

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 415**

51 Int. Cl.:

**E02D 35/00** (2006.01)

**E02D 3/12** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.11.2002 E 02026410 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **28.05.2003 EP 1314824**

54 Título: **Procedimiento de consolidación de suelos**

30 Prioridad:

**27.11.2001 IT MI20012496**

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

**31.01.2013**

73 Titular/es:

**URETEK S.R.L. (100.0%)  
VIA DOSSO DEL DUCA 16  
37021 BOSCO CHIESANUOVA (VERONA), IT**

72 Inventor/es:

**CANTERI, CARLO**

74 Agente/Representante:

**CURELL AGUILÁ, Mireia**

**ES 2 394 415 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento de consolidación de suelos.

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la consolidación de suelos de cimentación que requiere la aplicación de una presión superior 500 kPa.

10 En el campo de las intervenciones para la consolidación de suelos de cimentación para edificios, destinadas a aumentar la capacidad de carga del suelo antes de y tras la construcción de una estructura, y en el campo de las intervenciones para evitar la subsidencia del suelo o pavimento, se conoce la utilización de sustancias que se expanden como consecuencia de una reacción química, del tipo que comprende una mezcla de polioles e isocianato MDI, o una sustancia expandible similar, que se solidifica tras la expansión y con lo que dicha expansión pasa a ser permanente.

15 La patente europea n.º 851.064, a nombre del presente solicitante, describe un procedimiento para aumentar la capacidad de carga de los suelos de cimentación que consiste sustancialmente en realizar una pluralidad de orificios profundos separados en el suelo e inyectar a través de dichos orificios una sustancia expandible de este tipo, que se expande como consecuencia de una reacción química de sus componentes, utilizando una potencia de expansión que, a presión atmosférica, provoca un aumento del volumen de por lo menos cinco veces su volumen inicial. La expansión de la sustancia produce una compactación del suelo contiguo hasta que alcanza la capacidad de carga prevista. El nivel del suelo o de la estructura que recubre la zona del suelo que se somete a intervención se supervisa constantemente para detectar el inicio de su levantamiento, lo que significa que el suelo de cimentación ha alcanzado una capacidad de soporte apropiada para soportar la estructura suprayacente o simplemente, si no existe una estructura, que la capa de suelo entre el terreno y la zona de inyección se ha compactado.

25 Claramente, la estructura se puede elevar únicamente si la presión generada por la expansión de las sustancias que intervienen es superior a la presión aplicada al suelo afectado por la expansión, por el peso estático y dinámico de la estructura más el peso de cualquier suelo que recubra el punto de inyección y las fuerzas de fricción en del suelo.

30 La presión máxima que se puede generar mediante la expansión de dichas sustancias siempre se ha estimado de como máximo aproximadamente 500 kPa. Por este motivo, dicho procedimiento nunca se ha considerado apto y se utiliza para realizar la consolidación de cimientos de edificios o estructuras muy grandes o muy pesados o para tratar de elevar dichas estructuras, ya que generalmente aplican al suelo una presión superior a 500 kPa; ello sucede porque se pensaba que la expansión de dichas sustancias en dichas estructuras no podría mejorar la compactación del suelo o levantar la estructura. Además, no se ha realizado intento alguno de consolidar aún más suelos que ya estaban bien compactados y proporcionar una resistencia a la rotura superior a 500 kPa.

35 A veces puede resultar conveniente o indispensable producir una compresión del suelo superior a 500 kPa asimismo debajo de las estructuras de bajo peso o en un suelo sin cargar. De hecho, es importante destacar la distinción entre las subsidencias provocadas por la baja capacidad de carga del suelo (que, si la carga de la estructura es inferior a 500 kPa, se resolvía eficazmente con el procedimiento descrito en la patente citada anteriormente a nombre del mismo solicitante) y las subsidencias de consolidación que se pueden producir en suelos de grano fino, incluso cuando presentan una capacidad de carga suficiente. En realidad, estructuras relativamente ligeras a menudo se hunden a pesar de que se están construyendo en suelos con una capacidad que supera la carga suprayacente. Ello se produce simplemente debido a que ocurre un proceso de consolidación que causa una reducción del volumen, con la subsidencia consecuente con el tiempo debido a la migración del agua.

40 A veces, en unas condiciones similares, es importante evitar desde el principio la aparición de dichas subsidencias, a fin de evitar daños a la estructura. En dichos casos se suele proporcionar, directamente en el diseño, cimientos y estructuras que puedan tolerar un cierto grado de subsidencia. Sin embargo, en el caso de las estructuras existentes, cuando ello no se realizó o cuando la extensión prevista de la subsidencia resulta ser incorrecta, en vista de la extrema dificultad de formular predicciones exactas de la subsidencia, incluso con estudios geotécnicos en profundidad, o también cuando es importante evitar desde el principio la aparición de dichas subsidencias, a fin de evitar incluso, por ejemplo, oscilaciones mínimas del nivel de instrumentos o máquinas, es necesario intervenir para subsanar o prevenir el fenómeno, ya que un aumento elevado de la compresión del suelo (incluso muy superior a la compresión requerida únicamente para la capacidad de carga) provoca el desarrollo de la consolidación y evita, por lo tanto, la subsidencia.

45 El módulo edométrico de un suelo es, de hecho, inversamente proporcional a la subsidencia. Una compresión elevada del suelo (superior a 500 kPa) aumentará el módulo edométrico y, por consiguiente, reducirá la subsidencia incluso en estos tipos de suelo.

50 Por último, las normativas requieren en general un coeficiente de seguridad de tres en los cimientos superficiales. Por consiguiente, a fin de cumplir con las normativas, cualquier suelo de cimentación tiene que presentar una capacidad de carga que sea por lo menos tres veces la tensión provocada por la estructura suprayacente.

65

Resumiendo, todos los problemas que, tal como los descritos anteriormente, requieren una presión de expansión de la sustancia expandible superior a 500 kPa no se abordan con el procedimiento descrito anteriormente, ya que se consideró que las sustancias expandibles del tipo citado anteriormente no podían generar una fuerza de expansión superior a dicho valor.

