

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

Registro de la Propiedad Industrial



ESPAÑA

Concedido el Registro de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la Memoria adjunta.

ES

11

NUMERO

469.776

AI

21

22

FECHA DE PRESENTACION

12-5-1978

20 DIC. 1978

PATENTE DE INVENCION

30	PRIORIDADES:	32	FECHA	33	PAIS
31	NUMERO				
	56075/77		16-5-1977		Japón

47	FECHA DE PUBLICIDAD	51	CLASIFICACION INTERNACIONAL	62	PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
			E02D		

64 TITULO DE LA INVENCION

"UN PROCEDIMIENTO DE INYECCION PARA SOLIDIFICAR UN SUELO BLANDO"

71 SOLICITANTE (S)

KYOKADO ENGINEERING CO., LTD. (Case No. 1100)

DOMICILIO DEL SOLICITANTE

15-1, Hongo 3-chome, Bunkyo-ku, Tokyo, Japón

72 INVENTOR (ES)

Kenji Kayahara

73 TITULAR (ES)

74 REPRESENTANTE

DON ALBERTO DE ELZABURU MARQUEZ (P.-69.059)

jga

1

FUNDAMENTO DEL INVENTO

5

10

15

Este invento se refiere a procedimientos en los que se solidifica o consolida un suelo o terreno blando o en un terreno que pierde agua se evita la fuga de agua (empleándose el término "solidificación" en la presente memoria tanto para los términos "solidificación" como para "evitación de fuga de agua") inyectando un líquido solidificante, o un endurecedor, en él, y más particularmente a un procedimiento de inyección en el que se emplea una solución acuosa no alcalina de ácido silícico como líquido de solidificación, y además más particularmente un procedimiento de inyección en el que se emplea una solución acuosa ácida de ácido silícico, que satisfaga ciertas condiciones, como solución acuosa no alcalina de ácido silícico.

20

En el caso en el que se utiliza la gelificación de vidrio soluble para dicho procedimiento de inyección de un terreno, se requiere que el líquido de inyección satisfaga las condiciones siguientes:

25

1. Con el fin de ser aplicable a la mezcla, la inyección, y la permeación en un terreno en el procedimiento de inyección,

30

- (1) el tiempo de gelificación del líquido de inyección debe ser de varias decenas de minutos a varias horas o más,
- (2) su viscosidad debe ser de varios centipoises a 10 cp,
- (3) el valor de pH del líquido de inyección pue-

1 da controlarse exactamente, y  
(4) durante el procedimiento de inyección o un  
procedimiento de mezcla de un reactivo de in-  
yección, no deben separarse bloques de síli-  
5 ce en el líquido de inyección.

2. Con el fin de cumplir los propósitos de solidificación,

- (1) la resistencia a la compresión uniaxial debe  
ser de varios  $\text{kg/cm}^2$  a  $10 \text{ kg/cm}^2$  o superio-  
res,  
10 (2) el líquido de inyección debe estar exento de  
una reducción en la resistencia con el tiem-  
po, y tener excelente durabilidad.  
(3) el líquido de inyección debe ser excelente  
en cuanto a la solidificación en agua, y  
15 (4) el líquido de inyección no debe reducir la  
solidificación de un material de inyección  
tal como lechada de cemento que se emplea  
en combinación.

3. Con el fin de seguir los propósitos de seguridad ambien-  
20 tal, o evitar la contaminación;

1. el líquido de inyección debe ser tal que la  
calidad del agua en la zona de inyección no  
haga exceder el límite alcalino o ácido pre-  
viamente determinado y el valor del límite  
25 orgánico.

Por consiguiente, en un procedimiento convencio-  
nal de inyección de terreno que emplea vidrio soluble,  
se añade un reaccionante en el vidrio soluble, de modo que  
utilice la formación de gel del vidrio soluble en la región  
30 alcalina.

1 Sin embargo, este procedimiento convencional adolece de los inconvenientes siguientes: Con el fin de obtener una resistencia a la solidificación desde varios a 10 kg/cm<sup>2</sup> o superior, la concentración del vidrio soluble debe ser aumentada. Como resultado, el valor de pH del líquido de inyección está necesariamente alrededor de 12 a 11, lo que conduce al trastorno de que las aguas subterráneas se hacen alcalinas.

5  
10 Además, puesto que algo de vidrio soluble permanece sin reaccionar en el gel, la separación de dicho vidrio soluble debido a que tiene lugar su fusión durante un largo período de tiempo de modo continuo, no puede esperarse que dé como resultado trastornos en la estabilidad del cuerpo solidificado, si bien su resistencia se reduce con el paso del tiempo.

15  
20 En general, si una solución acuosa reaccionante ácida se añade gradualmente a una solución acuosa de vidrio soluble mientras se agita, con la concentración de vidrio soluble normalmente empleada en el procedimiento de inyección se obtiene la gelificación en un intervalo en el que el valor de pH es alcalino.

25 Además, incluso si la adición de la solución acuosa de reaccionante ácido se continua adicionalmente hasta que el valor de pH llega a 7 o es ácido, la mezcla estará en estado de solidificación, es decir, ya no tiene fluidez.

30 En el caso en el que la gelificación se utilice en el procedimiento de inyección, siendo el valor de pH de 5 a 8 o neutro, este método es ventajoso porque el valor del pH de las aguas subterráneas no varía y no origina variación en la resistencia con el tiempo. Sin embargo, debe observarse

1 que la resistencia a la compresión uniaxial de la arena  
solidificada es del orden de 1 a varios  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , y el tiempo  
de gelificación está limitado a un período de tiempo  
5 extraordinariamente corto desde un momento hasta varios  
minutos (especialmente en verano, reduciéndose más el tiempo  
de gelificación). El tiempo de gelificación puede aumentarse  
hasta varias decenas de minutos disminuyendo la concentración  
de vidrio soluble; sin embargo, en este caso, la resistencia de la  
arena solidificada se reduce mucho hasta aproximadamente  $1 \text{ kg}/\text{cm}^2$  o menos.

10 Como es evidente de la descripción anterior, es difícil para la lechada que utiliza la gelificación en el intervalo de acidez débil (alrededor de 5) hasta aproximadamente neutralidad (hasta aproximadamente 8) obtener una  
15 resistencia a la solidificación elevada, con la mezcla durante un tiempo de gelificación relativamente largo.

El inventor ha encontrado los hechos siguientes como resultado de una variedad de estudios, que conduce a este invento. Es decir, si se añade el vidrio soluble y se mezcla, deseablemente lanzando un chorro en una solución acuosa de reaccionante ácido, preferiblemente una solución acuosa de un ácido mineral tal como ácido sulfúrico, ácido clorhídrico o ácido fosfórico, a continuación durante la operación de mezcla el ácido silícico del vidrio soluble no se deposita en forma de bloques de sílice, y el álcali del vidrio soluble se separa proporcionando una solución no alcalina de ácido silícico.

Además, se ha encontrado que en ciertas condiciones, es decir, a un pH de 5 o menor y a un valor de  
30  $\frac{[\text{H}^+]}{[\text{SiO}_2]^n}$  de  $1 \times 10^{-3}$  o menor, el valor del pH del agua  
3068

1 - subterránea en el terreno inyectado apenas se cambia por  
el líquido de inyección, que comprende la solución no al-  
calina de ácido silícico. El agua subterránea se mantiene  
a valores de pH típicos de 5,8 a 8,6, aun cuando el líqui-  
5 do de inyección por sí mismo sea ácido. Cuando se emplea  
la solución no alcalina de ácido silícico que satisface  
las condiciones antes mencionadas, es posible proporcionar  
un tiempo de gelificación bastante largo y suficiente resis-  
tencia a la solidificación y resolver problemas inherentes  
10 a lechadas de vidrio soluble tanto en regiones alcalinas  
como neutras.

La razón exacta por la que el terreno, que ha  
sido inyectado con el sol de sílice no alcalino, toma un  
valor de pH ácido no ha sido aclarada, pero se anticipa  
15 que el valor del pH de la solución silícica acuosa es un  
valor aparente cuando se gelifica y la gelificación depen-  
de de este valor de pH y que la sílice coloidal en la so-  
lución acuosa ácida del ácido silícico contiene álcali  
cuando se gelifica la solución, y después de la gelifica-  
20 ción tiene lugar una reacción de neutralización entre dicho  
álcali y el ácido presente en la estructura del gel.

Los experimentos han mostrado que cuando la so-  
lución acuosa no alcalina de ácido silícico, que satisfa-  
ce las condiciones anteriores y es ácida, se gelifica y  
25 cura en agua, el valor de pH del agua de curado es ácido  
al principio y cambia luego gradualmente a neutro. Esto  
sugiere que lo descrito antes es razonable.

Empleando la solución acuosa no alcalina de áci-  
do silícico que satisfaga completamente las condiciones  
30 anteriores, es ahora posible llevar a cabo el procedimien-

1 to de inyección sin dificultades convencionales.

### RESUMEN DEL INVENTO

5

Por consiguiente, es un primer objeto del invento proporcionar un procedimiento de inyección de terreno en el que el tiempo de gelificación de un líquido de inyección es relativamente largo.

10

Un tercer objeto del invento es proporcionar un procedimiento de inyección de terreno como se ha descrito antes, en el que el líquido de inyección es de permeabilidad excelente.

15

Un cuarto objeto del invento es proporcionar un procedimiento de inyección de terreno como se ha descrito antes, en el que se solidifica un cuerpo con lo cual es mayor su resistencia.

20

Un quinto objeto del invento es proporcionar un procedimiento de inyección de terreno como se ha descrito antes, en el que no se forman bloques de sílice.

