundos de una manera altamente eficiente y
10 extremadamente rápida considerando que las características asociadas con las secciones respectivas se complementan entre sí. Por ejemplo, la porción superior del pilar formada mediante una enseñanza o método y aparato, puede ser de mayor capacidad que la porción inferior del pilar asociada con el
15 método de la presente invención. Las tensiones de las cargas son mayores en la porción superior de un sistema de pilar combinado. Se consideran dentro del alcance de la invención dos o más de dos tipos de construcciones de pilar en alineamiento vertical.

20 La Figura 36 es una vista en diagrama que ilustra una típica vista en planta inferior de un elemento de cabezal inferior bulboso producido de acuerdo con la invención. Como se describió previamente, el elemento de cabezal inferior bulboso 600 es un elemento bulboso y tiene una dimensión en
25 sección transversal más grande que la del elemento de tubo

huevo 602 unido adyacente al mismo. El extremo distal 590 del elemento de cabezal inferior bulboso incluye típicamente una abertura 592 a través de la cual un material, tal como un material inerte o piedra triturada, piedra blanda, concreto 5 triturado, lechada, materiales de cemento o lo similar, fluirá durante la práctica del método. La abertura inferior 592 típicamente, como se representa en varias figuras, es de una dimensión menor que la superficie horizontal 590 en el extremo distal 590 del elemento de cabezal inferior bulboso 10 600. Por consiguiente, la abertura 592 es típicamente menor que la mitad del área de superficie del área transversal en sección transversal del elemento de cabezal inferior 600. La superficie 590 con la abertura 592, se conecta con una superficie configurada 594 que, generalmente, es una forma 15 cónica. Sin embargo, como se describió previamente, pueden utilizarse otras configuraciones para proporcionar una transición desde la superficie exterior 596 del elemento de cabezal bulboso 600 hasta la superficie inferior de extremo 590 del elemento de cabezal inferior bulboso 600. Además, la 20 abertura 592, como se describió previamente, se encuentra cubierta inicialmente por una placa o tapa sacrificial o una cubierta cerrable, por ejemplo, durante la penetración inicial de la matriz de suelo.

Las Figuras 37 y 38 ilustran una modalidad 25 adicional de la invención. Primero, con referencia a la

Figura 37, se describe un elemento de cabezal bulboso 600 que se encuentra unido a una tubería o mandril hueco 602. La tubería o mandril hueco 602 incluye un segundo mandril de igual longitud o una tubería hueca de menor diámetro; a
5 saber, una tubería 604 colocada de manera deslizable en el mismo. Los tubos o tuberías huecos 602 y 604 se encuentran unidos entre sí mediante pernos o espigas 606 y 608 ajustados a través del extremo superior del tubo hueco exterior 602 y del extremo superior del tubo hueco interior 604. El tubo
10 hueco interior 604 incluye además, en el extremo inferior del mismo, pasajes o aberturas 610 y 612 tratadas con respecto a la Figura 38.

Con referencia a la Figura 38, el mandril o tubo inferior 604 puede extenderse longitudinalmente en la
15 dirección del eje longitudinal 616 hacia arriba en relación al mandril o tubo hueco inferior 602 que se encuentra unido al elemento de cabezal bulboso 600. Los pernos o espigas 606 y 608 se retiran de la conexión del tubo exterior 602 al tubo interior 604, como se representa en la Figura 37, y después
20 se reinsertan a través de las aberturas y, en particular, de las aberturas 610 y 612, para alargar así el límite o longitud de operación efectivo del elemento de tubo hueco que se encuentra comprendido de la combinación de las longitudes del diámetro más inferior y más grande del tubo hueco 602 y
25 del diámetro más superior o menor del tubo hueco 604. Puede

94

proporcionarse una tolva u otro mecanismo para dirigir el material inerte hacia el interior de los tubos huecos 602 y 604.

La modalidad de las Figuras 37 y 38 es especialmente útil en que permite la práctica de la metodología asociada con la invención a profundidades mayores dentro de una matriz de suelo. Es decir, el nivel de la matriz de suelo se representa por el nivel de superficie 622 en la Figura 37. La combinación del elemento de cabezal bulboso 600 y los tubos huecos 602 y 604, puede colocarse en la matriz de suelo a la profundidad ilustrada en la Figura 37. Después, con referencia a la Figura 38, los tubos 602 y 604 pueden extenderse y dirigirse a una profundidad mayor. Es decir, el tubo hueco interior 604 puede extenderse como se muestra en la Figura 38 y después empujarse hacia abajo o colocarse más profundo en el suelo. De esta manera, la combinación del elemento de cabezal bulboso 600 y los tubos huecos 602 y 604 puede insertarse a una profundidad mucho mayor fácil y rápidamente. El material suministrado a través del tubo hueco 602 y 604 puede entonces suministrarse en el mismo utilizando la metodología tal como la previamente descrita. Los tubos telescópicos 602 y 604 permiten un incremento significativo de la profundidad a la cual puede practicarse la metodología de la invención de una manera muy rápida, eficiente y económica. Por supuesto, todas las

95

características previamente descritas pueden utilizarse en combinación con los mandriles o tubos telescópicos descritos con respecto a las Figuras 37 y 38. También pueden utilizarse tubos telescópicos adicionales aunque puede
5 existir un límite práctico para tal uso. Típicamente, el tubo 602 de mayor diámetro se une al elemento de cabezal 600 y se coloca en el exterior del siguiente tubo telescópico 604 como se ilustra en las Figuras 37 y 38, aunque lo inverso puede adoptarse también encontrándose un tubo de mayor
10 diámetro en el exterior del tubo de menor diámetro y siendo el tubo de mayor diámetro el tubo que se eleva o se extiende hacia arriba o que se extiende lejos del elemento de cabezal bulboso 600.

Notas de Conclusión

15 Por lo tanto, pueden efectuarse diversas modificaciones y alteraciones a la metodología, así como al aparato, que se encuentran dentro del alcance de la invención. Por consiguiente, es posible variar la construcción y el método de operación de la invención sin
20 apartarse del espíritu y alcance de la misma. Pueden utilizarse configuraciones alternativas, tamaños, perfiles en sección transversal y longitudes del tubo hueco. El elemento de cabezal inferior bulboso 32 puede variar en su configuración y uso. La válvula inferior 54 puede variar en
25 su configuración y uso o puede eliminarse mediante la

adopción de una tapa sacrificial. El extremo delantero del elemento de cabezal inferior bulboso 32 puede tener cualquier forma adecuada. Por ejemplo, puede ser puntiagudo, en forma de cono, romo, angulado, en forma de rosca o de cualquier configuración que facilite la penetración de un suelo matriz y la compactación del material inerte descargado. El elemento de cabezal inferior agrandado o bulboso 32 puede utilizarse en combinación con una o más secciones diferentes de diámetro externo del tubo hueco 30 teniendo diversas formas o configuraciones. En consecuencia, la invención se limita solamente por las siguientes reivindicaciones y equivalentes de las mismas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para formar un pilar de material inerte en una matriz de suelo que comprende las etapas de:

(a) formar una cavidad alargada que tiene un parte
5 inferior y un eje longitudinal en la matriz de suelo al
descender un tubo hueco con un elemento de cabezal inferior
bulboso, que tiene un extremo abierto en el extremo máximo
del mismo que incluye un mecanismo de cierre para cerrar el
extremo abierto máximo, estando dicho elemento de cabezal
10 inferior bulboso configurado con una porción de área en
sección transversal más grande que el área en sección
transversal del tubo hueco conectado adyacente y configurado
para proporcionar fuerzas vectoriales axiales y transaxiales
sobre la matriz de suelo, estando dicho mecanismo de cierre
15 cerrado durante la formación de la cavidad alargada para
evitar la descarga del material inerte desde el elemento de
cabezal inferior durante la formación de la cavidad y para
evitar la obstrucción del elemento de cabezal inferior o del
tubo hueco con materiales del suelo de la matriz durante la
20 penetración y formación de la cavidad alargada;

(b) elevar el tubo hueco una primera distancia
adicional predeterminada en la cavidad formada;

(c) abrir el mecanismo de cierre cuando el tubo
hueco se eleva;

25 (d) suministrar el material inerte de formación de

pilar a través del extremo abierto máximo del elemento de cabezal inferior especial en la porción de la cavidad revelada al elevar el tubo hueco dicha primera distancia adicional; y

5 (e) descender el tubo hueco una segunda distancia adicional predeterminada para compactar el material inerte descargado en la cavidad, mediante el impacto de la fuerza axial y transaxial desde el elemento de cabezal inferior bulboso sobre la superficie del material inerte descargado
10 mientras se desplaza una porción del material inerte de formación de pilar transaxialmente hacia las paredes laterales de la cavidad rellena.

2. El método de la reivindicación 1, en donde el tubo hueco se fuerza inicialmente una distancia
15 predeterminada en la matriz de suelo para formar una cavidad alargada.

3. El método de la reivindicación 1, en donde la cavidad alargada o una porción de su diámetro, se forma inicialmente mediante la pre-perforación o pre-penetración de
20 la matriz de suelo para formar una cavidad alargada aproximadamente con el mismo diámetro que el del elemento de cabezal inferior o ligeramente menor que el del elemento de cabezal inferior y, subsecuentemente, descender o descender parcialmente y parcialmente forzar el tubo hueco con el
25 elemento de cabezal inferior bulboso en la cavidad alargada

pre-formada.