5 Sorprendentemente, en intervenciones en suelos de alta densidad realizados por el presente solicitante, se obtuvieron unos resultados que pusieron en cuestión dicha opinión y llevaron a pensar que la presión generada por las sustancias utilizadas podría ser superior a la hipotética.

10 Por este motivo, el presente solicitante realizó una pluralidad de ensayos dirigidos a identificar la presión máxima real que se puede alcanzar a partir de la expansión de las sustancias que se expanden como consecuencia de una reacción química.

15 El resultado de dichos ensayos fue igualmente sorprendente, ya que se descubrió que la presión máxima que se puede generar mediante las sustancias del tipo citado anteriormente, en determinadas condiciones es considerablemente superior a la presión hipotética y, basándose en dichos resultados, se ha considerado utilizar dichas sustancias expandibles en intervenciones que hasta el momento se consideraban imposibles.

20 El objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento que permita utilizar la fuerza generada por la expansión de dichas sustancias para consolidar suelos de cimentación utilizando sustancias que se expanden como consecuencia de una reacción química o, en cualquier caso, para alcanzar los efectos de sobreconsolidación en algunos tipos de suelo subyacente incluso en estructuras no muy pesadas, ya que a veces este es el único modo de evitar subsidencias y garantizar, con el tiempo, la estabilidad de la estructura.

25 Este y estos propósitos y objetivos que se pondrán más claramente de manifiesto a continuación se alcanzan mediante un procedimiento para consolidar suelos de cimentación según la reivindicación 1.

Preferentemente, el procedimiento según la presente invención comprende:

- 30 - producir una pluralidad de orificios en el suelo, estando dichos orificios separados entre sí y encontrándose debajo del frente inferior o cara inferior de los cimientos de la estructura;
- 35 - inyectar dentro del suelo, a través de dichos orificios, una sustancia que se expande como una consecuencia de una reacción química y comprende una mezcla de poliols y un isocianato MDI, o una sustancia expandible similar, con un tiempo de inicio de la expansión comprendido sustancialmente entre 2 y 25 segundos y con un aumento potencial del volumen, como consecuencia de la expansión, superior a cinco veces el volumen de la sustancia expandible antes de la expansión;
- 40 - determinar cuándo se alcanza el grado previsto de consolidación del suelo o el grado previsto de elevación de la estructura;
- finalizar la inyección de dicha sustancia expandible cuando se alcanza el grado previsto de consolidación del suelo.

45 Las características y ventajas adicionales de la presente invención se pondrán más claramente de manifiesto a partir de la siguiente descripción detallada y los dibujos adjuntos de una forma realización preferida, pero no exclusiva, de la misma, que se proporciona a continuación únicamente a título de ejemplo no limitativo.

50 Las figuras 1 a 3 son gráficos que representan la variación de la presión de distensión como función de diversos factores de inyección.

Las figuras 4 y 5, son diagramas comparativos que representan los resultados de las pruebas penetrométricas realizadas en suelos de cimentación tratados, bajo estructuras pesadas.

55 El procedimiento según la presente invención comprende convenientemente una primera etapa de producción de una pluralidad de orificios en el suelo, estando dichos orificios separados entre sí y encontrándose debajo del frente inferior o cara inferior de los cimientos de la estructura.

60 El número de orificios a realizar, sus dimensiones y la distancia entre sí se calculan en función de la fuerza a superar para levantar la estructura, es decir, según el peso de la estructura y la distribución de dicho peso en el suelo que se está tratando.

Los orificios pueden discurrir verticalmente o pueden estar inclinados con respecto a la vertical, según se requiera.

65 A través de dichos orificios, con la ayuda de unos tubos introducidos de antemano en dichos orificios, se inyecta en el suelo una sustancia que se expande como consecuencia de una reacción química entre sus componentes,

## ES 2 394 415 T3

- 5 comprendiendo dicha sustancia una mezcla de polioles y un isocianato MDI, o una sustancia expandible similar, con un tiempo de inicio de la expansión comprendido entre 2 y 25 segundos, preferentemente entre 2 y 7 segundos, y con un aumento potencial de volumen de por lo menos cinco veces el volumen de la sustancia antes de la expansión. La expresión "aumento potencial de volumen" se refiere al aumento de volumen de la sustancia como consecuencia de la expansión que se produce sin obstáculos a la presión atmosférica.
- 10 En el caso de estructuras que presentan unos cimientos bastante anchos, tales como por ejemplo los cimientos de una plataforma, donde no es estrictamente necesario localizar la zona de acción de la sustancia expandible, resulta posible utilizar una sustancia expandible, con un tiempo de inicio de la expansión superior a 7 segundos.
- 15 Si de lo contrario se requiere una precisión elevada en la localización de la zona de acción de la sustancia expandible, se prefieren sustancias con un tiempo de inicio de la expansión comprendido entre 2 y 7 segundos.
- Dicha sustancia está constituida por una espuma de poliuretano de alvéolo cerrado que, tras la expansión, se endurece gradualmente y mantiene permanentemente su expansión.
- 20 Los componentes de la sustancia expandible se mezclan dentro de un aparato mezclador con una bomba, que se conecta a los tubos introducidos en los orificios realizados en el suelo.
- 25 La sustancia expandible está constituida preferentemente por dos componentes, respectivamente un primer compuesto constituido por una mezcla de polioles que comprende un poliol poliéter y/o un poliol poliéster, un catalizador y agua, por ejemplo tal como URETEK GEOPLUS A producido por la empresa holandesa Resina Chemie, y un segundo compuesto constituido por un isocianato MDI, por ejemplo tal como URETEK GEOPLUS B producido por la misma empresa, que presenta un tiempo de inicio de la expansión aproximadamente de 3 segundos y, en particular, puede generar la fuerza de expansión medida máxima, como se describirá más detalladamente posteriormente.
- 30 La mezcla de dichos dos componentes produce una espuma de poliuretano de expansión cuya densidad, al final de la expansión, varía en función de la resistencia opuesta a la expansión, es decir, en el caso considerado, la resistencia opuesta por el suelo adyacente a la zona de la inyección.
- La presión que la sustancia transmite al suelo adyacente es asimismo proporcional a la densidad y, por lo tanto, a la resistencia opuesta por el suelo en el que se inyecta la sustancia.
- 35 Las pruebas de expansión vertical, realizadas en condiciones endométricas, con la mezcla URETEK GEOPLUS A + B, catalizador y agua, en unas cantidades medidas, han proporcionado los resultados que se indican en la tabla siguiente