25

Un sexto objeto del invento es proporcionar un procedimiento de inyección de terreno como se ha descrito antes, en el que el valor del pH del líquido de inyección puede controlarse completamente, y su tiempo de gelificación puede ajustarse exactamente.

30

Se han conseguido los objetos anteriores y otros objetos de este invento, en un aspecto del invento, proporcionando un procedimiento de inyección inyectando una mezcla de lechada del tipo de vidrio soluble en él, en el que dicha mezcla de lechada es una solu-

21078

1 - ción acuosa no alcalina de ácido silícico obtenida mez-  
clando vidrio soluble en una solución acuosa de reac-  
cionante ácido de forma que se elimine el álcali del  
vidrio soluble, y la solución acuosa no alcalina de á-  
5 cido silícico satisfaga la condición siguiente A o tan-  
to las condiciones siguientes A como B.

Condición A: su valor de pH es 5 o menos, y

10 Condición B: un valor de  $\frac{[H^+]}{[SiO_2]^n}$  es  $1 \times 10^{-3}$

o menos, en el que  $[H^+]$  es la concentración molar de  
iones hidrógeno,  $[SiO_2]$  es la concentración molar de  
15 dióxido de silicio y  $n$  es la relación molar del vidrio  
soluble.

Además, los objetos anteriores y otros ob-  
jetos del invento han sido conseguidos, en otro aspek-  
to del invento, proporcionando un aparato de inyección  
20 para inyectar una mezcla de lechada del tipo de vidrio-  
o soluble en él, incluyendo el aparato un mecanismo  
de mezcla para preparar una solución acuosa no alca-  
lina de ácido silícico, comprendiendo dicho mecanis-  
mo de mezcla: recipientes de material para contener ma-  
25 teriales para preparación de la solución acuosa no al-  
calina de ácido silícico; un recipiente de mezcla co-  
nectado por medio de tuberías a los recipientes del  
material, estando adaptado el recipiente para prepa-  
rar la solución acuosa no alcalina de ácido silícico, a-  
ñadiendo y mezclando vidrio soluble en la solución acuosa  
30

1 de reaccionante ácido; un mecanismo de suministro dispues-  
to en cada una de las tuberías, para suministrar los mate-  
riales en los recipientes de material al recipiente de mez-  
cla, en el que, lanzando un chorro de vidrio soluble en la  
5 solución acuosa ácida del reaccionante suministrado en el  
mezclador, es posible mezclar hasta un grado deseable sin  
deposición de bloques de sílice; un detector de pH dispues-  
to opcionalmente en el recipiente de mezcla, para detectar  
un valor de pH de la solución acuosa no alcalina de ácido  
10 silícico; y un regulador de pH opcional conectado operati-  
vamente al mecanismo de suministro y al detector de pH,  
trabajando el regulador para recibir una señal de detección  
producida por el detector de pH, transmitir la señal de  
detección al mecanismo de suministro, y controlar las ope-  
raciones de los mecanismos de suministro de modo que el  
15 valor de pH de la solución acuosa no alcalina de ácido si-  
lícico esté en un intervalo deseado, y que dicha solución  
acuosa satisfaga la condición A siguiente o tanto las con-  
diciones A como B siguientes:

20 Condición A: el valor de pH de la solución acuo-  
sa no alcalina de ácido silícico es 5 o menor, y

Condición B: un valor de  $\frac{[H^+]}{[SiO_2]^n}$  es  $1 \times 10^{-3}$

o menor.

25 En el procedimiento de este invento, empleando  
un flujo de la solución acuosa no alcalina de ácido silíci-  
co a pH 5 o menor y un valor de  $\frac{[H^+]}{[SiO_2]^n}$  de  $1 \times 10^{-3}$  o

30 menor, el valor de pH del agua subterránea en el terreno  
inyectado permanece neutro y no origina contaminación

1 ambiental. Además, el procedimiento de este invento posee  
 características sobresalientes de penetración, resis-  
 5 tencia y durabilidad.

El aparato de inyección citado comprende un me-  
 canismo de mezcla, en el que, lanzando un chorro de vi-  
 5 dro soluble en la solución acuosa ácida del reaccionan-  
 te, se prepara la solución acuosa no alcalina de ácido sí-  
 lícico, que tiene valores deseados de pH y de  $\frac{[H^+]}{[SiO_2]^2}$

10 así como características sobresalientes como reaccionante  
 de inyección. Este mecanismo de mezcla contribuye mucho a  
 practicar con éxito el procedimiento de lechada de dicha  
 solución no alcalina. Un detector de pH puede equiparse  
 al mecanismo de mezcla con el fin de proporcionar fácil-  
 15 mente el gel de sílice no alcalino a valores de pH y  
 $\frac{[H^+]}{[SiO_2]^n}$  deseados.

La naturaleza, principio y utilidad de este in-  
 vento se hará más evidente de la descripción detallada si-  
 20 guiente y de las reivindicaciones que se acompañan cuando  
 se lee junto con los dibujos que se acompañan que se pro-  
 porcionan para una descripción de las realizaciones del  
 aparato de inyección de acuerdo con este invento.

#### BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

25 En los dibujos que se acompañan:

Las Figuras 1 y 2 son diagramas explicatorios  
 que ilustran realizaciones de un aparato de inyección  
 para poner en práctica el procedimiento de acuerdo con  
 30 este invento.

1                    DESCRIPCION DETALLADA DEL INVENTO

El aspecto más específico de este invento reside en que primero de todo, se prepara una solución acuosa de reaccionante ácido, y luego se lanza un chorro de vidrio soluble en la solución acuosa agitándose mientras a elevada velocidad de modo que se mezclen ambos, proporcionando con ello una solución acuosa no alcalina de ácido silícico obtenido separando álcali del vidrio soluble, y que la solución acuosa así proporcionada se ajusta a un pH de 5 o menor y a un valor de  $\frac{[H^+]}{[SiO_2]^n}$  de  $1 \times 10^{-3}$  o menor.

En la preparación de la solución acuosa ácida de ácido silícico adecuada para el procedimiento de inyección, en la que no se depositan bloques de sílice, por empleo de vidrio soluble concentrado, el sistema de mezcla con chorro es muy importante. Cuando no se emplea este sistema, se depositan fácilmente los bloques de sílice incluso si la solución se agita fuertemente. Con el fin de preparar dicha solución acuosa ácida que tiene un pH de 5 o menor y un valor de  $\frac{[H^+]}{[SiO_2]^n}$  de  $1 \times 10^{-3}$  o menor y cuyo tiempo de gelificación es bastante largo sin deposición de bloques de sílice, es deseable que se satisfagan las condiciones siguientes:

- 25                    a) El vidrio soluble debe añadirse a la solución acuosa ácida por mezcla con chorro;
- b) En la solución acuosa ácida, se emplea como acidificador un ácido mineral tal como ácido sulfúrico, clorhídrico o fosfórico. (Se forman bloques de sílice si se
- 30                    emplea una solución ácida de sales de ácidos que contienen

1 iones metálicos);

5 c) La solución acuosa de vidrio soluble o una sal alcalina tal como carbonato o bicarbonato se emplea como agente ajustador de pH, cuando se prepara la solución ácida de valor de pH inferior y a continuación la solución se ajusta a un pH deseado por medio del agente ajustador del pH.

10 Esto contribuye mucho a que sea más eficaz el procedimiento de inyección de la solución acuosa no alcalina de ácido silícico y a hacer práctico dicho procedimiento.

15 En el caso de la solución acuosa no alcalina del ácido silícico así obtenido, durante la operación de mezcla el dióxido de silicio no se deposita en forma de un bloque, y la viscosidad de la solución acuosa es relativamente baja. Además, después de pasar un período de tiempo suficientemente largo para la permeación de la solución acuosa en el terreno, se deposita toda la cantidad de dióxido de silicio en el vidrio soluble, lo que conduce a la solidificación de la solución acuosa. Por consiguiente, la solución  
20 acuosa no alcalina de ácido silícico tiene una resistencia a la solidificación alta, y una permeabilidad excelente debido a su baja viscosidad, como se describió, y nunca será obturada entre las partículas del suelo (teniendo también excelente solidificación en agua). Además, puesto que la  
25 solución acuosa es ácida, es decir el valor de pH es 5 o menor, su tiempo de gelificación puede hacerse relativamente largo incluso si se emplea vidrio soluble concentrado. Por consiguiente, la mezcla en el mezclador puede realizarse exactamente, el valor del pH del líquido de inyección  
30 puede controlarse completamente y el tiempo de gelificación

1 puede ajustarse o establecerse de forma segura. Además,  
 la solución acuosa es capaz de gelificar por sí misma, y  
 por consiguiente gelificar en un período de tiempo previa-  
 mente determinado. Por consiguiente, la solución acuosa se  
 5 deja fugarse escasamente en el agua subterránea. Incluso si  
 la solución acuosa es en sí misma ácida, su tendencia a  
 llevar el valor de pH del agua subterránea al lado ácido  
 es extremadamente baja. Es decir, la solución acuosa tiene  
 características únicas de que el valor de pH del agua sub-  
 10 terránea se mantiene dentro del intervalo normal de agua  
 para las aguas residuales, es decir, pH 5,8-8,6 de acuerdo  
 con los reglamentos. Normalmente, la solución acuosa se  
 mantiene a un valor de pH más neutro que 5,8. Las caracte-  
 rísticas deben ser muy apreciadas desde el punto de vista  
 15 de seguridad de la calidad del agua. (Las características  
 son más significativas especialmente cuando el valor de  
 $\frac{[H^+]}{[SiO_2]^n}$  es  $1 \times 10^{-3}$  o menor).