4. El método de la reivindicación 1, que incluye la repetición de las etapas (b) a (e).

5. El método de la reivindicación 1, que incluye
5 la etapa de cerrar el mecanismo de cierre antes de la compactación.

6. El método de la reivindicación 1, que incluye la etapa adicional de suministrar por separado un material en combinación con el material inerte para facilitar el flujo
10 del material inerte y/o para incrementar la resistencia y/o rigidez del pilar de material inerte formado.

7. El método de la reivindicación 1, en donde la etapa de compactación del material inerte descargado comprende reducir la dimensión axial del escalón compactado a
15 aproximadamente $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$ de la distancia adicional del material inerte no compactado para formar un escalón de material inerte compactado que tiene una dimensión axial vertical de aproximadamente $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$ de la distancia adicional a la que se elevó el aparato durante la etapa (b).

20 8. Un método para formar un pilar de material inerte en un suelo de matriz que comprende las etapas de:

(a) formar una cavidad alargada que tiene una parte inferior y un eje longitudinal en un suelo de matriz colocando un tubo hueco con un elemento de cabezal inferior
25 bulboso en el suelo de matriz a una profundidad

predeterminada, teniendo dicho elemento de cabezal inferior una forma bulbosa con un área en sección transversal máxima más grande que la del tubo hueco unido adyacente al mismo, estando configurado dicho elemento de cabezal inferior para
5 impartir fuerzas axiales y transaxiales sobre el suelo de matriz y sobre los materiales descargados y teniendo una abertura de descarga del extremo inferior máximo con una placa de cubierta;

(b) elevar el tubo hueco una distancia adicional
10 desde la parte inferior de la cavidad;

(c) abrir la abertura de descarga inferior y suministrar el material de formación de pilar a través del tubo hueco en la cavidad al elevar el tubo hueco; y

(d) compactar verticalmente el material de
15 formación de pilar con el elemento de cabezal impulsando el tubo hueco y el elemento de cabezal descendentemente hacia la parte inferior de la cavidad mientras se desplaza una porción del material de formación de pilar transaxialmente en la cavidad.

20 9. El método de la reivindicación 1, que incluye además la etapa de formar un segundo pilar o segmento de pilote de un tipo no formado por el método de la reivindicación 1, sobre un pilar de material inerte formado por el método de la reivindicación 1.

25 10. El método de la reivindicación 2, que incluye

la etapa de proporcionar una fuerza estática sobre el tubo hueco para efectuar el avance del tubo hueco y para efectuar la compactación del material inerte descargado.

11. El método de la reivindicación 2, que incluye
5 la etapa de proporcionar una fuerza axial dinámica y una fuerza estática sobre el tubo hueco para efectuar el avance del tubo hueco y para efectuar la compactación del material inerte descargado.

12. El método de la reivindicación 1, que incluye
10 la etapa adicional de precargar el pilar de material inerte formado para incrementar su capacidad y resistencia.

13. El método de la reivindicación 1, que incluye
la etapa de colocar una o más varillas generalmente alineadas con el tubo hueco, extendiéndose dicha varilla o varillas
15 hacia la parte superior desde una placa.

14. El método de la reivindicación 1, en donde la primera distancia adicional se varía por al menos una de las repeticiones.

15. El método de la reivindicación 1, en donde la
20 primera distancia adicional es sustancialmente igual a la altura del pilar que va a formarse.

16 Un aparato para la construcción de un pilar de material inerte de refuerzo de suelo en una matriz de suelo que comprende, en combinación:

25 (a) un tubo hueco alargado que tiene un eje

longitudinal con una abertura de entrada de material y un elemento de cabezal inferior bulboso que tiene un extremo de descarga inferior abierto, siendo la sección transversal exterior del elemento de cabezal inferior bulboso más grande que la sección transversal exterior del tubo hueco adyacente al mismo para formar de este modo una sección bulbosa del tubo hueco que tiene una forma y tamaño en sección transversal exterior más grande que la forma y tamaño de la sección transversal exterior del tubo hueco adyacente al extremo bulboso;

(b) teniendo dicho extremo bulboso una superficie configurada para impartir fuerzas axiales y transaxiales al movimiento descendente sobre el suelo de matriz y el material inerte; y

(c) incluyendo dicho extremo bulboso una abertura de descarga de material en el extremo máximo del mismo con una placa de cubierta removible o una válvula capaz de abrirse y cerrarse.

17. El aparato de la reivindicación 16, en donde el tubo hueco se encuentra comprendido además de múltiples secciones que tienen cada una un área en sección transversal distinta.

18. El aparato de la reivindicación 16, que incluye además al menos dos varillas instaladas externamente al tubo hueco y al elemento de cabezal, estando unidas dichas

varillas a una placa externa al tubo hueco y al elemento de cabezal.

19. El aparato de la reivindicación 18, en donde las varillas comprenden varillas de anclaje de elevación como
5 parte de un sistema de anclaje de elevación.

20. El aparato de la reivindicación 18, en donde las varillas comprenden miembros indicadores.

21. El aparato de la reivindicación 16, que incluye además un mecanismo de alineamiento para estabilizar
10 el tubo hueco y evitar su traslación lateral.

22. El aparato de la reivindicación 16, que incluye además un dispositivo detector de la detección de presión instalado dentro del elemento de cabezal inferior bulboso para detectar la presión.

15 23. El aparato de la reivindicación 16, en combinación con un dispositivo de pre-penetración de matriz de suelo separado, para formar una cavidad antes de insertar el tubo hueco alargado con el elemento de cabezal inferior bulboso en la tierra.

20 24. El aparato de la reivindicación 16, que incluye además una primera placa instalada en el tubo hueco y una segunda placa unida al martillo vibrador, siendo dichas primera y segunda capas capaces de conectarse entre sí mediante varillas de conexión y un mecanismo de cierre.

25 25. El aparato de la reivindicación 16, en donde

dicho tubo hueco comprende al menos dos secciones longitudinales telescópicas y una de dichas secciones se encuentra unida a dicho elemento de cabezal inferior.

26. El aparato de la reivindicación 25, que
5 incluye un mecanismo de sujeción liberable para unir las secciones entre sí en una configuración no telescópica.

27. El aparato de la reivindicación 25, en donde dichas secciones son concéntricas.

28. El aparato de la reivindicación 25, en donde
10 las secciones comprenden una primera sección de diámetro más grande unida al elemento de cabezal y una segunda sección colocada de forma deslizable dentro de la primera sección.

29. El aparato de la reivindicación 25, que
15 incluye un perno radial que conecta de manera removible las secciones.

105

RESUMEN

Un método y aparato para formar un pilar de material inerte de soporte que tiene escalones de material inerte compactado en una matriz de suelo, incluye un tubo hueco alargado con un elemento de cabezal inferior de extremo 5 delantero bulboso que se fuerza o se desciende en la matriz de suelo. El tubo hueco incluye un mecanismo para liberar el material inerte desde el elemento de cabezal inferior del tubo, a medida que el tubo se eleva en incrementos 10 predeterminados. El mismo tubo hueco se desciende o empuja entonces en incrementos predeterminados para compactar verticalmente el material inerte liberado en escalones de material inerte delgados, mientras se fuerza una porción del material inerte compactado transaxialmente hacia la matriz de 15 suelo en las paredes laterales de la cavidad. El proceso puede repetirse para formar una serie de escalones de material inerte compactado que comprenden un pilar de material inerte, o el proceso puede incluir la formación solamente de un único escalón para el pilar de material 20 inerte mientras se densifica el suelo de matriz adyacente y se imparte una tensión lateral en estos suelos.