muestra de la prueba	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
P (g)	138,88	316,18	138,38	171,58	490,68	313,28	358,48	363,28	190,48	471,88	396,68	431,98	5518	4018	548,38
D (cm)	11,65	11,88	6,51	6,01	10,14	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6
V (cm <sup>3</sup> )	585,59	597,15	327,23	302,10	509,69	532,5	532,5	532,5	532,5	532,5	532,5	532,5	532,5	532,5	532,5
γ(kN/m <sup>3</sup> )	2,33	5,19	4,15	5,57	9,44	5,77	6,60	6,69	3,51	8,69	7,31	7,96	10,15	7,39	10,1

t(seg)	Presión de distensión σ (kPa)														
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	196	1275	883	1275	1962	1668	2453	2551	834	4120	2747	3630	6475	3139	5886
20	294	1373	1030	1422	3728	1913	2698	2747	883	4513	3139	4022	7848	3434	7358
30	343	1521	1079	1472	4415	2011	2645	2894	981	4807	3237	4316	8339	3630	8044
60					5690	2158	3041	3139	981	5199	3630	4611	9418	3924	9123
90	412	1687	1158	1619	6180	2305	3139	3286		5396	3826	4905	9908	4120	9516
120	412	1766	1177	1697	6377	2305	3139	3286		5494	3875	4905	10055	4120	9810
150		1766	1177	1697	6377					5592	3875		10202		9810
180										5592			10202		
σmax(kPa)	412	1766	1177	1697	6377	2305	3139	3286	981	5592	3875	4905	10202	4120	9810

en la que, las abreviaturas son P (peso), D (diámetro), H (altura), V (volumen),  $\sigma$  (presión de distensión), t (tiempo de la prueba), y representan las características de las muestras de las pruebas.

5 Las pruebas se realizaron en el laboratorio especializado de la Universidad de Padua y con una instrumentación disponible en el mismo, basándose sustancialmente en la creación en unas condiciones de presión del entorno controladas similares a las que se somete la sustancia en expansión durante la inyección / expansión en cimientos con carga pesada, y determinando eventualmente la presión de distensión de diversas muestras de la prueba obtenidas.

10 Las figuras adjuntas 1 a 3 representan, respectivamente, la presión generada por la expansión de dicha sustancia como función de la densidad de la sustancia en el extremo de la expansión que, tal como se ha mencionado, es proporcional a la densidad del suelo en el que se realiza la inyección, del período de distensión y del volumen - peso.

15 Tal como se puede observar, la presión generada realmente por la expansión de dicha sustancia puede alcanzar y superar los 10.000 kPa.

20 La presión generada por la expansión varía asimismo como función de la temperatura de la sustancia. El gráfico ilustrado representa dos curvas de presión a dos temperaturas distintas, 80 °C y 238,6 °C, respectivam ente.

25 El tiempo de inicio de la expansión se puede cambiar variando la proporción entre los dos componentes de la sustancia en función de los requisitos. Más particularmente, se prefiere un tiempo más corto para la inyección en suelos que pueden provocar dispersiones de la sustancia y períodos más largos (en cualquier caso, preferentemente entre 2 y 7 segundos) para suelos más uniformes y compactos. Los tiempos superiores a 7 segundos pueden ser aptos o útiles en cimientos muy extensos.

30 En función de los requisitos, la sustancia se puede inyectar en los orificios realizados en el suelo en una única etapa de inyección, por lo que el punto de inyección se eleva gradualmente y, por lo tanto, retrae hacia arriba los tubos introducidos en los orificios realizados en el suelo, o se puede inyectar en una pluralidad de etapas provocando la elevación intermitente del punto de inyección, es decir, retrayendo hacia arriba los tubos introducidos en los orificios con pausas intermedias.

35 Si es necesario utilizar simultáneamente la presión generada por la sustancia expandible en una superficie extensa, por ejemplo para elevar estructuras muy grandes y pesadas, o para levantar simultánea y uniformemente la estructura a fin de evitar daños en la misma, la sustancia expandible se inyecta simultáneamente en una pluralidad de orificios, utilizando opcionalmente una pluralidad de bombas.

40 La sustancia expandible, durante la inyección, es muy fluida y, por lo tanto, penetra más fácilmente en las regiones menos densas del suelo. La expansión posterior de la sustancia compacta de este modo más intensamente las zonas menos densas del suelo, mejorando aún más la uniformidad de la densidad del suelo.

45 La rapidez de la expansión de la sustancia inyectada evita en cualquier caso las dispersiones no previstas de la sustancia, delimitando la zona afectada por la expansión con bastante precisión y obteniendo, por lo tanto, una eficacia excelente en la compactación del suelo y en el levantamiento de la estructura. El efecto de empuje sobre el suelo producido por la sustancia durante la expansión se debe a la reacción química de sus componentes, no a la presión hidráulica. Aunque la sustancia expandible se inyecta en el suelo utilizando presión hidráulica, dicha presión se utiliza de hecho únicamente para introducir la sustancia en los puntos previstos.

50 En lo que se refiere a la profundidad de los orificios realizados en el suelo, puede variar en función del procedimiento para compactar el suelo debajo de la estructura sobre la que se pretende actuar.