20 Con el fin de que la solución acuosa no alcalina  
 antes descrita de ácido silícico mantenga positivamente la  
 variedad de características antes descritas, es necesario  
 ajustar el valor de  $X = \frac{[H^+]}{[SiO_2]^n}$  a  $1 \times 10^{-3}$  o menos. Es  
 decir, en base al hecho de que las características del lí-  
 25 quido de inyección no se determinan simplemente por la com-  
 posición, concentración, valor de pH, etc del vidrio solu-  
 ble, pero estos elementos se relacionan sintéticamente con  
 otros para determinar las características, el inventor ha  
 encontrado que si se supone que un factor relacionado sin-  
 30 téticamente con los elementos antes mencionados está repre-

1 representado por  $X = \frac{[H^+]}{[SiO_2]^n}$ , cuando este valor X es  $1 \times 10^{-3}$   
 o menos, especialmente está en el intervalo de  $1 \times 10^{-3}$  a  
 5  $1 \times 10^{-6}$ , el líquido de inyección tendrá características  
 considerablemente excelentes.

En otras palabras, de acuerdo con el estudio del  
 inventor, se ha encontrado que la solución acuosa no alcalina de ácido silícico que es capaz de gelificar por sí  
 misma y cuyo  $X = \frac{[H^+]}{[SiO_2]^n}$  es  $1 \times 10^{-3}$  o menos y especial  
 10 mente está en el intervalo de aproximadamente  $1 \times 10^{-3}$  -  
 $1 \times 10^{-6}$ , muestra características sobresalientes que satisfacen una variedad de condiciones requeridas en el procedi  
 miento de inyección, especialmente en el efecto sobre el  
 15 valor del pH del agua subterránea, la solidificación en  
 agua, y la durabilidad del cuerpo solidificado.

Como será evidente de los experimentos descritos  
 más adelante, cuando  $X > 1 \times 10^{-3}$ , las aguas subterráneas  
 son susceptibles de volverse ácidas, y la solidificación  
 20 en agua se disminuye. Por otro lado, cuando  $X < 5 \times 10^{-6}$ ,  
 es difícil mantener el tiempo de permeación adecuado, y  
 aumenta la viscosidad. Por lo tanto, en el intervalo de  
 $1 \times 10^{-3} > X > 5 \times 10^{-6}$ , puede obtenerse una resistencia  
 significativamente elevada y un tiempo de permeación sufi  
 25 cientemente largo y a pesar del hecho de que la solución  
 acuosa sea ácida, el valor de pH de las aguas subterráneas  
 cambia poco y se mantiene en el intervalo de pH 5,8-8,6  
 típico de las aguas residuales, y además también se mantie  
 ne sin cambiar la durabilidad.

30 La Tabla 1 indica los valores de X respecto al

1 pH,  $[H^+]$ , y  $[SiO_2]$  en el caso en que se emplea el vidrio soluble que tenga una relación molar de 3. En esta Tabla, el vidrio soluble empleado tiene los datos siguientes:

- 5  $SiO_2$ ; 29,1% (M = 60)
- $Na_2O$ ; 10,0%
- n; 3,0
- Densidad relativa: 1,4 (20°C).

De acuerdo con el estudio del inventor, la solución acuosa no alcalina de ácido silícico muestra características sobresalientes cuando satisface dos condiciones; es decir, pH = 5 o menos, y  $X = 1 \times 10^{-3}$  o menos, preferiblemente pH = 2 - 5, y  $1 \times 10^{-3} > X > 5 \times 10^{-6}$ . Los resultados de los ensayos realizados por el inventor, algunos de los cuales se describen más adelante, están indicados en la Tabla 1. En la Tabla 1, la zona rodeada por la línea gruesa (2 líneas) se intenta que signifique el intervalo de dichas soluciones acuosas en las que el valor de pH es más ácido que 5 con  $1 \times 10^{-3} > X > 5 \times 10^{-6}$ .

Tabla 1

pH	$[H^+]$	$X = [H^+] / [SiO_2]^3$				
		0,66	1,02	1,36	2,04	3,40
1	$10^{-1}$	$3,45 \times 10^{-1}$	$9,43 \times 10^{-2}$	$3,97 \times 10^{-2}$	$1,18 \times 10^{-2}$	$2,55 \times 10^{-3}$
2	$10^{-2}$	$3,45 \times 10^{-2}$	$9,43 \times 10^{-3}$	$3,97 \times 10^{-3}$	$1,18 \times 10^{-3}$	$2,55 \times 10^{-4}$
3	$10^{-3}$	$3,45 \times 10^{-3}$	$9,43 \times 10^{-4}$	$3,97 \times 10^{-4}$	$1,18 \times 10^{-4}$	$2,55 \times 10^{-5}$
4	$10^{-4}$	$3,45 \times 10^{-4}$	$9,43 \times 10^{-5}$	$3,97 \times 10^{-5}$	$1,18 \times 10^{-5}$	$2,55 \times 10^{-6}$
5	$10^{-5}$	$3,45 \times 10^{-5}$	$9,43 \times 10^{-6}$	$3,97 \times 10^{-6}$	$1,18 \times 10^{-6}$	$2,55 \times 10^{-7}$
6	$10^{-6}$	$3,45 \times 10^{-6}$	$9,43 \times 10^{-7}$	$3,97 \times 10^{-7}$	$1,18 \times 10^{-7}$	$2,55 \times 10^{-8}$
7	$10^{-7}$	$3,45 \times 10^{-7}$	$9,43 \times 10^{-8}$	$3,97 \times 10^{-8}$	$1,18 \times 10^{-8}$	$2,55 \times 10^{-9}$

1 Este invento se describirá con referencia a los  
dibujos que se acompañan, en los que las Figuras 1 y 2 son  
diagramas explicatorios que ilustran los Ejemplos de un  
aparato para practicar un procedimiento de inyección de  
5 acuerdo con este invento.

El aparato comprende un mecanismo de mezcla I  
para preparar una solución acuosa no alcalina de ácido si-  
lícico, un mecanismo de tubería de inyección III y un mé-  
canismo de transporte o transferencia II. Un ejemplo real.  
10 o concreto de este mecanismo de transporte II es por ejem-  
plo, una bomba de inyección.

El mecanismo de mezcla I comprende recipientes de  
material 1, 1' y 1" , un recipiente de mezcla 2, mecanis-  
mos de suministro 3, 3' y 3" . La solución acuosa no alca-  
15 lina de ácido silícico se prepara de acuerdo con las etapas  
siguientes: primero, el vidrio de agua, el reaccionante  
ácido y el agua se colocan en los recipientes de material  
1, 1' y 1" , respectivamente. A continuación, se descargan  
el reaccionante ácido y el agua en el recipiente de mezcla  
20 respectivamente de los recipientes de material 1' y 1"  
por las tuberías 6' y 6" , con lo que se prepara la solu-  
ción acuosa de reaccionante ácido en el recipiente de mez-  
cla 2.

Puesto que los mecanismos de suministro 3' y 3"  
25 están dispuestos en las trayectorias de las tuberías 6' y  
6" , respectivamente, el reaccionante ácido y el agua se  
descargan en el recipiente de mezcla 2 por la operación de  
estos mecanismos de suministro. Como mecanismo de suminis-  
tro puede emplearse por ejemplo, una válvula de paso o una  
30 bomba de suministro. A continuación, el vidrio soluble se

1 -añade al reaccionante ácido en el recipiente de mezcla 2,  
y la solución acuosa no alcalina de ácido silícico se pre-  
para mezclando estos dos materiales. El vidrio soluble,  
como se describió antes, se lanza en forma de chorro en la  
5 solución acuosa de reaccionante ácido desde un dispositivo  
de chorro 7 por el recipiente de material 1 y la tubería 6  
por la operación del mecanismo de suministro 3. El disposi-  
tivo de chorro 7 se forma proporcionando aberturas de cho-  
rro 8 en la parte final o en la pared lateral de la tubería  
10 6. Las aberturas de chorro 8 son agujeros o boquillas abier-  
tas hacia el interior del recipiente de mezcla 2, y se adap-  
tan para proporcionar corrientes de chorro de vidrio solu-  
ble. Si la presión de chorro es de 0,5-30 kg/cm<sup>2</sup>, y prefe-  
riblemente de varios kg/cm<sup>2</sup> controlando el mecanismo de  
15 suministro 3, es suficientemente posible dejar que se añ-  
da el vidrio soluble y se mezcle con la solución acuosa de  
reaccionante ácido. Sin embargo, es evidente que puede al-  
canzarse suficiente mezcla de estos materiales empleando un  
agitador 9 que trabaje a elevada velocidad con lanzamiento  
20 de chorro.

Además, es posible emplear un dispositivo de cho-  
rro 7' que tenga un agujero de chorro 8' abierto en la pa-  
red lateral del recipiente de mezcla 2, en lugar del dispo-  
sitivo de chorro 7.

25 Como se ha descrito antes; el método de mezcla en  
el que se añade vidrio soluble lanzando un chorro en la so-  
lución de reaccionante ácido, es un factor muy importante  
para incorporar el vidrio soluble, empleando dicho procedi-  
miento el sol de sílice no alcalino de uso práctico. Este  
30 método hace posible producir la lechada por empleo del sol

1 de sílice no alcalina que no deposita bloques de sílice.  
Es imposible evitar la formación de dichos bloques cuando  
se añade un ácido al vidrio soluble y se agita, o cuando  
se añade el vidrio soluble a la solución acuosa ácida y se  
5 agita simplemente.

De acuerdo con este invento, el mecanismo de mezcla I puede estar provisto de un detector de pH 4 y de un regulador de pH 5.