FIG. 1

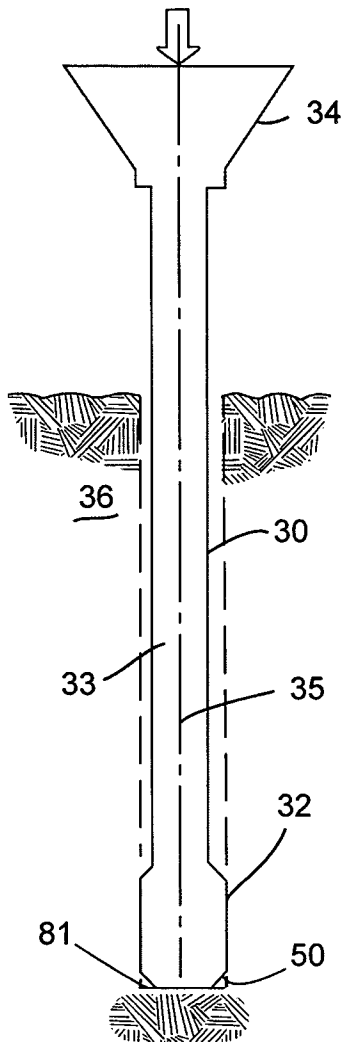


FIG. 2

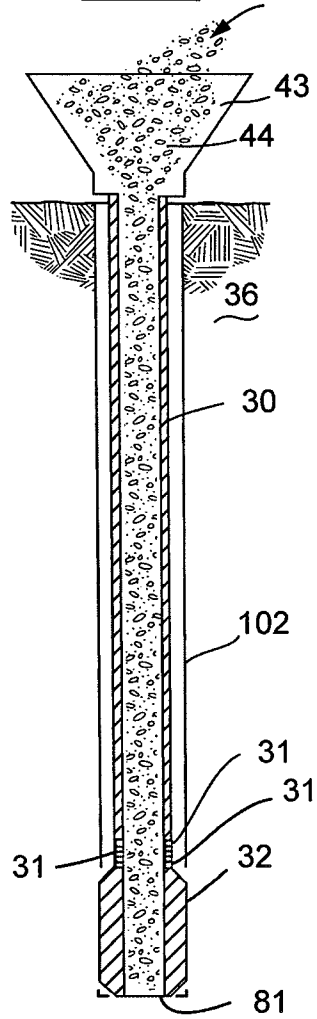


FIG. 3

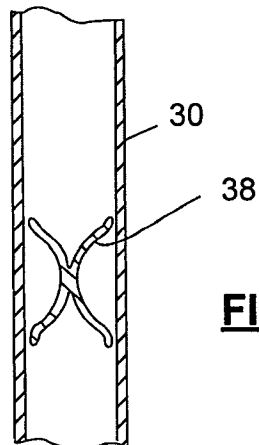
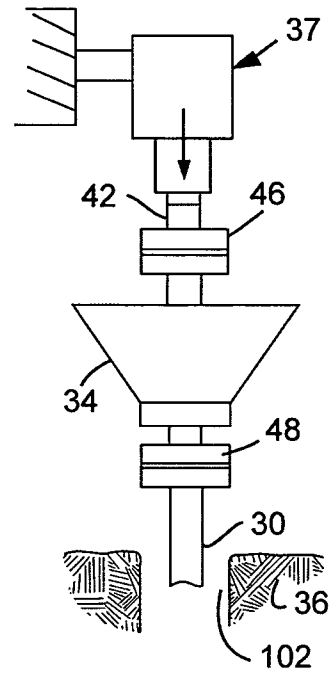


FIG. 4

FIG. 3A

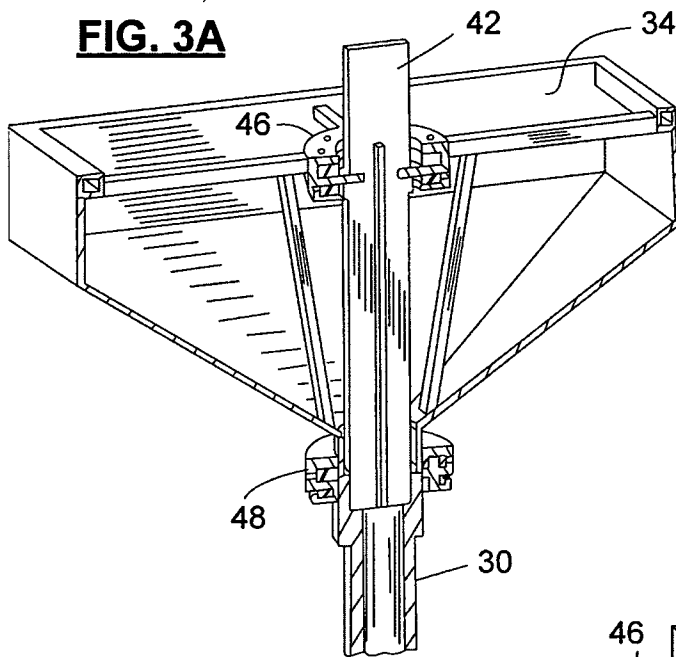


FIG. 3B

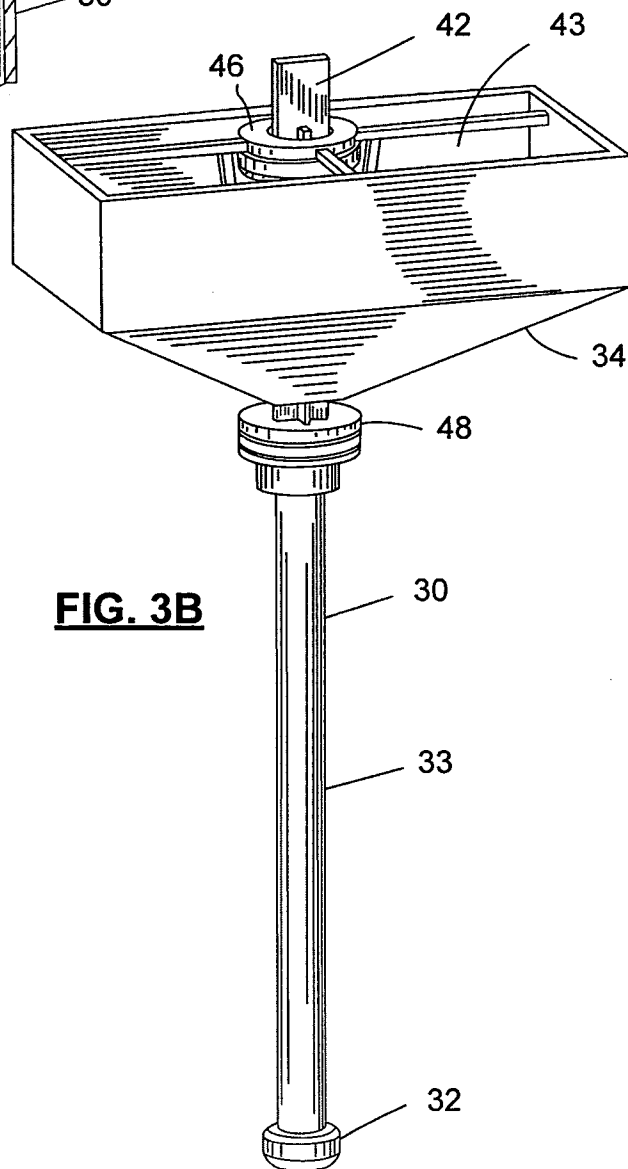


FIG. 5

3/13

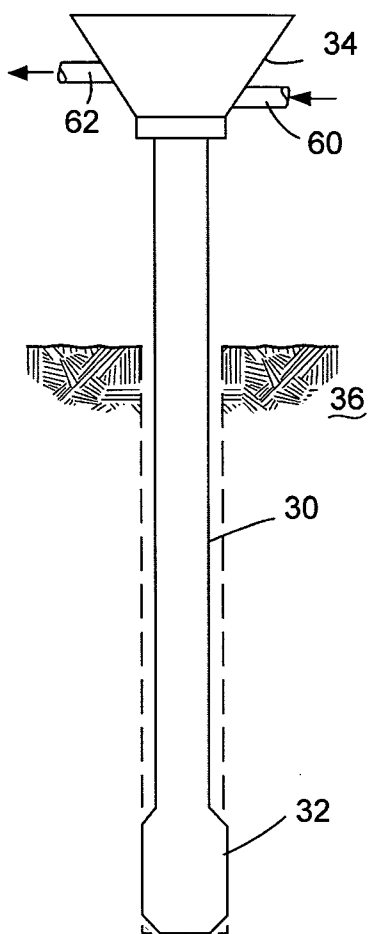


FIG. 6

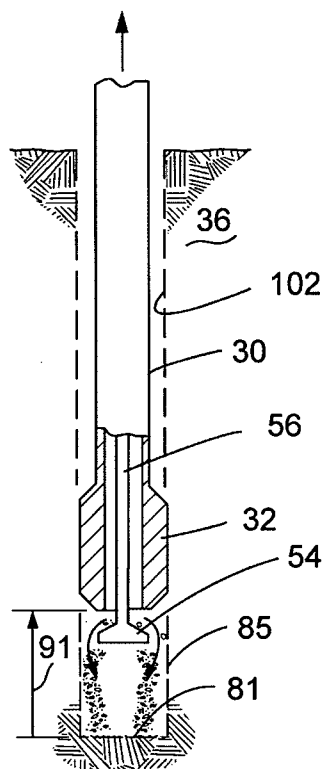


FIG. 7

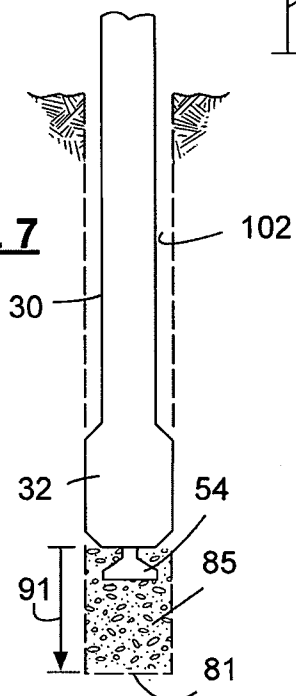


FIG. 8B

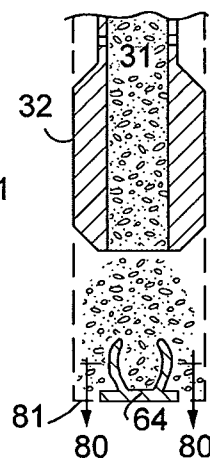


FIG. 8A

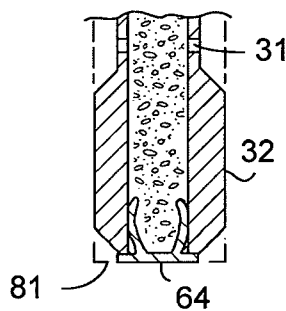
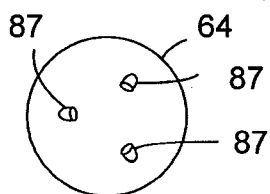