55 Se especifica en cualquier caso que la expresión "suelo de cimentación" se utiliza para indicar un área cubierta por la cápsula piezosensible, es decir, toda la parte de suelo, debajo de los cimientos, que disipa casi todas las tensiones y esfuerzos provocados por las cargas estática y dinámica, y se calcula para cada caso específico; corresponde generalmente a una profundidad, debajo del plano inferior, comprendida aproximadamente 2 y 3 veces la anchura de dicha cimentación.

60 Para consolidar el suelo de cimentación a fin de subsanar o prevenir la subsidencia del suelo subyacente, se pueden seguir dos procedimientos en función de la situación del suelo.

65 Un primer procedimiento comprende tratar todo el espesor de la cápsula piezosensible y cualquier espesor adicional de las capas compresibles o de carga reducida a fin de realizar la consolidación, para el horizonte sólido, de las capas con una carga suficiente, cualquiera que sea su profundidad. El horizonte sólido se puede identificar mediante el análisis geotécnico del suelo.

En cambio, el segundo procedimiento comprende tratar una capa de suelo (por lo menos equivalente a la cápsula piezosensible) que, por motivos de conveniencia técnica y/o económica, no alcanza el horizonte sólido identificado, que se puede encontrar a una profundidad excesiva, pero que en cualquier caso presenta un espesor suficiente para disipar el peso suprayacente sobre una superficie más amplia.

5 Según la presente invención, si la intervención está destinada a consolidar el suelo de cimentación sin levantar la estructura, por ejemplo, debido a que su rigidez o peso no permiten elevar la misma o simplemente porque este no es el efecto pretendido, se puede alcanzar el grado de consolidación requerido determinando la cantidad de sustancia expandible inyectada, como alternativa a controlar el inicio del levantamiento de la estructura. De hecho,  
10 resulta posible determinar de antemano, mediante los cálculos apropiados, la cantidad de sustancia expandible a inyectar a fin de obtener la consolidación prevista. Si se pretende determinar el grado necesario de consolidación durante las inyecciones realizadas individualmente (un procedimiento que resulta fácil de realizar y permite además alcanzar una consolidación máxima), se puede determinar la cantidad de sustancia expandible a inyectar mediante cálculos matemáticos basados en los datos de estudios geotécnicos apropiados del suelo, en el grado de  
15 consolidación a alcanzar, en las presiones a aplicar y en las densidades resultantes de la sustancia expandible que se pueden alcanzar aplicando dichas presiones y, por último, en los volúmenes necesarios de la sustancia expandible para alcanzar el resultado pretendido. Es indudable que dicho procedimiento es más laborioso y costoso, y está totalmente justificado, considerándose cada caso, por la gran extensión de la intervención.

20 En los suelos poco cargados y en cualquier caso que requiera sobreconsolidación a fin de evitar la subsidencia, se procede inicialmente como en las etapas anteriores y, a continuación se realizan inyecciones adicionales, separando entre sí las inyecciones realizadas anteriormente, en el suelo que ya está (parcialmente) endurecido, sin dejar de repetir el procedimiento de este modo hasta alcanzar los valores requeridos, predeterminados mediante los cálculos geotécnicos apropiados.

25 El suelo que, de este modo, se va volviendo más denso, ejerce más resistencia a la expansión de la sustancia expandible, que al confinarse gradualmente más fuertemente, genera automáticamente unas fuerzas de expansión superiores.

30 Al realizar una sola inyección cada vez, incluso una estructura bastante ligera, habiéndose tensado ya completamente con la carga mediante la elevación producida por las inyecciones iniciales y en el estado de mayor tensión que ha adquirido en este punto, proporciona una presión de contraste muy superior a la carga unidad superior al punto de inyección, lo que añadido a la presión contraste que opone el suelo, que ya se ha vuelto más denso, permite realizar una compresión superior de dicho suelo. Se podría añadir peso a un suelo o estructura para  
35 obtener una presión de contraste superior.

Cuando se alcanza el grado previsto de compactación del suelo, se interrumpe la inyección de la sustancia y la posterior solidificación de la sustancia mantiene establemente los resultados alcanzados.

40 Tal como se ha mencionado anteriormente, la presión que la sustancia puede generar durante la expansión puede alcanzar y superar los 10.000 kPa. Ello significa que la inyección de dicha sustancia debajo de las cimentaciones, opcionalmente en muchos puntos simultáneamente, puede consolidar suelos de cimentación, incluso si esto requiere una presión muy elevada, y ello significa que, por lo tanto, es posible utilizar la técnica descrita anteriormente para intervenciones hasta ahora impensables. Asimismo, se puede llevar un suelo, incluso si está  
45 poco cargado, a un estado de sobreconsolidación con respecto al estado generado por la carga de la estructura, evitando o deteniendo subsidencias de consolidación consideradas hasta ahora intratables con las sustancias que se expanden como consecuencia de una reacción química.

50 Las pruebas penetrométricas se realizaron en suelos de cimentación (tal como se representa en las figuras 4 y 5), tratándose con el procedimiento según la presente invención, debajo de unos edificios muy pesados ubicados en París (cargas generando presiones del suelo) muy superiores a 500 kPa.

55 Las inyecciones se realizaron a 1, 2 y 4, 5 m debajo de la cimentación y la zona tratada presentaba una extensión lineal aproximadamente de 9 m.

Las pruebas penetrométricas demostraron unas resistencias dinámicas mejoradas hasta 10 veces, y más con respecto a los valores iniciales, perfectamente apropiadas para proporcionar la elevación de las estructuras y la consolidación fiable del suelo de cimentación.

60 En su utilización se ha descubierto que el procedimiento según la presente invención alcanza completamente el propósito y los objetivos pretendidos, ya que al utilizar propiedades de las sustancias expandibles del tipo citado anteriormente, hasta ahora desconocidas, se pueden realizar intervenciones de consolidación de suelos de cimentación sin elevación opcional, en particular para prevenir o subsanar subsidencias, para estructuras muy grandes o muy pesadas, y permite asimismo un gran aumento del grado de consolidación (sobreconsolidación) en  
65 suelos de grano fino escasamente cargados.