10 En esta operación, el valor del pH de la solución acuosa no alcalina del ácido silícico en el recipiente de mezcla 2 se controla por el detector de pH 4. Las variaciones en el valor de pH se transmiten al regulador 5. Cuando el valor del pH alcanza un valor predeterminado, el regulador 5 produce una orden por la que se cierra el mecanismo  
15 de suministro 3, suspendiendo el suministro del vidrio soluble, con lo que puede obtenerse la solución acuosa no alcalina de ácido silícico que tenga un valor de pH deseado. La solución acuosa no alcalina así obtenida se inyecta en el suelo a través del mecanismo de transporte II.

20 Alternativamente, el ajuste del valor de pH puede conseguirse de acuerdo con el procedimiento siguiente: Como se muestra en la Figura 2, una solución acuosa no alcalina de ácido silícico que tiene un valor de pH muy próximo al deseado se prepara primero en un recipiente de mezcla 2. A continuación, la solución acuosa así preparada se  
25 coloca en otro recipiente de mezcla 2', en donde de forma similar como el caso que se ha descrito antes, se deja añadir el agente ajustador de pH a la solución acuosa en el recipiente de mezcla 2' desde un recipiente de material  
30 1" a través de un dispositivo de chorro 7" con aberturas

1 de chorro 8" o un dispositivo de chorro 7" con aberturas  
de chorro 8" de modo que el valor del pH de la solución  
se ajuste exactamente al valor deseado. Como resultado,  
puede ser posible cambiar el tiempo de gelificación de di-  
5 cha solución acuosa a un tiempo de gelificación deseado.

Este invento se describirá adicionalmente con re-  
ferencia a una variedad de experimentos:

#### Experimento 1

10 Se prepara un líquido ácido empleando ácido sul-  
fúrico concentrado como reaccionante ácido. Se mezcla un vi-  
drio soluble con  $n = 3$  con el líquido ácido del modo antes  
mencionado, preparando con ello una solución acuosa no al-  
calina de ácido silícico.

15 Los datos experimentales que se refieren a la re-  
lación entre la relación de ácido sulfúrico (98%) al vidrio  
soluble (solución no diluida) y el valor del pH de la so-  
lución acuosa de ácido silícico no alcalina se indican a  
continuación:

20

$\alpha$	0,175	0,164	0,160	0,157
pH	1,0	1,3	2,4	3,0

25 En donde  $\alpha = \frac{\text{Acido sulfúrico (98\%)}}{\text{Vidrio soluble (n = 3)}}$  (relación  
en peso).

Así pues, pueden prepararse dichas soluciones  
acuosas cuando se desee estando su valor de pH en un inter-  
valo menor que 5.

30

En general, el tiempo de gelificación de la solu

1 ción acuosa de ácido silícico no alcalina está en buena  
correspondencia con su valor de pH. Sin embargo, como es  
evidente de la relación entre  $\alpha$  y el pH antes indicados,  
es casi imposible ajustar exactamente el valor de pH varian  
5 do las cantidades de vidrio soluble y del reaccionante áci  
do. Es decir el valor de pH varía en un amplio grado por  
una pequeña diferencia de la cantidad de cada uno del vi-  
drio soluble y el reaccionante ácido empleados, y por con-  
siguiente el tiempo de gelificación es también fluctuante  
10 en un amplio grado. Con el fin de superar esta dificultad,  
en el primer procedimiento se determina aproximadamente el  
valor de pH por mezcla midiendo principalmente el vidrio  
soluble y el reaccionante ácido, y a continuación en el se-  
gundo procedimiento se controla el tiempo de gelificación,  
15 controlando principalmente el valor de pH con un pH - metro  
mientras se añade el agente ajustador de pH. Dicho proce-  
dimiento hace fácil aplicar una gelificación de la solución  
acuosa de ácido silícico ácida a un procedimiento de inyec-  
ción para solidificar un terreno.

20 De acuerdo con este método, se emplea ácido sul-  
fúrico como reaccionante ácido en el intervalo de  $\text{SiO}_2$  como  
se muestra a continuación y se prepara una mezcla que tenga  
un valor de pH de aproximadamente 2,5 en el primer procedi-  
miento. A continuación, en el segundo procedimiento, se  
25 ajusta más exactamente el valor del pH empleando un agente  
ajustador de pH como bicarbonato de sodio o vidrio soluble.  
Empleando el ácido silícico ácido resultante, se solidificó  
arena fina, y se midió su resistencia a la compresión uni-  
axial una semana después.

30 Clasificación de la concentración de  $\text{SiO}_2$  (con-

1 - concentración molar)

	SiO <sub>2</sub>
a.	0,66 - 1,02
b.	1,02 - 1,36
c.	1,36 - 2,04
d.	2,04 - 3,40

5  
10 En la Tabla 2 siguiente se muestran el intervalo del tiempo de gelificación y el intervalo de resistencia respecto al pH y al  $\lceil \text{SiO}_2 \rceil$ . (n = 3,0).

Tabla 2

		Intervalo de tiempo de gelificación (minutos (')) (20°)			
pH	$\lceil \text{SiO}_2 \rceil$	0,66 - 1,02	1,02 - 1,36	1,36 - 2,04	2,04 - 3,40
	2 - 3		-1900'	- 620'	- 130'
3 - 4		9000' - 100'	1900' - 33'	620' - 7'	130' - 0
4 - 5		500' - 5'	100' - 2'	33' - 2'	7' - 0
5 - 6		20' - 0	5' - 0	2' - 0	
6 - 7		1' - 0			
Resistencia qu(kg/cm <sup>2</sup> )		1,0 - 2,5	2,5 - 5	5 - 10	10 - 18

25 Será evidente de la Tabla 2 que el tiempo de gelificación es relativamente corto y la resistencia es también relativamente baja cuando el valor de pH está en el intervalo de 5 a 7. En contraste, el tiempo de gelificación es relativamente largo y la resistencia relativamente alta en el intervalo en el que el valor del pH es menor que

1 -5.

Experimento 2

Con el fin de ver como varía el valor de pH de las aguas subterráneas en la práctica de este invento, se colocó arena fina en un depósito de agua de 30 cm de ancho, 1 metro de largo y 30 cm de alto, y se formó una capa de agua subterránea con agua de pH 7. A continuación, un bloque de arena fina de 10 cm de ancho, 30 cm de largo y 30 cm de grueso solidificado por la solución acuosa no alcalina de ácido silícico se empotró en una parte final del interior de la arena fina en el depósito de agua. Se tomó una muestra de agua de la otra parte final para medir su valor de pH una semana más tarde. Con respecto a esto debe observarse que dicha solución acuosa se preparó de acuerdo con el experimento 1. Las cuestiones siguientes pueden entenderse a partir de la Tabla 3: En el caso en el que se inyecta solución acuosa no alcalina de ácido silícico, el valor de pH del agua subterránea cambia más o menos a ácida, pero está mucho más cerca del valor neutro que el valor de pH de la mezcla, y el grado en el que cambia el valor del pH del agua subterránea a ácido varía mucho dependiendo del intervalo en el valor de "X" de la mezcla. En el caso en el que el valor de "X" sea mayor que  $1 \times 10^{-3}$ , el grado en el que el agua subterránea se hace ácida es relativamente mayor; sin embargo, en el caso en el que el valor de "X" de la mezcla es menor que  $1 \times 10^{-3}$ , el valor del pH del agua subterránea es mayor que 5,8 en todos los momentos, que es el valor de pH especificado por la regulación de la calidad del agua. Además, la condición en la distribución de los valores de pH mayores de 5,8 puede ver-

1 se en la Tabla 3.

El inventor ha encontrado como resultado de varios estudios que la solución acuosa de ácido silícico dentro de dicho intervalo de pH muestra valores de pH ácidos antes de la gelificación, pero, después de la gelificación, cuando el gel está sumergido en el agua, el valor del pH del agua se mueve indudablemente hasta un valor neutro con el paso del tiempo, aunque muestra valores ácidos al principio.

10 Por ejemplo, este experimento mostró que los valores de pH del agua de curado en el terreno inyectado, con dicha solución acuosa de  $[\text{SiO}_2] = 2,04$  y  $\text{pH} = 2,5$  cambió a 4,8, 5,4, 5,8, 6,0 y 6,3 después de 1, 3, 5, 7 y 30 días, respectivamente.

15

### Experimento 3

Se inyectaron  $200 \text{ cm}^3$  de la mezcla en el suelo en un depósito de agua por medio de un dispositivo de inyección simulado. La mezcla se preparó de acuerdo con el experimento 1.

20 Una semana más tarde, se midió el volumen del cuerpo solidificado, con lo que en el caso de inyectar la mezcla en el suelo bajo la superficie del agua subterránea se midió la relación de la cantidad de suelo solidificado a la cantidad de la mezcla.

25

$$\begin{aligned} \text{Velocidad de solidificación } \beta &= \\ &= \frac{\text{Cantidad de suelo solidificado}}{\text{Cantidad de mezcla}} \\ &\quad (\text{relación en volumen}) \end{aligned}$$

30

Los datos resultantes se indican en la Tabla 4.

1 De la Tabla 4, se ve que pueden obtenerse elevadas velocidades de solidificación cuando el valor de pH de la mezcla es 5 o menor y  $X < 10^{-3}$ . Además, de la Tabla 4, puede verse que la distribución de las velocidades de solidificación  $\beta$  es mayor que 2,5.

#### Experimento 4

10 Se prepararon soluciones acuosas no alcalinas de ácido silícico de acuerdo con el método empleado en el experimento 1, y se inyectaron en arena fina en moldes por medio de una bomba accionada a mano, para la provisión de muestras. Utilizando estas muestras, se midieron las resistencias a la compresión uniaxial de las arenas solidificadas con el paso del tiempo.