FIG. 8C



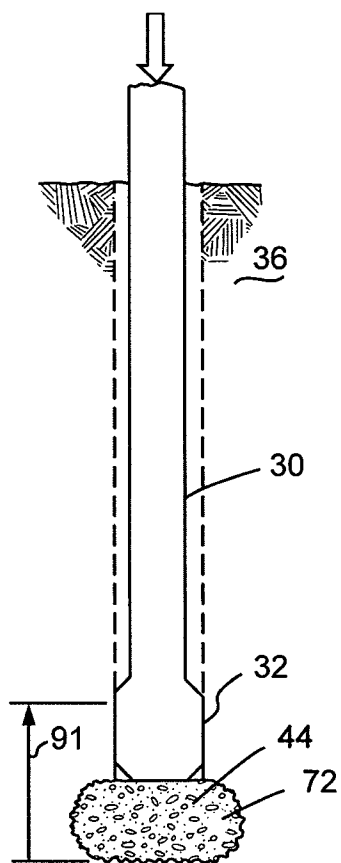


FIG. 9

FIG. 12

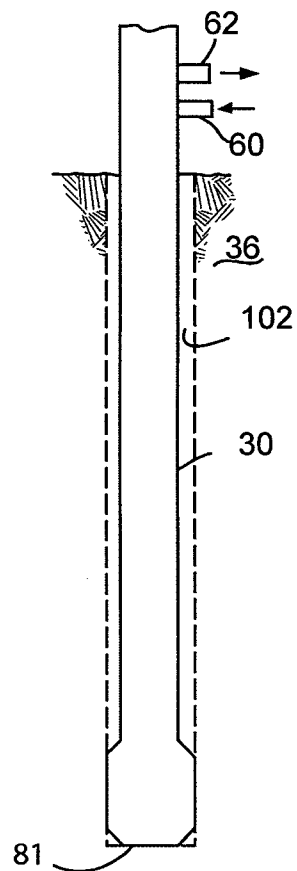
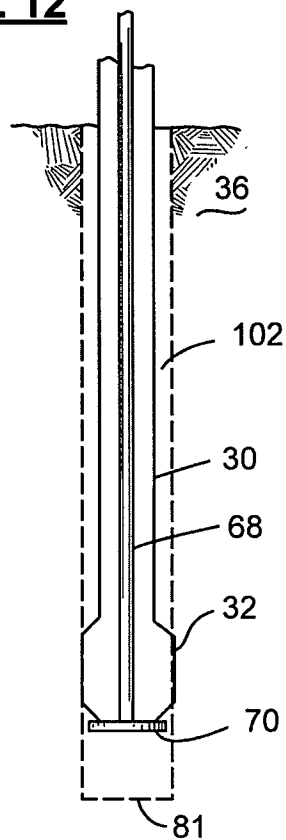


FIG. 13

FIG. 10

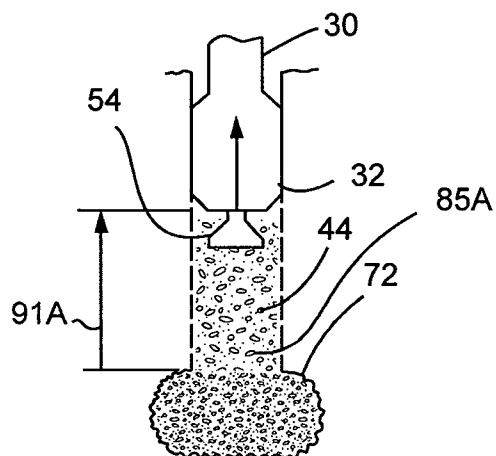


FIG. 11

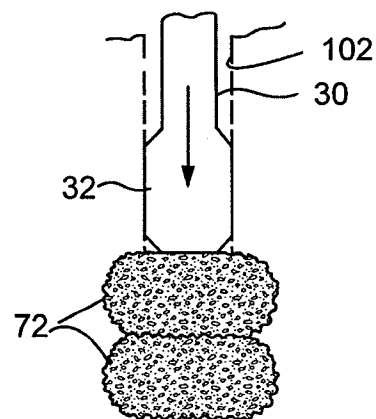


FIG. 14

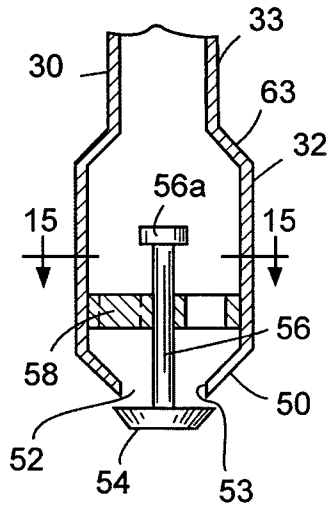


FIG. 16

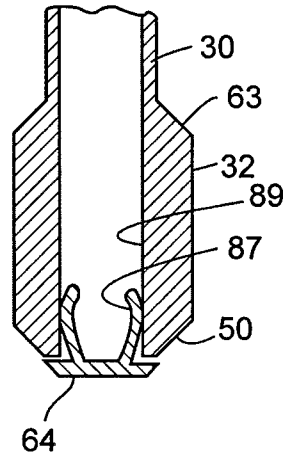


FIG. 17

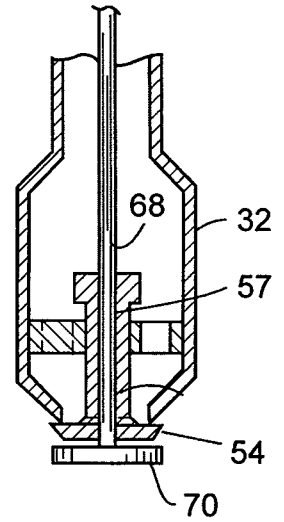


FIG. 18

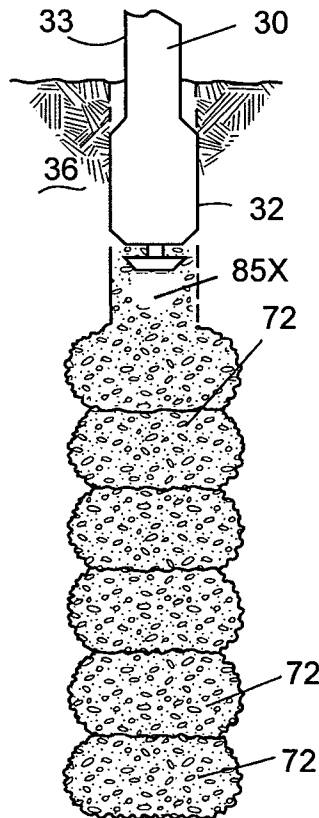


FIG. 19

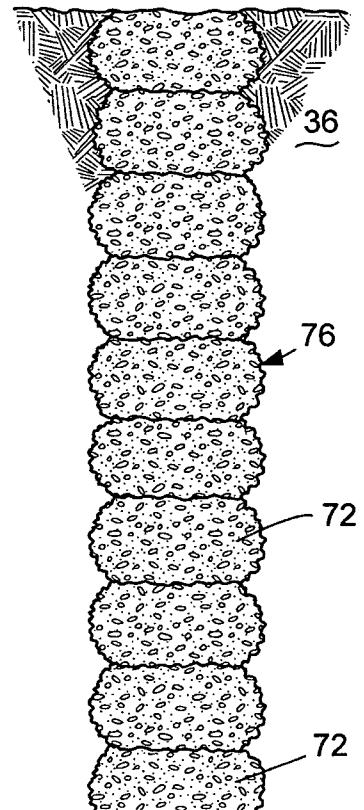


FIG. 15

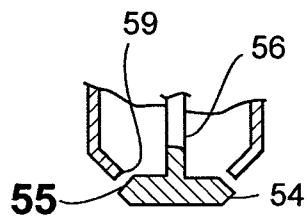
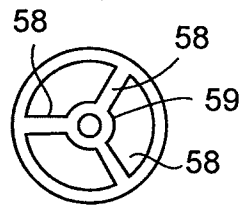


FIG. 15A

FIG. 20

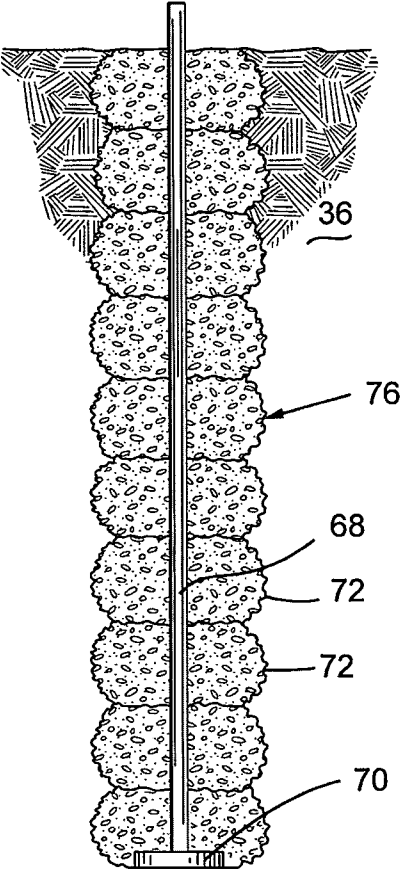


FIG. 21

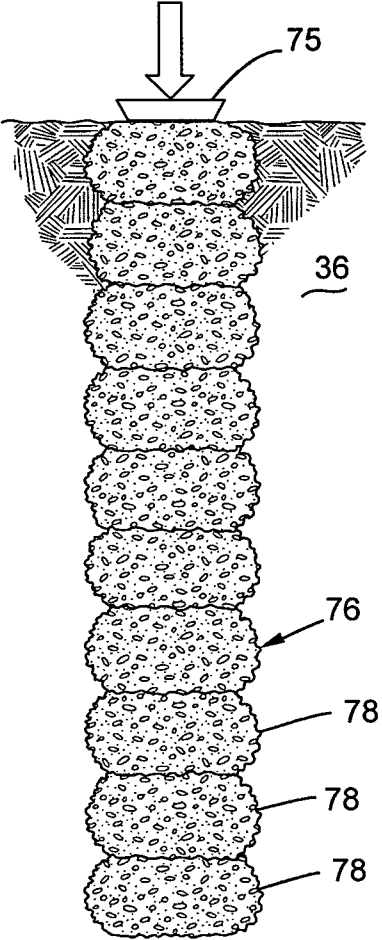


FIG. 22 PRUEBAS DE CARGA EN EL SITIO DE ARENA
 Parte Superior de la Fuerza Estática del Muelle (Tons)