El procedimiento concebido de este modo es susceptible de numerosas modificaciones y variaciones, encontrándose todas ellas dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.



**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para consolidar suelos de cimentación sin levantar estructuras, que comprende las etapas siguientes:
- 5
- establecer que el suelo de cimentación que va a ser tratado requiere la aplicación de presiones de expansión superiores a 500 kPa con el fin de asegurar la consolidación correcta del mismo;
  - proporcionar una sustancia expandible adaptada para generar, durante la expansión, como consecuencia de una reacción química, en el suelo de cimentación que va a ser tratado, una presión superior a 500 kPa y, preferentemente, unas sustancias que puedan alcanzar e incluso superar una presión de 10000 kPa;
  - establecer una cantidad de dicha sustancia expandible que se debe inyectar para obtener un grado necesario de consolidación del suelo de cimentación durante las inyecciones realizadas individualmente y sin levantar las estructuras, mediante cálculos matemáticos basados en datos de estudios geotécnicos del suelo de cimentación, en las presiones que van a ser aplicadas, en las densidades consecuentes de dicha sustancia expandible que se obtendrán al aplicar dichas presiones, y en los volúmenes de dicha sustancia expandible necesarios para alcanzar el resultado pretendido; e
  - inyectar dentro del suelo de cimentación que va a ser consolidado dicha cantidad de sustancia expandible y generar, durante la expansión de dicha cantidad de sustancia expandible, una presión superior a 500 kPa en el suelo.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la etapa de inyección comprende:
- 25
- producir una pluralidad de orificios en el suelo, estando dichos orificios separados entre sí y encontrándose debajo del frente inferior o cara inferior de los cimientos de la estructura;
  - inyectar dentro del suelo, a través de dichos orificios, una sustancia que se expande como consecuencia de una reacción química y comprende una mezcla de polioles y un isocianato MDI, o una sustancia expandible similar, con un tiempo de inicio de la expansión comprendido sustancialmente entre 2 y 25 segundos y con un aumento potencial del volumen, como consecuencia de la expansión, superior a 5 veces el volumen de la sustancia expandible antes de la expansión;
  - determinar cuándo se alcanza el grado previsto de consolidación del suelo;
  - finalizar la inyección de dicha sustancia expandible cuando se alcanza el grado previsto de consolidación del suelo de cimentación.
3. Procedimiento según las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado porque el grado pretendido de consolidación del suelo se determina midiendo la cantidad de sustancia expandible inyectada.
4. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el tiempo de inicio de la expansión de dicha sustancia expandible se encuentra sustancialmente comprendido entre 2 y 7 segundos.
5. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicha sustancia expandible, durante la expansión, genera una presión sobre el suelo circundante que es proporcional a la tensión opuesta por el suelo y es superior a 500 kPa y puede superar 10000 kPa.
6. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicha sustancia expandible comprende dos componentes: un primer componente constituido por polioli poliéter y/o polioli poliéster, por un catalizador y por agua, y un segundo componente constituido por isocianato MDI.
7. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dichos orificios están formados verticalmente.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 7, caracterizado porque dichos orificios están formados a un ángulo con respecto a la vertical.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 8, caracterizado porque la inyección de dicha sustancia expandible en dichos orificios se realiza simultáneamente en una pluralidad de orificios.
10. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la inyección de dicha sustancia expandible en dichos orificios se realiza de un modo continuo, haciendo que el punto de inyección suba gradualmente a lo largo del orificio correspondiente.

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 10, caracterizado porque la inyección de dicha sustancia expandible en dichos orificios se realiza en una pluralidad de etapas, haciendo que el punto de inyección suba de un modo intermitente a lo largo del orificio correspondiente.
- 5 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 11, caracterizado porque comprende unas etapas adicionales para la inyección de dicha sustancia expandible en unos orificios que se encuentran separados entre los orificios ya utilizados en las etapas de inyección anteriores.
- 10 13. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la sustancia comprende una mezcla de poliols y un isocianato MDI, o una sustancia expandible similar, con un tiempo de inicio de la expansión comprendido sustancialmente entre 2 y 25 segundos y con un aumento potencial de volumen, como consecuencia de la expansión, que es superior a cinco veces el volumen de la sustancia antes de la expansión, y dicha sustancia se inyecta dentro de un suelo de cimentación y crea, tras la expansión, una presión superior a 500 kPa en dicho suelo de cimentación para consolidar dicho suelo de cimentación.
- 15 14. Procedimiento según la reivindicación 13, caracterizado porque dicha sustancia expandible presenta un tiempo de inicio de la expansión comprendido sustancialmente entre 2 y 7 segundos.