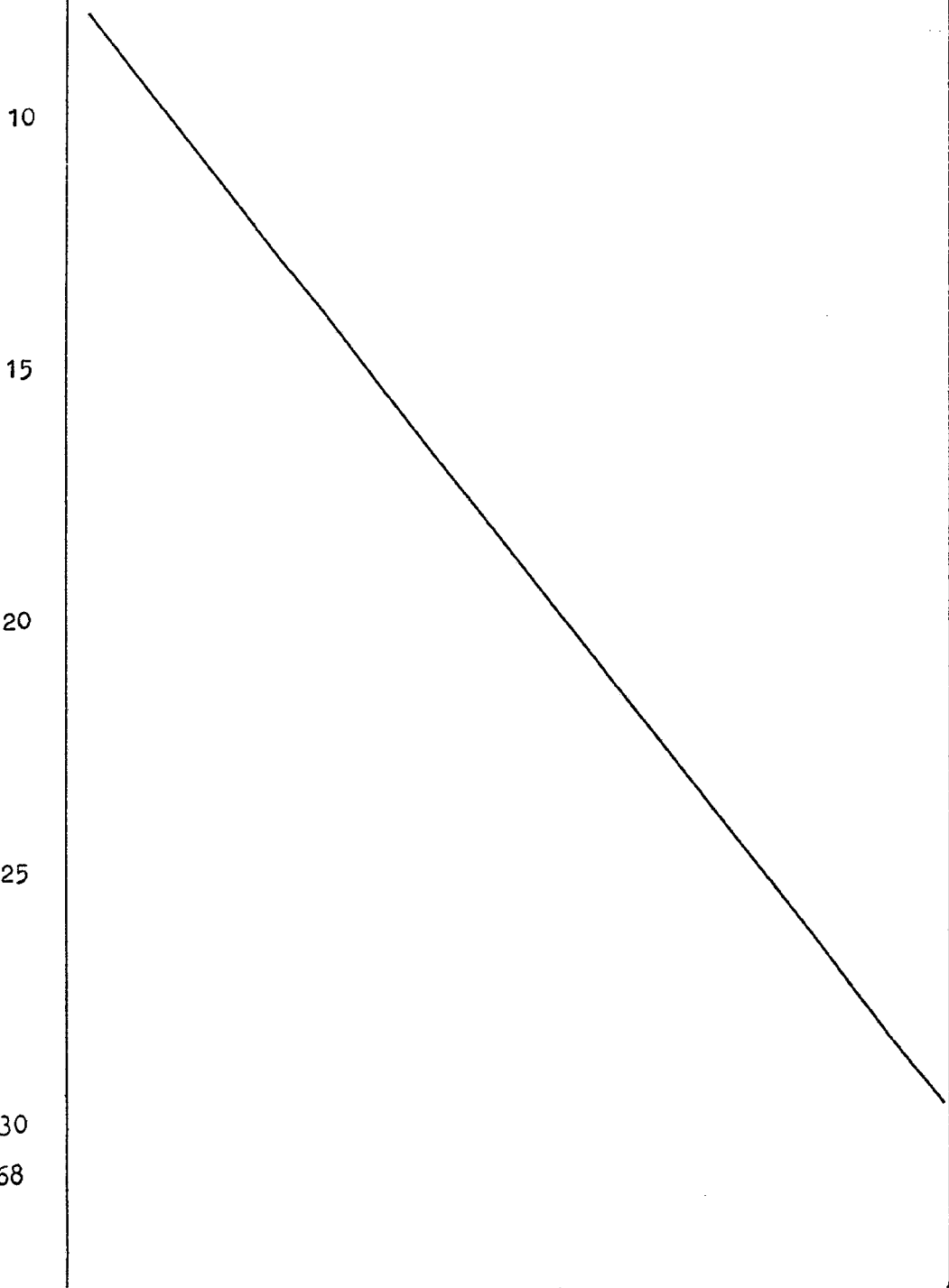
15 Las preparaciones, viscosidades iniciales y resistencias a la compresión uniaxial de las soluciones acuosas no alcalinas de ácido silícico empleadas para las muestras se indican en la Tabla 5, experimentos 1 a 5.

20 Los ejemplos de mezclas en la región alcalina que emplean ácido sulfúrico como su reaccionante se indican en la Tabla 5, experimentos 6 a 10.

25 De la Tabla 5, se ve que la solución acuosa de acuerdo con este invento es de viscosidad baja, y durabilidad considerablemente alta, y que su resistencia aumenta con el paso del tiempo.

30 Los reaccionantes ácidos empleados en este invento son ácidos no orgánicos tales como ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido nítrico, y ácido fosfórico; ácidos orgánicos tales como ácido fórmico, ácido acético y ácido succínico; sales ácidas tales como cloruro de aluminio, sul

1 -fato de aluminio, fosfato monocálcico, fosfato monosódico  
e hidrogenosulfato sódico; y materiales tales como éster,  
amidas y aldehidos tales como por ejemplo glioxal, que dan  
lugar a hidrólisis en presencia de álcalis proporcionando  
5 radicales ácidos; materiales que muestran valores de pH áci  
do en un estado de solución, tal como dióxido de carbono  
gaseoso.



3068

3068 30 25 20 15 10 5 1

Table 3

Clasi- fica- ción de pH	Concentración molar de SiO <sub>2</sub> en solución acuosa de la solución acuosa no alcalina de ácido silícico.	Valor del pH (valores en la parte superior izquierda) y de X (valores en la parte inferior derecha) de agua tomada como muestra en el depósito de agua.					
		0,66	1,02	1,36	2,04	3,40	
0,5-1,0	0,7	2,0 6,9x10 <sup>-1</sup>	2,0 1,9x10 <sup>-1</sup>	2,2 7,9x10 <sup>-2</sup>	2,2 2,4x10 <sup>-2</sup>	3,0 5,1x10 <sup>-3</sup>	
1,0-2,0	1,8	3,8 5,5x10 <sup>-2</sup>	3,8 1,5x10 <sup>-2</sup>	3,9 6,3x10 <sup>-3</sup>	4,5 1,9x10 <sup>-3</sup>	5,8 4,1x10 <sup>-4</sup>	
2,0-3,0	2,5	4,8 1,1x10 <sup>-2</sup>	4,8 3,1x10 <sup>-3</sup>	5,0 1,3x10 <sup>-3</sup>	6,0 3,9x10 <sup>-4</sup>	6,3 8,4x10 <sup>-5</sup>	
3,0-4,0	3,3	5,1 1,7x10 <sup>-3</sup>	6,0 4,7x10 <sup>-4</sup>	6,1 2,0x10 <sup>-4</sup>	6,4 5,9x10 <sup>-5</sup>	6,5 1,3x10 <sup>-5</sup>	
4,0-5,0	4,5	6,2 1,1x10 <sup>-4</sup>	6,3 3,1x10 <sup>-5</sup>	6,5 1,3x10 <sup>-5</sup>	- 3,9x10 <sup>-6</sup>	- 8,4x10 <sup>-7</sup>	
5,0-6,0	5,8	6,8 1,1x10 <sup>-5</sup>	- 3,0x10 <sup>-6</sup>	- 1,3x10 <sup>-6</sup>	- 3,8x10 <sup>-7</sup>	- 8,1x10 <sup>-8</sup>	

En la Tabla, el símbolo (-) se pretende que signifique que era imposible proporcionar una muestra solidificada en un experimento de laboratorio.

Tabla 4

Clasi- fica- ción del pH	Concentración molar de Ver- SiO <sub>2</sub> en la solución lor del <u>ác</u> uosa no alcali- pH de la <u>na</u> de <u>ác</u> ido solución <u>acu</u> o silíci- sa no alcalina de <u>ác</u> ido silíceo		Velocidad de solidificación $\beta$ (valores en la parte supe- rior izquierda) y valor de $x$ (valores en la parte inferior derecha)				
	0,66	1,02	1,36	2,04	3,40		
1,0-2,0	0 5,5x10 <sup>-2</sup>	0 1,5x10 <sup>-2</sup>	0,3 6,3x10 <sup>-3</sup>	0,5 1,9x10 <sup>-3</sup>	2,5 4,1x10 <sup>-4</sup>		
2,0-3,0	0,5 1,1x10 <sup>-2</sup>	0,8 3,1x10 <sup>-3</sup>	1,0 1,3x10 <sup>-3</sup>	3,0 3,9x10 <sup>-4</sup>	3,0 8,4x10 <sup>-5</sup>		
3,0-4,0	1,0 1,7x10 <sup>-3</sup>	3,0 4,7x10 <sup>-4</sup>	3,0 2,0x10 <sup>-4</sup>	3,3 5,9x10 <sup>-5</sup>	2,6 1,3x10 <sup>-5</sup>		
4,0-5,0	2,6 1,1x10 <sup>-4</sup>	2,8 3,1x10 <sup>-5</sup>	2,5 1,3x10 <sup>-5</sup>	- 3,9x10 <sup>-6</sup>	- 8,4x10 <sup>-7</sup>		
5,0-6,0	2,0 1,1x10 <sup>-5</sup>	- 3,0x10 <sup>-6</sup>	- 1,3x10 <sup>-6</sup>	- 3,8x10 <sup>-7</sup>	- 8,1x10 <sup>-8</sup>		

En la Tabla, el símbolo (-) se pretende que signifique que fué imposible realizar la inyección en un experimento de laboratorio.