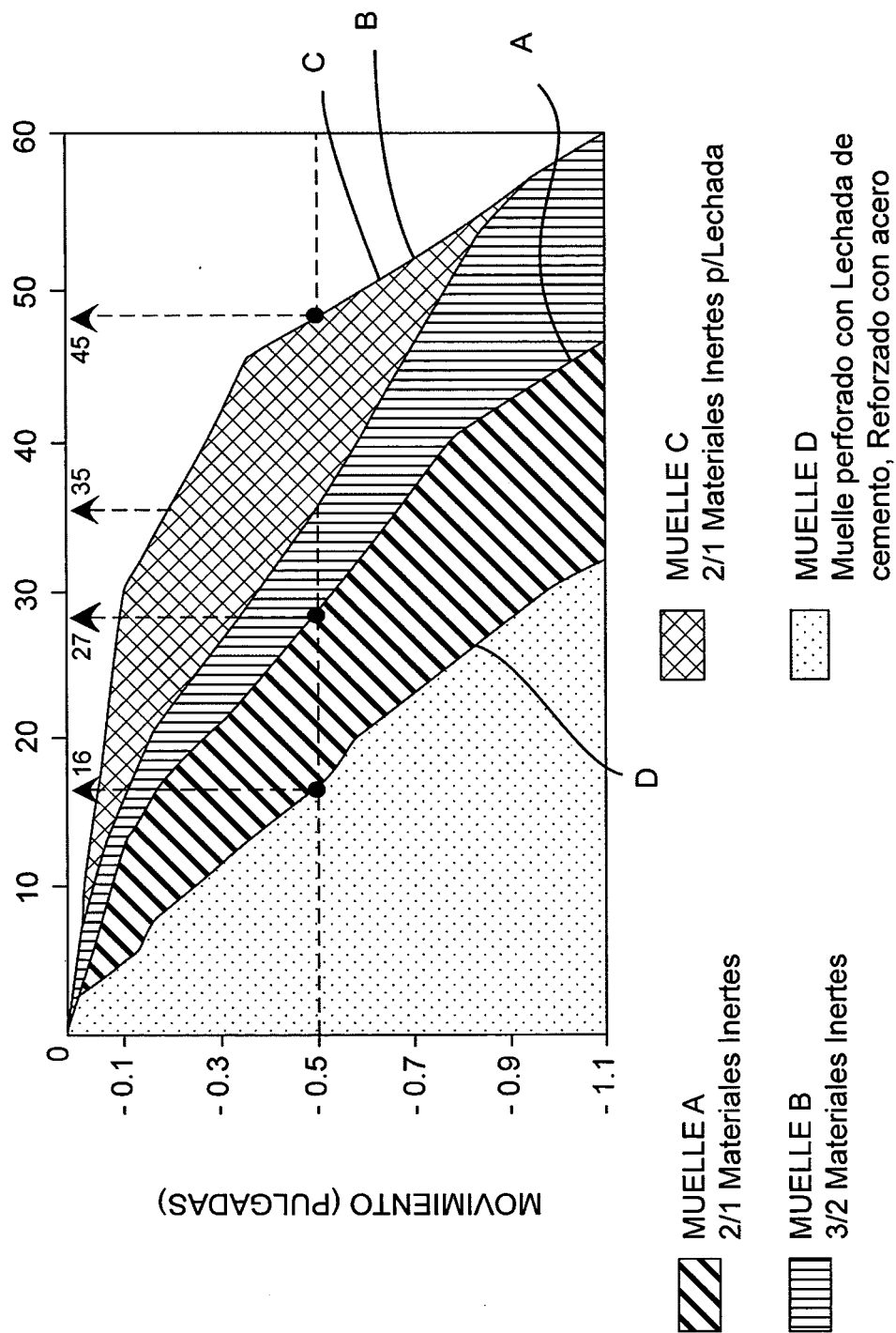


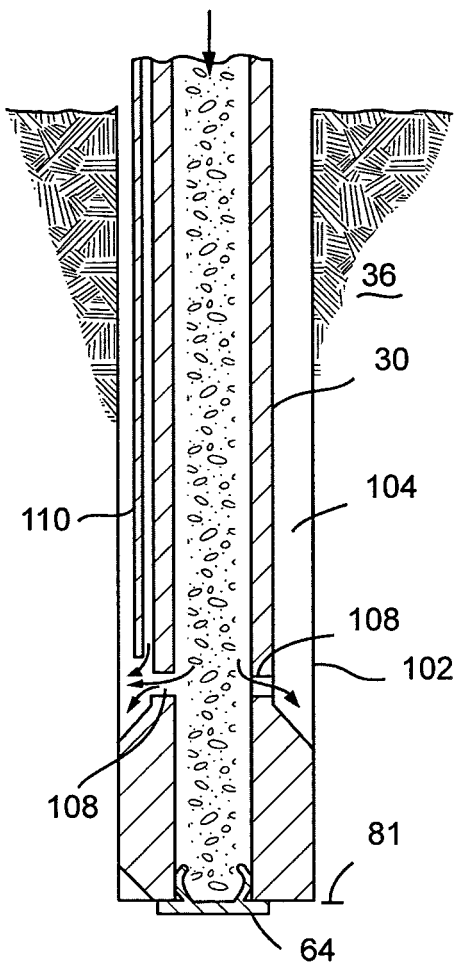
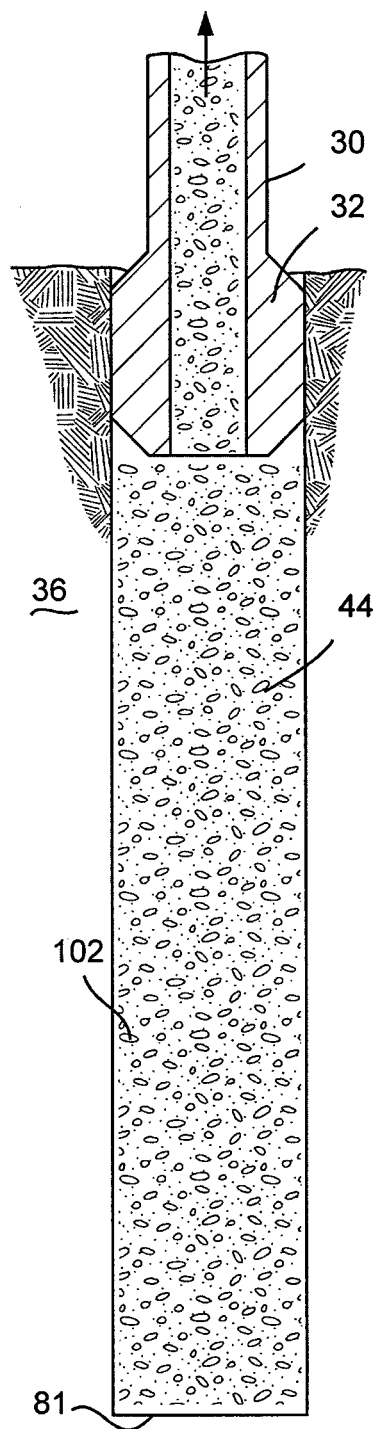
FIG. 23**FIG. 24**