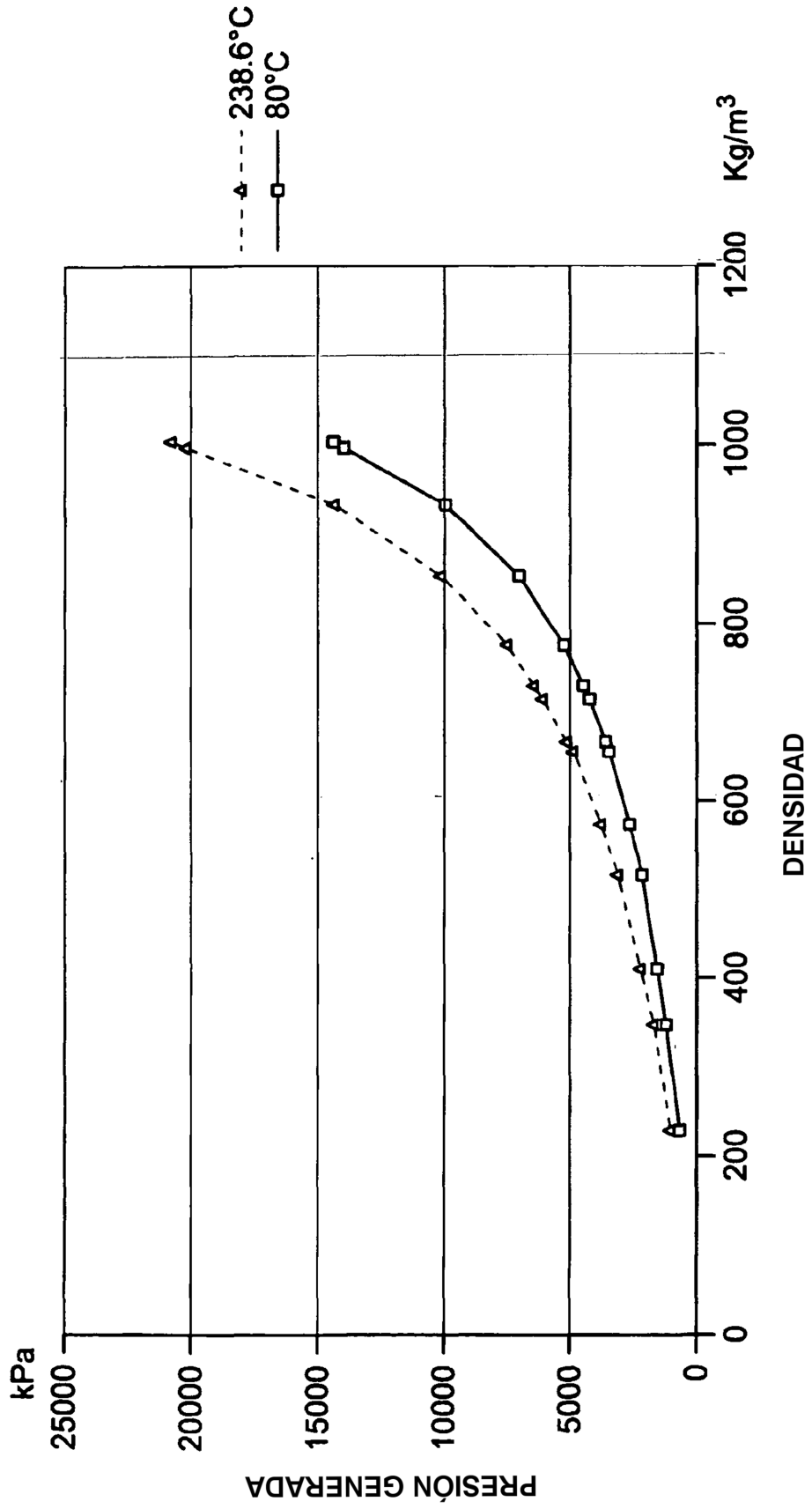
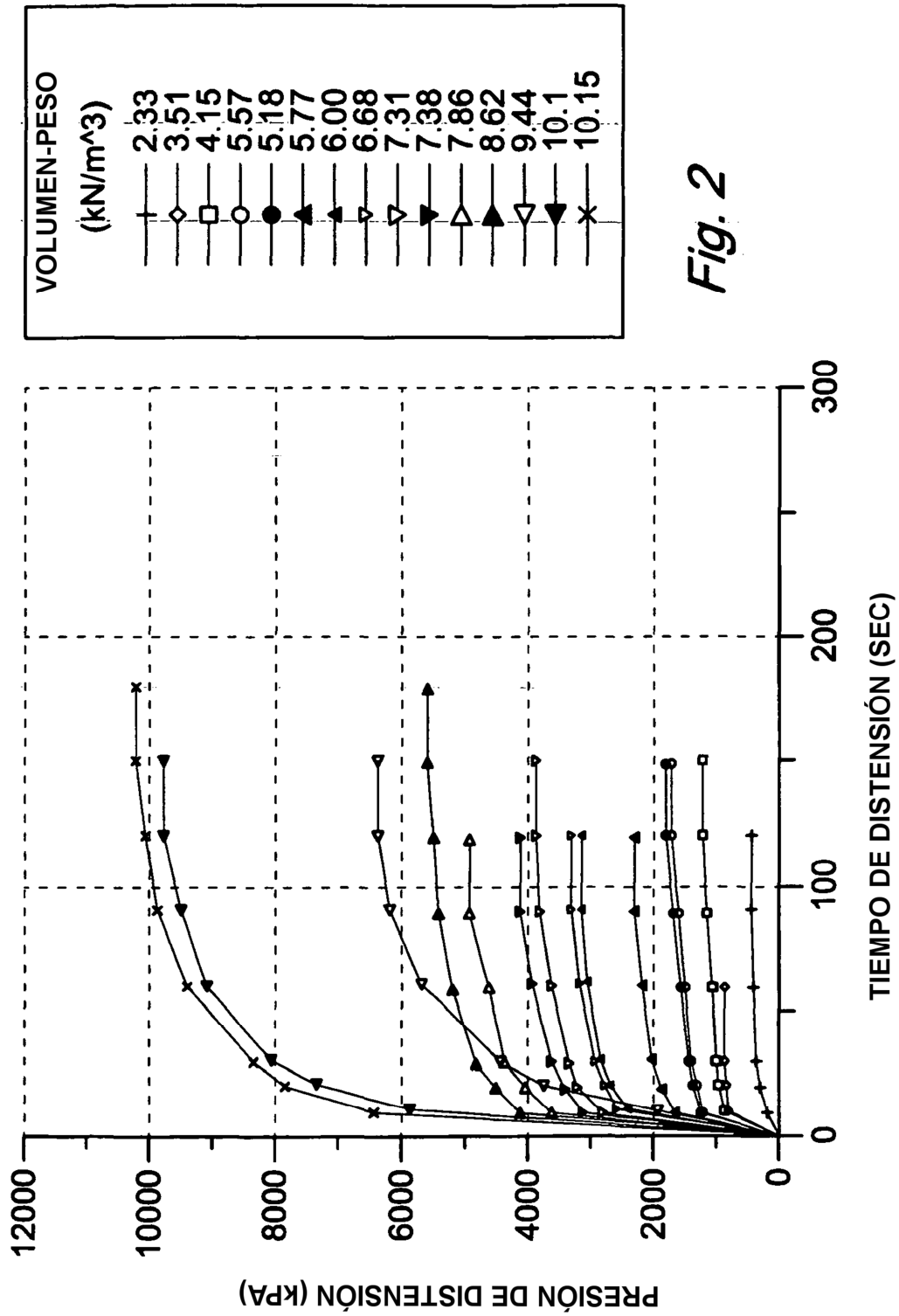