1  
5  
10  
15  
20  
25  
30

Tabla 5

Ex- pe- ri- men- to	Solución acuosa no alcalina de ácido silícico					Resistencia de la muestra solidifica- da con el paso de los días, resisten- cia a la compresión uniaxial qu (kg/ cm <sup>2</sup> )			
	(SiO <sub>2</sub> ) pH	Tiempo de gelifi- cación (Minutos ' ; temperatura de la solución. 20°C)	X	Viscosidad inicial cp/sec	3 días más tarde	7 días más tarde	28 días más tarde		
1	0,66 4,5	118'	1,07x10 <sup>-4</sup>	1,3	1,5	1,8	2,5		
2	1,02 4,1	72'	7,36x10 <sup>-5</sup>	1,5	2,0	2,5	3,1		
3	1,36 3,8	60'	6,35x10 <sup>-5</sup>	1,8	4,6	5,2	7,0		
4	2,04 3,2	74'	7,42x10 <sup>-5</sup>	2,0	8,0	9,8	13,4		
5	3,40 2,8	35'	4,07x10 <sup>-5</sup>	4,2	15,5	18,3	23,8		
6	1,02 11,0	25'	-	2,5	0,8	0,5	0,2		
7	1,34 11,5	30'	-	3,0	1,2	1,0	0,5		
8	2,04 11,1	28'	-	4,5	1,7	1,5	1,1		
9	3,40 11,0	15'	-	8,5	2,0	1,5	Rotura		
10	3,40 10,0	0	-						

1 Sin embargo, el empleo de ácidos inorgánicos fuer-  
tes es más económico. No contienen material orgánico que  
contamine las aguas subterráneas. Los ácidos minerales ta-  
les como ácido sulfúrico, clorhídrico o fosfórico, son más  
5 adecuados debido a que las sales de ácidos de los iones me-  
tálicos forman a menudo bloques de sílice. Pueden emplearse  
eficazmente compuestos ácidos o alcalinos como agentes ajust-  
tadores de pH. Como compuestos ácidos, pueden emplearse so-  
luciones acuosas no alcalinas de ácido silícico además de  
10 los ácidos antes descritos. Por otro lado, los ácidos débi-  
les tales como por ejemplo ácido fosfórico, o sales ácidas  
tales como por ejemplo fosfato monosódico, o dichas solucio-  
nes acuosas son adecuadas para ajustar exactamente el valor  
del pH.

15 Como compuestos alcalinos se citan álcalis tales  
como sosa cáustica y cal apagada; sales básicas tales como  
carbonato sódico, bicarbonato sódico, fosfato disódico y  
aluminato sódico; óxidos tales como óxido de magnesio y  
óxido de calcio cuyas soluciones acuosas son alcalinas; y  
20 compuestos tales como vidrio soluble y cemento cuyas solu-  
ciones acuosas son alcalinas. Sin embargo, debe entenderse  
que los compuestos alcalinos no están limitados a los cita-  
dos.

25 Para el ajuste exacto del valor del pH, aparte de  
los materiales antes descritos, son adecuados especialmente  
los compuestos tales como bicarbonato sódico y fosfato disó-  
dico que son débilmente alcalinos y las soluciones acuosas  
de vidrio soluble.

30 En este invento, pueden emplearse compuestos opcio-  
nales como agente de aumento de la resistencia o agente de

1 - ajuste del tiempo de gelificación. Dichos compuestos son  
por ejemplo, sales inorgánicas tales como cloruros, clora-  
tos, sulfatos, aluminatos, carbonatos, bicarbonatos, bisul-  
fatos, bisulfitos, fluosilicatos, silicatos, fosfatos, hi-  
5 drogenofosfatos, pirofosfatos, dicromatos y permanganatos;  
sales orgánicas opcionales, alcoholes, otros óxidos metáli-  
cos, escoria, cenizas volantes, silicato de calcio, cemen-  
to y arcilla. De nuevo, debe observarse que los compuestos  
no están limitados a esta relación.

10           Además, en este invento, puede emplearse como vi-  
drio soluble, vidrio soluble en estado líquido opcional  
cuya relación molar es  $n[\text{SiO}_2/\text{M}_2\text{O}] = 1,5$  a  $5,0$ .

          Además, es una cosa natural que pueda emplearse  
la mezcla antes descrita, mezclada con bentonita u otra  
15 arcilla opcional en una relación opcional.

          Uno de los aspectos significativos del procedi-  
miento de inyección llevado a cabo con una lechada de solu-  
ción acuosa de ácido silícico no alcalina de acuerdo con  
este invento, reside en que se emplea en combinación con  
20 ella una lechada que contiene cemento. Como se describió  
anteriormente, en el caso de aplicación de la solución  
acuosa no alcalina de ácido silícico al procedimiento de  
inyección, puede obtenerse una variedad de características  
excelentes; sin embargo, es bastante difícil ajustar exac-  
25 tamente el tiempo de gelificación, y la mezcla debe llevar-  
se a cabo precisamente en el mezclador con el fin de ajus-  
tar el valor del pH al valor correcto. Debido a estos re-  
querimientos, es necesario hacer el tiempo de gelificación  
tan largo como sea posible con el fin de llevar a cabo la  
30 operación de mezcla o la operación de inyección.

1 Sin embargo, si se inyecta una lechada en un  
tiempo de gelificación relativamente largo en una capa de  
suelo grueso o un suelo en el que se deja fluir agua sub-  
terránea, la solución así inyectada origina el movimiento  
5 de una zona previamente determinada o deja que fluya. Por  
otro lado, en el caso en el que la lechada de cemento y  
dicha lechada en solución acuosa se emplean en combinación  
para dicho procedimiento de inyección, incluso si se emplea  
una mezcla cuya solución acuosa tiene un tiempo de gelifi-  
10 cación largo, el valor de pH de dicha solución acuosa se  
aproxima al valor neutro debido a la reacción de neutrali-  
zación efectuada entre la mezcla y el álcali en exceso de  
la lechada de cemento, como resultado de lo cual se reduce  
el tiempo de gelificación y se realiza rápidamente la soli-  
15 dificación. Por consiguiente, incluso si se inyecta la so-  
lución en una capa de suelo grueso o un suelo en el que el  
agua subterránea se deja fluir, la solución así inyectada  
nunca originará el movimiento de la zona previamente deter-  
minada o fluirá; es decir, la solución puede solidificarse  
20 en la zona previamente determinada.

Los métodos para utilizar una inyección de una  
solución acuosa no alcalina de ácido silícico cuyo valor  
de pH es 5 o menor (denominada en la presente memoria "una  
inyección A", cuando es aplicable) y una inyección de una  
25 suspensión que contiene cemento (denominada en la presente  
memoria "una inyección B", cuando es aplicable), en combi-  
nación puede clasificarse en primera aproximación en las  
dos clases siguientes:

30 Clase (1): en la que las inyecciones A y B se  
llevan a cabo sucesivamente (independientemente del orden

1 de las inyecciones, es decir, la inyección A puede llevarse  
se a cabo primero, y a continuación la inyección B, o vice-  
versa); o las soluciones en las inyecciones A y B se unen  
antes de la inyección; o una inyección de las soluciones  
5 unidas en las inyecciones A y B y cada una de las inyeccio-  
nes A y B (prescindiendo de su orden) se llevan a cabo su-  
cesivamente.

Clase (2): en el que una de las inyecciones A y  
B se lleva a cabo primero, y después se lleva a cabo la otra  
10 con un período de pausa.

Cuando se emplea el cemento en combinación en  
este invento puede emplearse cemento Portland, cemento co-  
loidal, cemento de alúmina, y cemento de alto horno Port-  
land. Además, se sobreentiende que cualquiera de los reac-  
15 cionantes descritos como agentes ajustadores de pH o agen-  
tes aumentadores de la resistencia pueden añadirse antes en  
la solución de cemento mezclada. Especialmente, si se añade  
un compuesto alcalino tal como carbonato de sodio en la  
lechada de cemento, la mezcla de la solución acuosa de áci-  
20 do silícico no alcalina y la lechada de cemento aumenta no-  
tablemente la resistencia a la solidificación.

La inyección de acuerdo con este invento se lle-  
va a cabo después de que se ha realizado la mezcla en un  
mezclador hasta que el valor de pH de la mezcla alcanza un  
25 valor deseado. Con respecto a esto, se proporciona como  
líquido A una solución acuosa no alcalina opcional de ácido  
silícico o una solución acuosa obtenida añadiendo el ajus-  
tador de pH o el agente aumentador de la resistencia en di-  
cha solución acuosa; mientras que la solución acuosa del  
30 agente ajustador de pH se proporciona como líquido B, y a

1 — continuación los líquidos A y B así proporcionados pueden  
unirse con ayuda de dos juegos de bombas que tienen unos  
valores de pH y "X" previamente determinados para inyección.  
Tanto el líquido A que comprende la solución acuosa no al-  
5 calina de ácido silícico de valores de pH y "X" antes des-  
critos, como el líquido B que comprende la solución acuosa  
del agente ajustador de pH pueden inyectarse juntos. Este  
método es adecuado para inyectar una mezcla que tiene un  
tiempo de gelificación relativamente corto.

10           Además, es posible emplear cualquier tubo de in-  
yección tal como un tubo purgador, un tubo doble o un tubo  
de varilla. En el caso de inyección de los líquidos A y B  
unidos, la unión de estos líquidos puede efectuarse en la  
parte extrema, en el otro extremo o en el medio del tubo  
15 de inyección, o en el sistema de tubería que incluye el  
mezclador antes que los líquidos fluyan en la bomba de in-  
yección. Además, la inyección puede llevarse a cabo a una  
presión normal, o puede ser una inyección por corriente de  
chorro efectuada a una presión elevada de varias decenas  
20 de  $\text{kg}/\text{cm}^2$  a varios millares de  $\text{kg}/\text{cm}^2$ . Alternativamente,  
la inyección puede llevarse a cabo asegurando de modo fijo  
el tubo de inyección o puede llevarse a cabo moviendo el  
tubo de inyección verticalmente, o girando el tubo de in-  
yección.