FIG. 25

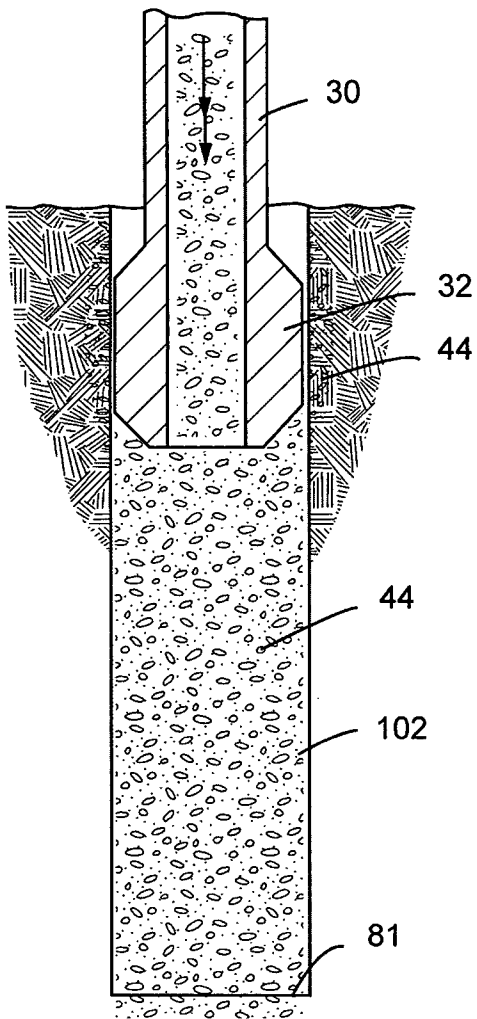


FIG. 26

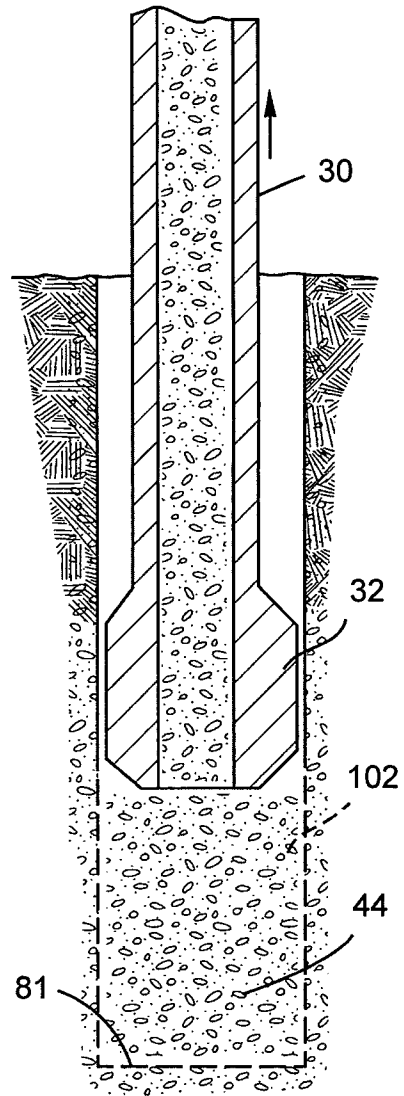


FIG. 27

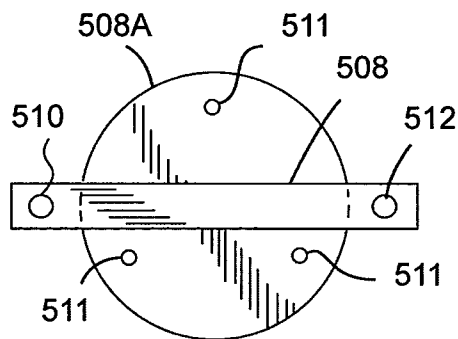
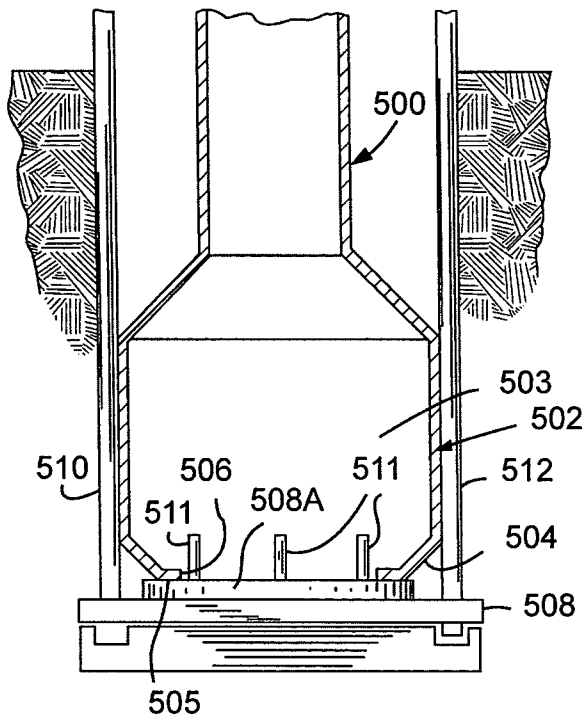


FIG. 27B

FIG. 27A

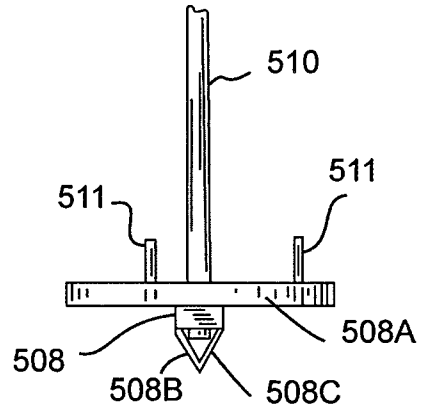


FIG. 28

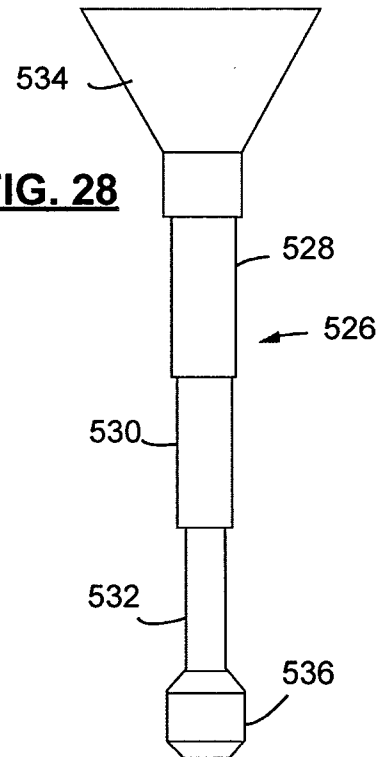


FIG. 29

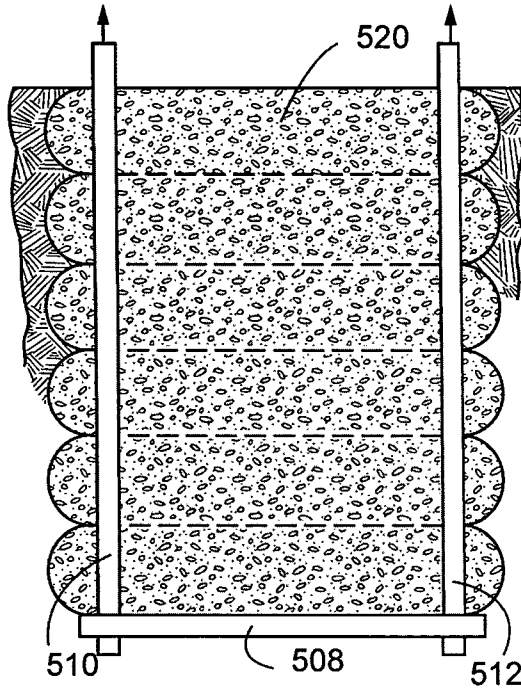


FIG. 30

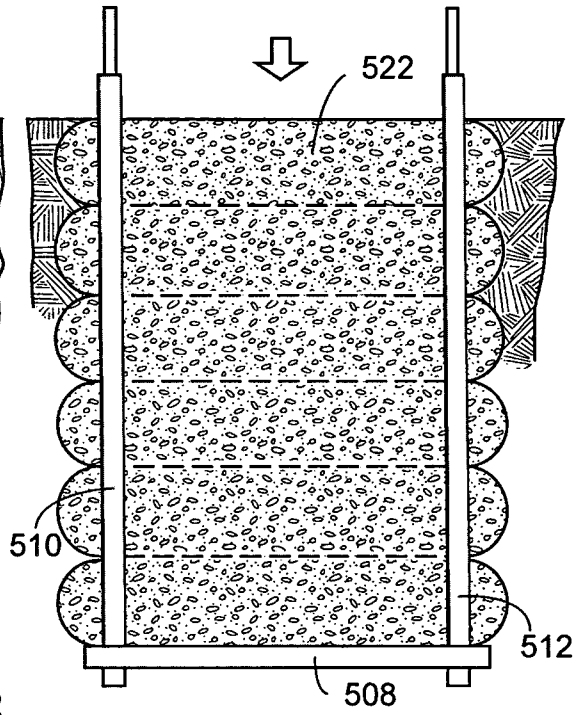


FIG. 32

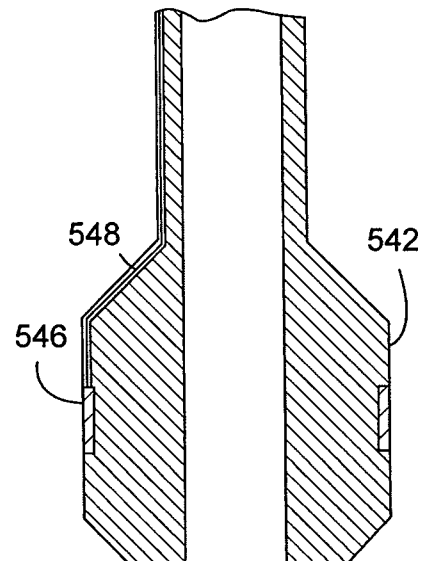
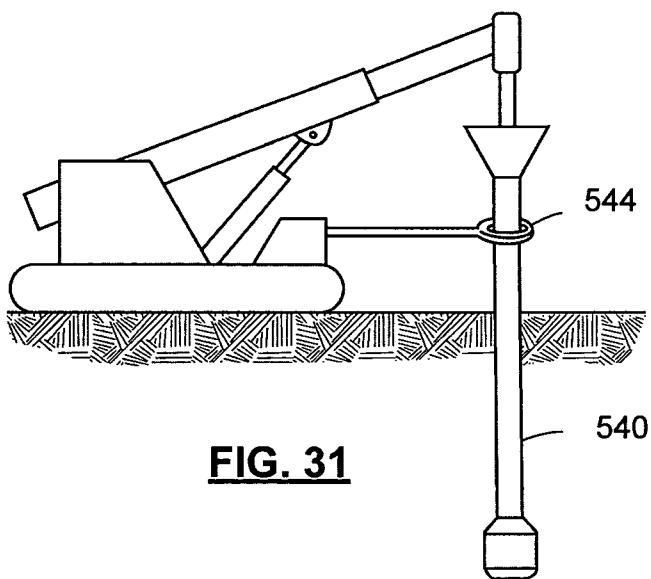