Fig. 1



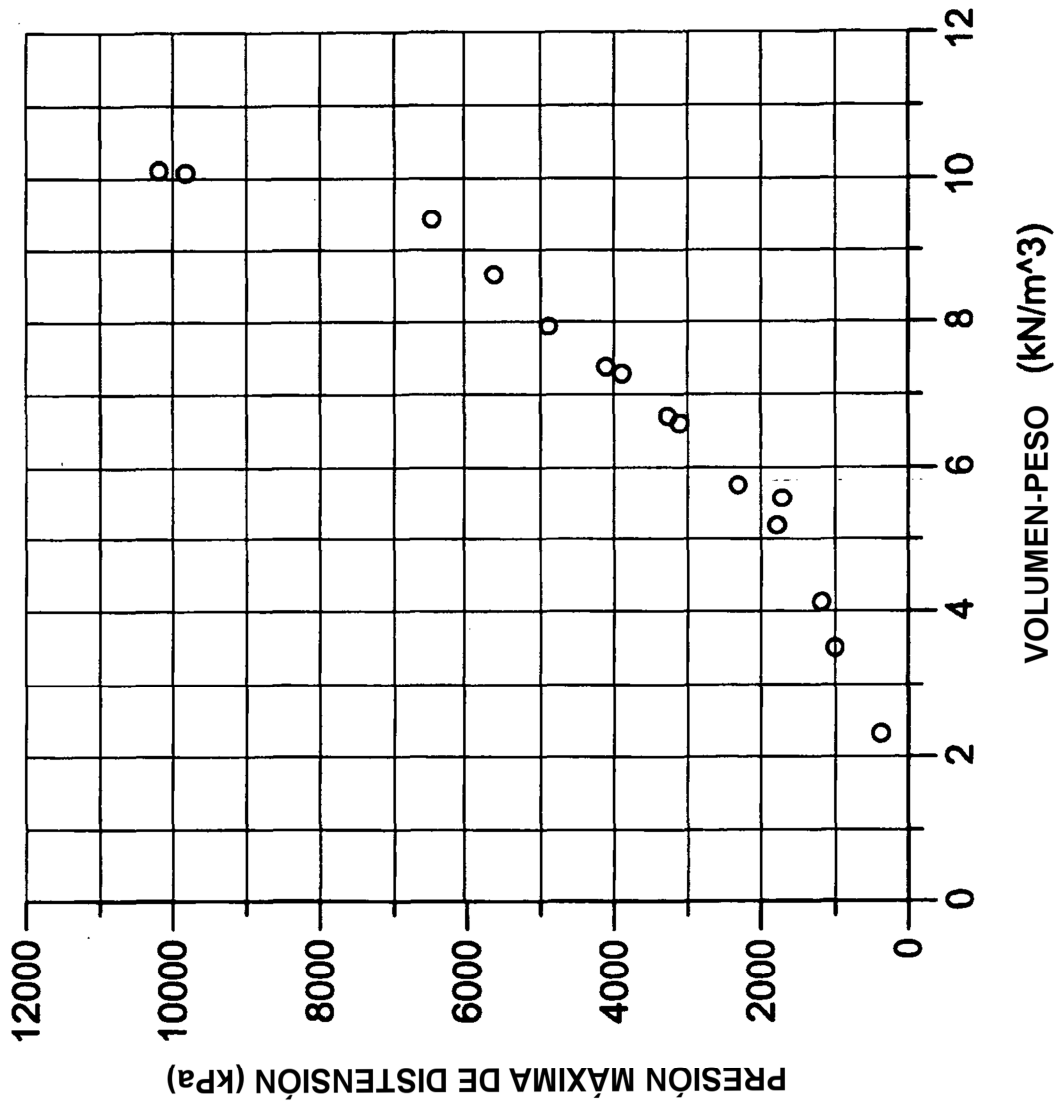


Fig. 3

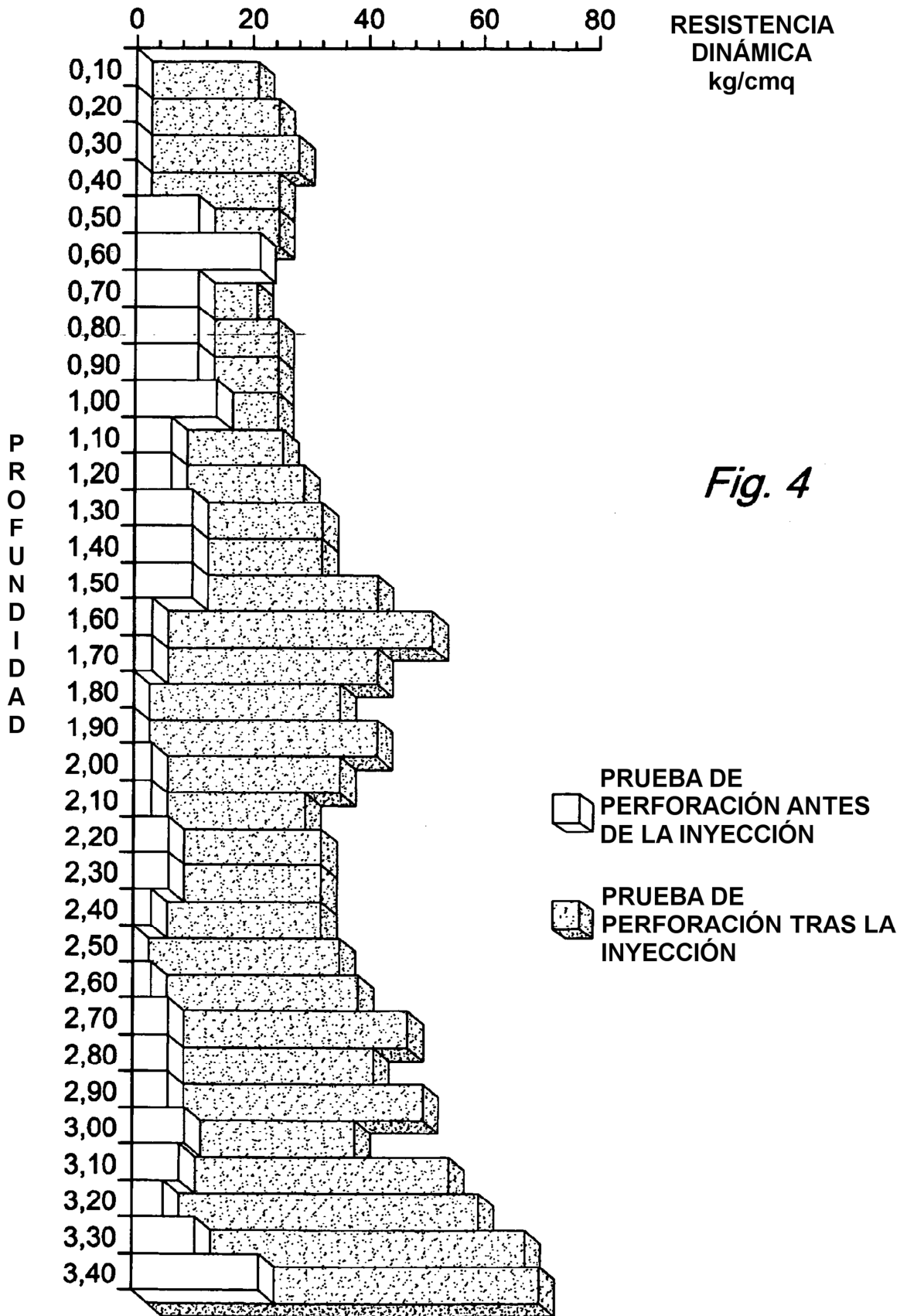