25           El terreno puede reforzarse simultáneamente y el  
desaguado, especialmente de la forma siguiente; al princi-  
pio, se inserta en el terreno un tubo de inyección doble,  
y a continuación, mientras se levanta el tubo, la solución  
acuosa no alcalina de ácido silícico se lanza en forma de  
30 chorro lateralmente a una presión elevada desde el extremo

1 superior del tubo interior para desalojar el terreno alre-  
dedor de él, y al mismo tiempo, la lechada de cemento se  
inyecta a una presión atmosférica rellenando la parte de-  
salojada. En este caso, se forma una parte solidificada  
5 cilíndricamente si el tubo interior se hace girar, por otra  
parte se forma una capa solidificada que se extiende hacia  
una dirección si el tubo no se hace girar.

En el método antes descrito, el terreno es desa-  
lojado por dicha solución a elevada presión de ácido silí-  
10 cico y, al mismo tiempo, la lechada de cemento se deja  
mezclar con el suelo. Como resultado de la rápida solidifi-  
cación con el cemento, el suelo solidificado se conforma  
pronto sin influencia del flujo de agua subterránea. La so-  
lución acuosa no alcalina de ácido silícico puede penetrar  
15 entre las partículas del suelo donde no llega la lechada  
de cemento y solidificar eficazmente el suelo y eliminar  
el agua.

#### Ejemplo 1

20 Se llevó a cabo un experimento de inyección uti-  
lizando una capa de suelo en Tokyo, Japon, que es un terre-  
no de arena fina y está bajo la superficie del agua subte-  
rránea. Se prepararon los líquidos de inyección de acuerdo  
con el método descrito con referencia al experimento 1. Se  
25 empleó ácido sulfúrico como el reaccionante ácido de modo  
que tuviera  $[SiO_2] = 2,04$ , y se preparó una solución acuo-  
sa de ácido silícico ácida ( $\alpha = 0,16$ ) cuyo valor de pH es  
de aproximadamente 2,4. A continuación, se añadió bicarbo-  
nato de sodio como agente ajustador de pH a la solución  
30 acuosa, y se mezclaron empleando el mezclador de modo que

1 la mezcla resultante tuviera precisamente un pH de 3,2  
 (siendo el tiempo de gelificación aproximadamente 60 minu-  
 tos). Se inyectaron 3000 litros de esta mezcla en la capa  
 de suelo. Antes, durante y después de la inyección, se to-  
 5 maron muestras del agua subterránea desde un agujero de  
 inspección situado 5 metros apartado del punto de inyección  
 para medir los valores de pH. Los resultados de la medida  
 del valor de pH fueron los que se indican a continuación

Tiempo de Medida	Antes de la inyec- ción	Durante la inyección	Después de la inyección	
			3 días más tarde	1 semana más tarde
valor del pH	6,8	6,2	6,4	6,8

15 El resultado del ensayo de permeabilidad en el  
 lugar mostró  $k = 6,8 \times 10^{-3}$  cm/segundos antes de la inyec-  
 ción, pero  $k = 8,3 \times 10^{-6}$  cm/segundos después de la inyec-  
 ción. Una semana después de la inyección, se sometió la  
 capa de suelo a excavación, y se encontró que el suelo es-  
 20 taba solidificado en un diámetro de 2,5 metros alrededor  
 del tubo de inyección, y que se proporcionó un suelo soli-  
 dificado de aproximadamente  $10 \text{ m}^3$  en volumen.

Una muestra tomada del suelo solidificado mostró  
 una resistencia a la compresión uniaxial de  $q_u = 12,5 \text{ kg/cm}^2$ .

25

### Ejemplo 2

Se llevó a cabo un ensayo de inyección de acuer-  
 do con un sistema de inyección de tubo doble en la estruc-  
 tura desaguada de subsuelo que tenía arena fina. Se prepa-  
 30 ró la lechada A de acuerdo con el método descrito en el

3068

1 Experimento 1. Se empleó ácido sulfúrico como reaccionante  
ácido de modo que tuviera  $[\text{SiO}_2] = 1,36$ , y una solución  
acuosa ácida de ácido silícico ( $\alpha = 0,157$ ) cuyo valor de  
pH es de aproximadamente 3,0 (pH = 3,0). A continuación, se  
5 empleó una solución acuosa de vidrio soluble, como agente  
ajustador de pH de modo que ajustara el valor de pH a 3,5  
(siendo el tiempo de gelificación aproximadamente 30 minu-  
tos). Se preparó la lechada B con 300 kg de cemento Portland  
y 30 kg de bentonita por m<sup>3</sup>.

10 Los tubos dobles que tenían tubos exteriores e  
interiores de 90 mm y 30 mm de diámetros respectivamente,  
separados unos de otros 60 cm, se insertaron en el terreno  
a 10 m de profundidad. Tenían agujeros laterales para lanzar  
chorros en el extremo del tubo interior. El extremo de  
15 tubo interior se colocó 10 cm más bajo que el exterior.  
Mientras se hacía girar solamente el tubo interior (el ex-  
terior no se hizo girar) y se levantaba lentamente el tubo  
doble, la lechada A antes descrita se lanzó como chorro  
a una presión elevada de 200 kg/cm<sup>2</sup> desde el tubo interior  
20 y, al mismo tiempo, la lechada B antes citada se inyectó  
a una presión de 10 kg/cm<sup>2</sup> desde el tubo exterior. Las in-  
vestigaciones después de cavar mostraron que se formaron  
suelos solidificados de aproximadamente 100 cm de diámetro  
alrededor de los agujeros de inyección y sus partes axiales  
25 de 50 cm de diámetro eran cilindros robustos que contenían  
predominantemente cemento. Las partes exteriores de dichos  
cilindros consistían en suelos solidificados por la lecha-  
da A. Las partes axiales adyacentes que contenían cemento  
rico se combinaron completamente por los suelos solidifica-  
30 dos, y por tanto no se observó fuga del agua subterránea.

1 - Cuando no se hicieron girar los tubos interiores, se for-  
maron capas desaguadas de 20 cm de ancho entre los tubos  
de inyección adyacentes. Las partes ricas en cemento soli-  
dificadas y sus partes de suelo solidificados exteriores  
5 se solaparon unas con otras, por lo que fueron superiores  
su resistencia y su propiedad de desagüe.

### Ejemplo 3

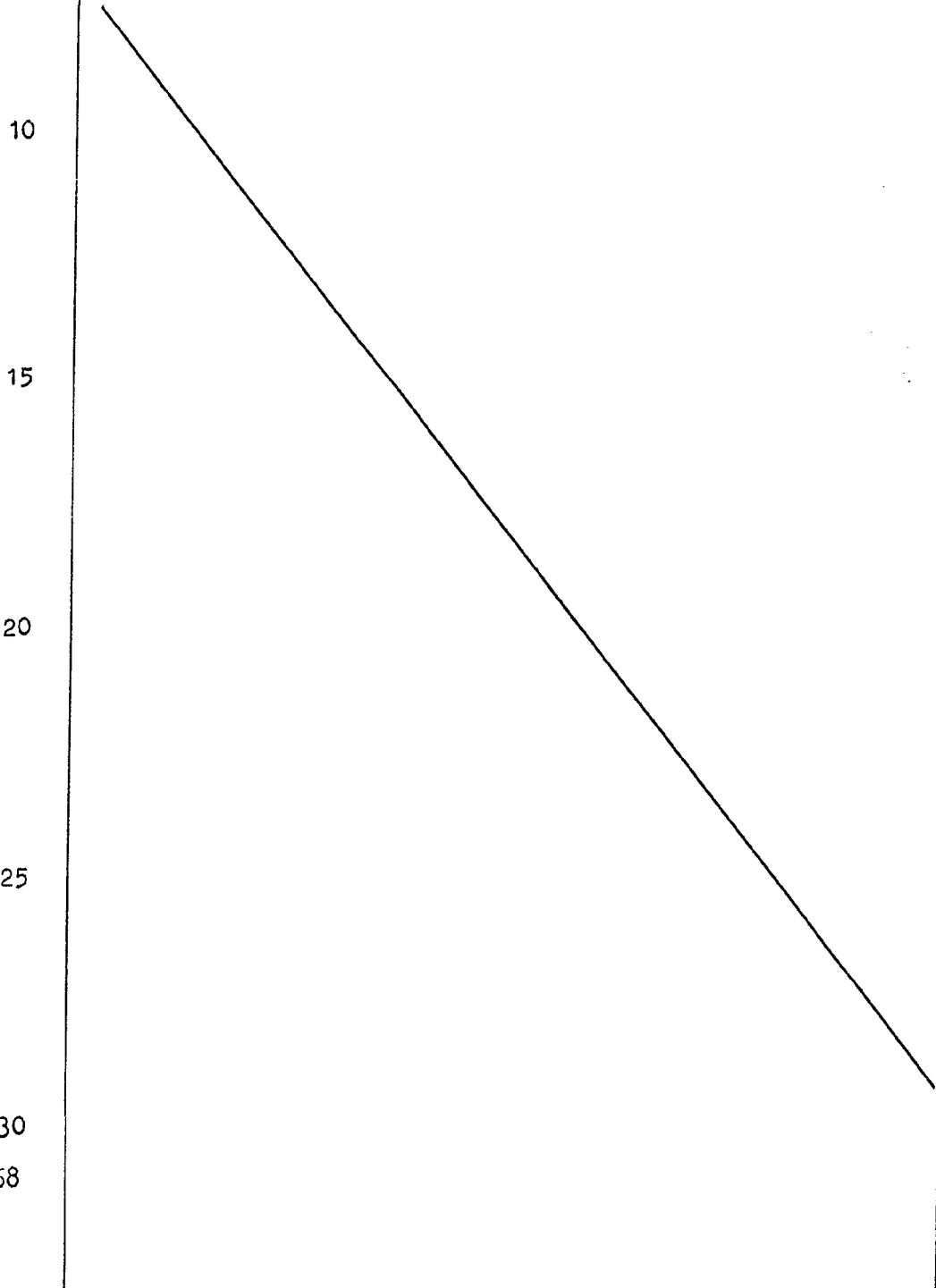
10 Se realizó un experimento de inyección en una  
capa de arena fina que incluye cieno en la que están in-  
terpuestas capas de arcilla blanda. Se preparó la lechada  
A de forma similar que en el caso de la solución acuosa  
ácida de ácido silícico empleada en el Experimento 1,  
mientras se preparó la lechada B con 500 kg de cemento  
15 Portland de alto horno, 30 kg de bentonita y 1 kg de car-  
bonato de sodio por m<sup>3</sup>. Las lechadas A y B se unieron en  
una relación igual en cantidad por el empleo de un tubo en  
forma de "Y", y las lechadas así unidas se inyectaron en  
una cantidad de 2000 litros en total. Sucesivamente, se in-  
20 yectaron 2000 litros de una de las lechadas en la capa.  
Una semana después de la inyección, la capa se sometió a  
excavación. Como resultado de esto, se encontró que las  
capas solidificadas oscilantes estaban conformadas firme-  
mente con el líquido unido de las lechadas A y B en la su-  
25 perficie de separación entre la capa de arcilla y la capa  
de suelo blando, que contenía una gran cantidad de cieno  
o la capa de suelo, y que solamente la lechada A penetró  
entre las partículas de la capa de arena fina incluyendo  
minúsculos bloques de cieno, conformando así, como un to-  
30 do, un cuerpo fuertemente solidificado.