FIG. 31



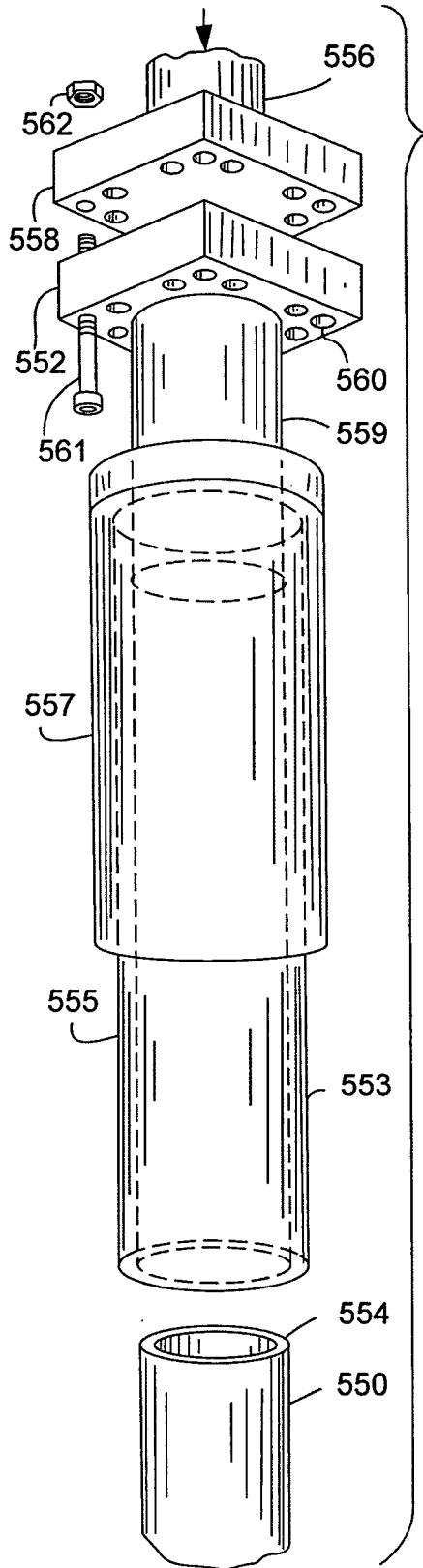


FIG. 33

FIG. 34

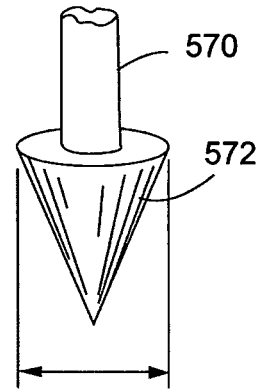


FIG. 35

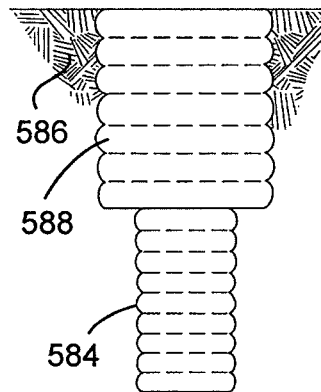


FIG. 36

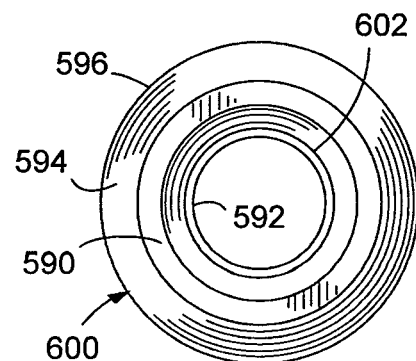


FIG. 38

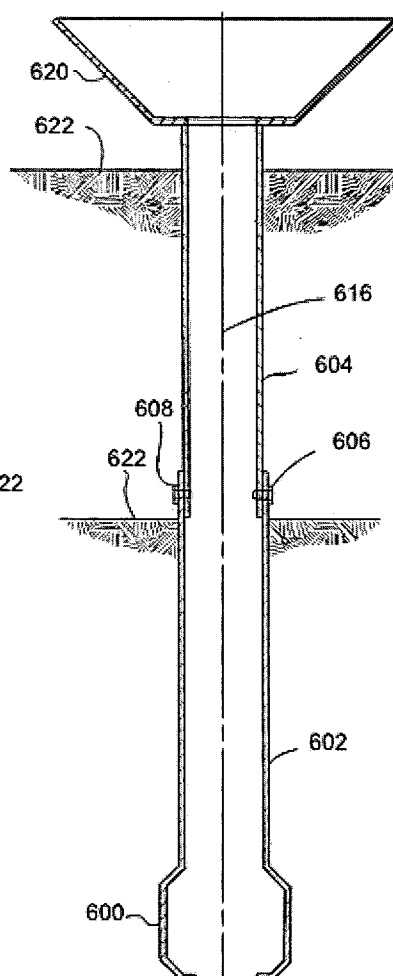
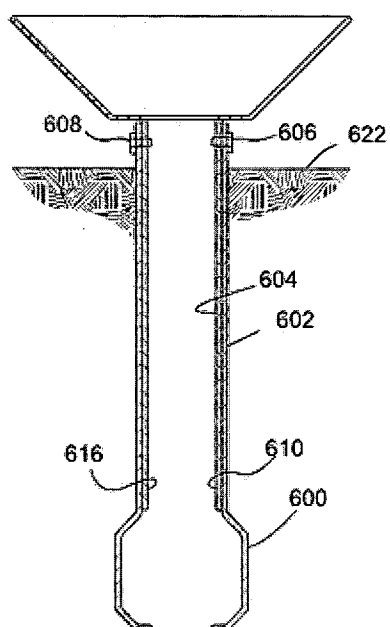


FIG. 37

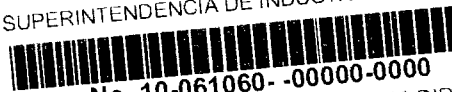


SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

MIT : 80017A000-5

CERTIFICACION DE EXCEDENTE : 10 - 25,981
FECHA : ABRIL 7 DE 2010

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO



No. 10-061060- -00000-0000

Fecha: 2010-05-21 15:58:06
Tra. 11 PATENTEIYII
Act. 411 PRESENTACION

Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Eve: 378 FASENACIONALI
Folios: 121

***** CONSIGNACION *****

DEPOSITANTE	TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PAGO	Vr. PAGO
GOMEZ PINZON ASEMARCAS	CONSIGNACION	BANCO DE BOGOTA	062754387	28222762	07/04/2010	27,094,000.00

***** CONCEPTO *****

CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	TOTAL CONCEPTO
1	50005-01-09	OTROS SERVICIOS DE PROPIEDAD I	
		99 OTROS SERVICIOS ADMINISTRATIVOS	494,000.00
		TOTAL :	\$ 494,000.00

SON: CUATROCIENTOS NOVENTA Y CUATRO MIL PESOS

RESPONSABLE :

RECIBO DE CAJA APLICADO AL EXPEDIENTE No. _____

ESTA CERTIFICACION DE EXCEDENTE DE PAGO SOLO PODRA SER UTILIZADA
COMO PARTE DE LA CANCELACION DE UNA TARIFA VIGENTE Y NO PODRA SER
SUSTITUIDA POR NINGUN RECIBO.

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT : 800176089-2

RECIBO OFICIAL DE CAJA : 10 - 25,949
FECHA : ABRIL 7 DE 2010

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO



No. 10-061060- -00000-0000

Fecha: 2010-05-21 15:58:06 Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Tra. 11 PATENTEIYII Eve: 378 FASENACIONALI
Act. 411 PRESENTACION Folios: 121

***** CONSIGNACION *****

DEPOSITANTE	TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PGD	Vr. PAGO
GOMEZ PINZON ASEMARCA	CONSIGNACION	BANCO DE BOGOTA	062754387	28222762	07/04/2010	27,094,000.00

***** CONCEPTO *****

CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	TOTAL CONCEPTO
1	50005-01-01 SOLICITUDES	1 TRAMITES DE SOL. DE PATENTE DE IN	554,000.00
		TOTAL :	\$ 554,000.00

SON: QUINIENTOS CINCUENTA Y CUATRO MIL PESOS

RESPONSABLE :

RECIBO DE CAJA APLICADO AL EXPEDIENTE No. _____

STATE OF NORTH CAROLINA



Department of The
Secretary of State

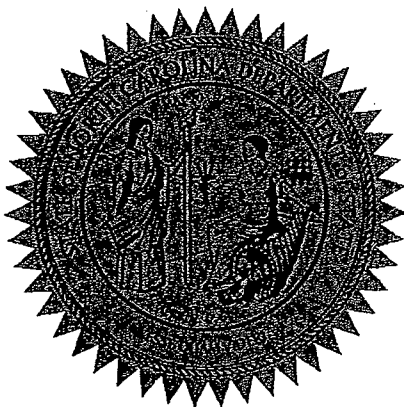
APOSTILLE

(Convention de La Haye 5 octobre 1961)

1. COUNTRY: UNITED STATES OF AMERICA
2. This Public Document
has been signed by KAREN C. KERR
3. acting in the capacity of NOTARY PUBLIC
COMMISSION EXPIRES 9/14/2010
4. bears the seal/stamp of COUNTY OF IREDELL, NORTH CAROLINA