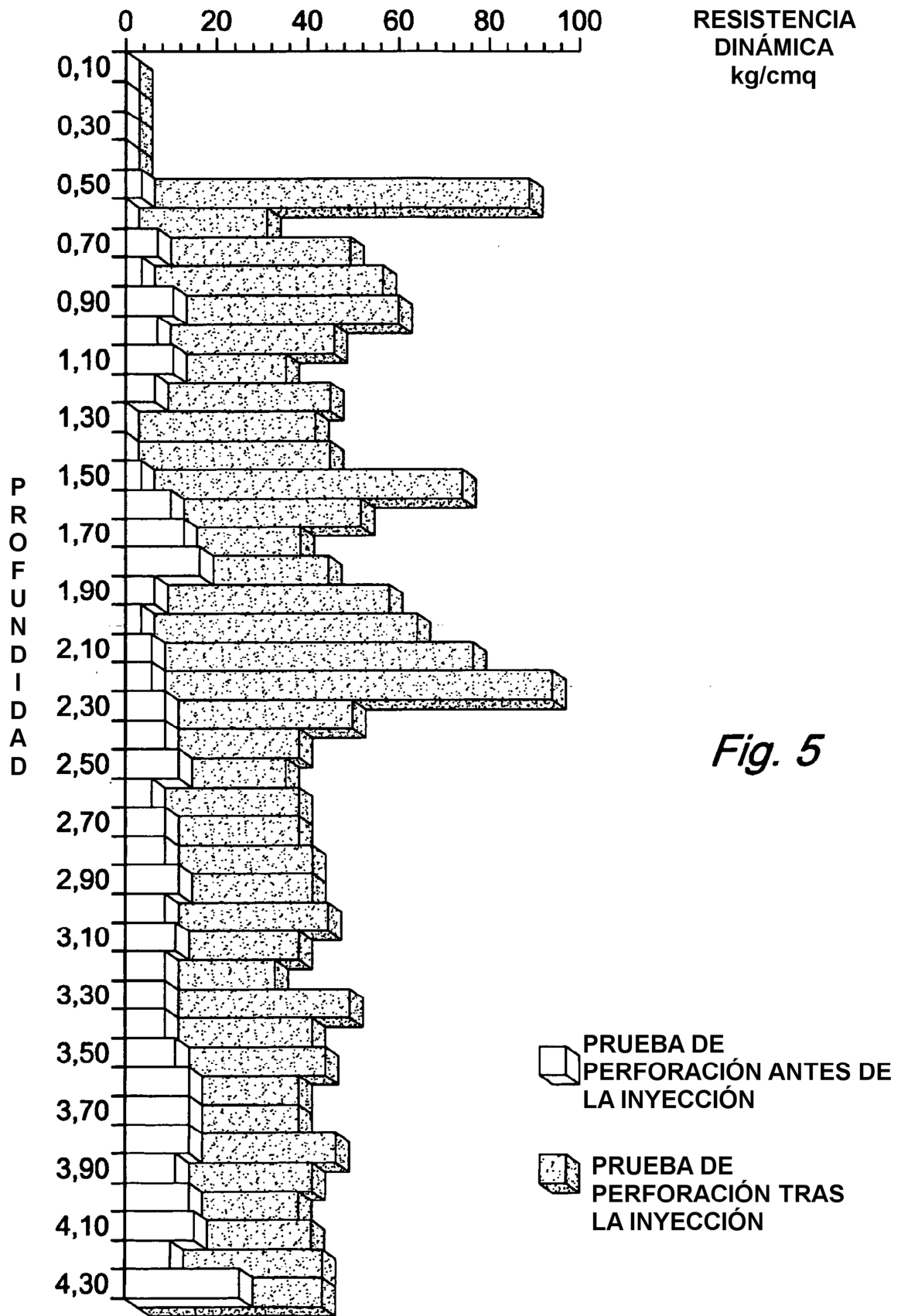


Fig. 4



*Fig. 5*