CERTIFIED

5. at Raleigh, North Carolina
6. the 11TH DAY OF AUGUST, 2009
7. by Secretary of State or Deputy Secretary of State, State of North Carolina
8. No. 20192
9. Seal/Stamp
10. Signature



By:

Haley Haynes
Haley Haynes
Deputy Secretary of State

Elaine J. Marshall

Secretary of State

122

PODER	POWER OF ATTORNEY
Yo(nosotros), abajo firmado (s)/ I (we), the undersigned: GEOPIER FOUNDATION COMPANY, INC. Domiciliado (s) en / Domiciled at: 150 Fairview Road Suite 335, Mooresville, North Carolina 28117, USA	
Por el presente nombro a: Mauricio Jaramillo Campuzano T.P. 74.555 and/or Paula Samper Salazar T.P. 56.190 and / or Patricia Arrazola Bustillo and/or José Luis Suarez Parra domiciliados en Bogotá, Colombia para que en obdecimiento a lo dispuesto por el parágrafo 1º del Artículo 543 del Código de Comercio, el primero como principal y los demás como suplentes, actúen en su orden, como mis (nuestros) representantes en todos los asuntos de propiedad industrial con facultad para recibir notificaciones y nombrar apoderados judiciales y extrajudiciales. El primer representante suplente reemplazará al principal en caso de ausencia o impedimento temporal o definitivo de aquél. Además, confiero (conferimos) poder a los abogados para obtener la protección de mi (nuestra) propiedad industrial y contra la competencia desleal, a cuyo efecto autorizo(amos) a los dichos apoderados para que me (os) representen ante cualesquiera entidades o personas ejerzan o no jurisdicción, especialmente ante las del orden administrativo, contencioso-administrativo y judicial, en todo lo concerniente a los siguientes asuntos: a) Obtención de patentes de invención, modelos de utilidad y diseños industriales; el registro de marcas de fábrica, colectivas, defensivas, de servicio, lemas comerciales, nombres comerciales, enseññas, denominaciones de origen, nombres de dominio, registros sanitarios, variedades vegetales y registros de todo tipo ante el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario); su renovación, traspaso, cambio de nombre o domicilio, cancelación voluntaria, y el registro de licencias de uso de esos derechos; b) Las acciones de competencia desleal, acciones de infracciones, protección del consumidor, oposiciones, cancelación administrativa o judicial, nulidad, medidas cautelares, concesión de licencias, la tutela, la protección de secretos industriales, y en general los juicios civiles, penales, acciones administrativos o contencioso-administrativos relacionados con estos derechos; acciones y procesos que promovamos o se nos promuevan. Y para que en todos los asuntos arriba determinados, puedan sustituir este mandato, transigir, conciliar, admitir los hechos del proceso, desistir, cancelar, recibir, renunciar y ratificar los actos de agentes oficiosos.	In due compliance with the terms of paragraph 1st of article 543 of the Comercial Code, do hereby appoint Mauricio Jaramillo Campuzano T.P. 74.555 and/or Paula Samper Salazar T.P. 56.190 and / or Patricia Arrazola Bustillo and/or José Luis Suarez Parra domiciled at Bogotá, Colombia, the first as principal and the others as alternates, in the order of their appointment, as our representatives for all industrial property matters with faculty to receive notifications and to appoint attorneys in and out of the court. The first alternate shall replace the principal in case of his absence or temporal or definitive impediment. In addition, we grant a Power of Attorney to obtain protection of my (our) industrial property and against the unfair competition, for which purpose I (we) authorize the said attorneys to represent me (us) before any authorities or persons, with or without jurisdiction, especially those administrative, administrative contentious and judicial, in all matters concerning the following: a) Obtainment of patents, utility models and industrial designs; the registration of trademarks, collective, defensive and service marks, slogans, commercial names, trade emblems, denominations of origin, domain names, public health registrations, vegetal varieties and all kind of registrations before the ICA (Instituto Colombiano Agropecuario); its renewal, assignment, change of name or domicile, voluntary cancellation, and the registration of licenses of use of the above rights; b) Actions of unfair competition protection, to the consumer, oppositions, administrative or Court cancellation, nullity, infringement, custom procedures, granting of licenses, the action for writ mandamus, the protection of trade secrets, and in general the civil, penal and administrative suits relating to those rights; actions and suits instituted by me (us) or against me (us). And that in all the above matters they may substitute this Power of Attorney, compromise, ratify acts done by representatives without a power of attorney.
Dado y firmado hoy / Given and signed this <u>4 Aug. 2009</u> (Date) En/in <u>Mooresville, NC, USA</u> (Location signed) Por/by <u>Kord J. Wissmann</u> (Print name of person signing) Firma /Signature <u>[Signature]</u> (Signature)	

Greene

COUNTY, NORTH CAROLINA

I certify that the following person personally appeared before me this day, acknowledging to me that he signed the foregoing document: Brian Metcalfe.

Date

August 4, 2009

(Official Seal)

James C. Kurr
Notary Public

My commission expires:

September 14, 2010



No. 10-061060- -00000-0000

Fecha: 2010-05-21 15:58:06

Dep. 2020 DIR.NUEVASCR

Tra: 11 PATENTEIYI

Eve: 378 FASENACIONALI

Act. 411 PRESENTACION

Folios: 121

PATENTE DE INVENCION ☐

MODELO DE UTILIDAD ☐

Art.33 Decision 486/00

☐

Indicación que se solicita una patente.

☐

Datos de identificación del solicitante o de la persona que presenta la solicitud

☐

Descripción de la invención

☐

Dibujos de ser estos pertinentes

☐

Comprobante de pago de las tasas establecidas (De ser el caso formato de descuento)

Completa

☐

Incompleta

☐

PATENTE DE INVENCION PCT ☐

MODELO DE UTILIDAD PCT ☐

Art.33 Decisión 486/00, Circular Única

☐

Indicación que se solicita una PCT.

☐

Copia de la solicitud en español, tal como fue presentada inicialmente (capítulo descriptivo, reivindicatorio, resumen)

☐

Dibujos de ser estos pertinentes

☐

Comprobante de pago de las tasas establecidas (de ser el caso formato de descuento)

Completa

☐

Incompleta

☐

DISEÑO INDUSTRIAL ☐

(Art. 119 Decisión 486/00)

☐

Indicación que se solicita Diseño industrial

☐

Datos de identificación del solicitante o de la persona que presenta la solicitud

☐

Representación gráfica y fotográfica del Diseño industrial o muestra del material que incorpora el diseño

☐

Comprobante de pago de las tasas establecidas

Completa

☐

Incompleta

☐

ESQUEMA DE TRAZADO ☐

(Art. 92 Decisión 486/00)

☐

Indicación que se solicita un esquema de trazado

☐

Datos de identificación del solicitante o de la persona que presenta la solicitud

☐

Representación gráfica de un esquema de trazado

☐

Comprobante de pago de las tasas establecidas

Completa

☐

Incompleta

☐



Bogotá D.C.,
2020

Doctor(a)
JARAMILLO CAMPUZANO MAURICIO
Apoderado(a) y/o Representante de
GEOPIER FOUNDATION COMPANY, INC.

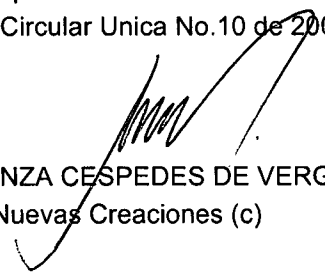
REFERENCIA	Radicación No.	10 061060
	Solicitud internacional	PCT/US2008/080644
	Fecha inicio fase nacional	22/05/2010
	Trámite	11
	Evento	378
	Actuación	430
	Oficio No.	07142

Como resultado del examen de forma, realizado con fundamento en el artículo 38 de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina, artículo 27 del Tratado de Cooperación en Materia de Patentes (PCT), regla 51 bis del Reglamento y Circular Única de la Superintendencia de Industria y Comercio, se le comunica que:

1. La solicitud no contiene la copia del documento en que consta la cesión del derecho a la patente del inventor al solicitante o a su causante, conforme a lo establecido por el artículo 26 literal k) de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina. Cuando se trate de documentos otorgados en el extranjero, estos deberán legalizarse de conformidad con lo dispuesto por los artículos 259 y 260 del Código de Procedimiento Civil. Cuando se trate de las declaraciones a que hace referencia la Regla 4.17 ii) del Tratado de Cooperación en Materia de Patentes PCT., el alcance de las tales declaraciones se determinará según indiquen claramente una cesión de derechos del inventor al solicitante o su causante, de conformidad con lo dispuesto en el numeral 5.2.15 del Capítulo Quinto, Título X de la Circular Única de Superintendencia de Industria y Comercio.

En cumplimiento de lo dispuesto por el artículo 39 de la Decisión 486, se le requiere para que dentro del término de dos meses siguientes a la fecha de notificación del presente oficio, complete los requisitos anteriormente enunciados. En caso de no dar cumplimiento al presente requerimiento, la solicitud se considerará abandonada y perderá su prelación.

Notifíquese el presente oficio conforme a lo dispuesto en el numeral 5.2, literal e), del capítulo quinto del título primero de la Circular Única No.10 de 2001.


ALIX CARMENZA CESPEDES DE VERGEL
Directora de Nuevas Creaciones (c)

04 JUN 2010

El anterior requerimiento fue notificado por fijación en lista de fecha _____
adpa11

126