1 En cuanto a la resistencia de compresión uniaxial  
de una muestra tomada de la capa excavada, el cuerpo soli-  
dificado con las lechadas A y B mostró  $q_u = 50 \text{ kg/cm}^2$ ,  
mientras que la resistencia a la compresión uniaxial del  
5 suelo solidificado por la lechada A mostró  $q_u = 15,1 \text{ kg/cm}^2$ .

#### Ejemplo 4

Se realizó un experimento de inyección en un te-  
rreno de escombros que tenía un coeficiente de permeabili-  
dad de aproximadamente  $10^{-1} \text{ cm/seg}$  ( $k = 10^{-1} \text{ cm/seg}$ ). Pri-  
mero de todo, una lechada de cemento que contenía 500 kg  
de cemento Portland por 1000 litros se inyectó en el terre-  
no. Al día siguiente, se tomaron muestras del agua en el  
lugar en el que se inyectó la lechada de cemento, midiendo  
su valor de pH. El valor del pH del agua así medido fue  
15 9,8. A continuación, se inyectó una solución acuosa no al-  
calina de  $\text{SiO}_2$  de concentración molar 2,04,  $\text{pH} = 3,0$   $X =$   
 $= 1,2 \times 10^{-4}$  y un tiempo de gelificación de aproximadamen-  
te 200 minutos durante 60 minutos. A continuación, al día  
20 siguiente, se tomó una muestra de agua del lugar en el que  
se inyectó la solución acuosa midiendo su valor del pH.  
Se encontró que el valor del pH del agua así medido era  
6,0. Una semana más tarde, se excavó el terreno para inves-  
tigación. Como resultado de la investigación, se encontró  
25 que el cemento solidificó entre las partículas de suelo  
gruesas, y que la región total del terreno preparada para  
ser solidificado se solidificó por la solución acuosa áci-  
da de ácido silícico alrededor del tubo de inyección sin  
desviarse de la profundidad de inyección previamente deter-  
30 minada.

1 Con fines de comparación, se inyectó una solu-  
ción acuosa ácida de ácido silícico similar a la descrita  
antes sin inyectar la lechada de cemento, y a continuación  
se excavó el terreno inyectado de esta forma. Como resulta  
5 do de la excavación, se encontró que el cuerpo solidifica-  
do se movió 1,5 m por debajo de la profundidad de inyección  
previamente determinada.



1

## - REIVINDICACIONES -

5

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

10

1ª.- Un procedimiento de inyección para solidificar un suelo blando o evitar la fuga de agua de un terreno que pierde agua, inyectando en él una mezcla de una lechada del tipo de vidrio soluble, en el que dicha mezcla es una solución acuosa no alcalina de ácido silícico obtenida mezclando vidrio soluble en solución acuosa con un reactivo ácido de forma que se elimine el álcali de dicho vidrio soluble, y dicha solución acuosa no alcalina de ácido silícico se prepara para que tenga un valor de pH de 5 o menor.

15

20

2ª.- Un procedimiento de inyección de acuerdo con la reivindicación 1ª, en el que dicha solución acuosa no alcalina de ácido silícico es una solución acuosa que satisface las dos condiciones A y B siguientes: A: su valor de pH es 5 o menor; y B: un valor de  $\frac{[H^+]}{[SiO_2]^n}$  es

25

$1 \times 10^{-3}$  o menor, en donde  $[H^+]$  es la concentración molar de iones hidrógeno,  $[SiO_2]$  es la concentración molar de dióxido de silicio, y n es la relación molar de dicho vidrio soluble.

30

3ª.- Un procedimiento de inyección de acuerdo con la reivindicación 2ª, en el que dicho valor de  $\frac{[H^+]}{[SiO_2]^n}$

3068

1 se ajusta para que esté en el intervalo de  $1 \times 10^{-3}$  a  
5  $\times 10^{-6}$ .

4ª.- Un procedimiento de inyección de acuerdo  
con la reivindicación 1ª, en el que se añade un agente  
5 ajustador de pH y se mezcla en dicha solución acuosa no  
alcalina de ácido silícico para ajustar exactamente el va-  
lor de pH de dicha solución acuosa a un valor deseado.

5ª.- Un procedimiento de inyección de acuerdo  
con la reivindicación 1ª, en el que se prepara una solu-  
10 ción acuosa no alcalina de ácido silícico de un valor de  
pH relativamente bajo, mezclando vidrio soluble en solución  
acuosa de un reaccionante ácido, y se añade un agente ajus-  
tador de pH que sirve como agente alcalino y se mezcla en  
la solución acuosa no alcalina de ácido silícico de forma  
15 que aumente el valor del pH para ajustar dicho valor de  
pH a un valor deseado de 5 o menor, con lo que se permite  
que la solución acuosa no alcalina de ácido silícico tenga  
un tiempo de gelificación deseado.

6ª.- Un procedimiento de inyección de acuerdo  
20 con la reivindicación 4ª ó 5ª, en el que dicho agente ajus-  
tador de pH es uno o más seleccionado del grupo que con-  
siste en vidrio soluble y sales alcalinas.

7ª.- Un procedimiento de inyección de acuerdo  
con la reivindicación 6ª, en el que dichas sales alcalinas  
25 son sales alcalinas de ácido carbónico o sales alcalinas  
de ácido bicarbónico.

8ª.- Un procedimiento de inyección de acuerdo  
con la reivindicación 1ª, en el que dicho reaccionante áci-  
do es ácidos minerales que incluyen ácido sulfúrico, ácido  
30 clorhídrico y ácido fosfórico.

1                   9ª.- Un procedimiento de inyección de acuerdo  
con la reivindicación 1ª, en el que dicha adición y mezcla  
del vidrio soluble con solución acuosa de dicho reaccionan  
te ácido se lleva a cabo lanzando un chorro dicho vidrio  
5                   soluble en dicha solución acuosa del reaccionante ácido.

                  10ª.- Un procedimiento de inyección de acuerdo  
con la reivindicación 1ª, en el que la solución acuosa no  
alcalina de ácido silícico contiene cemento o arcilla.

10                  11ª.- Un procedimiento de inyección de acuerdo  
con la reivindicación 1ª, en el que la inyección de dicha  
solución acuosa no alcalina de ácido silícico y la inyec  
ción de la suspensión que contiene cemento o arcilla como  
componente eficaz se llevan a cabo en combinación.

15                  12ª.- Un procedimiento de inyección de acuerdo  
con la reivindicación 1ª, en el que una mezcla, que con  
tiene al menos un material seleccionado del grupo que con  
siste en cemento y un agente ajustador de pH alcalino, se  
une a dicha solución acuosa no alcalina de ácido silícico  
en el momento de la inyección.

20                  13ª.- Un procedimiento de inyección de acuerdo  
con la reivindicación 5ª, en el que dicho agente ajustador  
de pH alcalino se une a dicha solución acuosa no alcalina  
de ácido silícico de pH relativamente bajo en el momento  
de la inyección.

25                  14ª.- Un procedimiento de inyección de acuerdo  
con la reivindicación 12ª ó 13ª, en el que la unión de  
dichos líquidos se efectúa en los extremos de punta de los  
tubos de inyección insertados en el terreno.

30                  15ª.- Un procedimiento de inyección de acuerdo  
con la reivindicación 14ª, en el que al menos uno de dichos

1 -líquidos, se lanza en forma de chorro sobre el terreno a  
una presión elevada.

5 16ª.- Un procedimiento de inyección de acuerdo con la reivindicación 14ª o 15ª, en el que dichos tubos de inyección son tubos de inyección dobles que consisten en un tubo interior y un tubo exterior, y dicha solución acuosa no alcalina de ácido silícico se lanza en forma de chorro desde el extremo de punta del tubo interior en el terreno a una presión elevada para desalojar el terreno, y al mismo tiempo el otro líquido se inyecta a una presión atmosférica rellenando el terreno desalojado.

15 17ª.- Un procedimiento de inyección para solidificar un suelo blando.

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y con los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de cuarenta y dos hojas escritas a máquina por una sola cara.

20

Madrid, 08. SET. 1978

P. A.

Alberto de Elizaburu  
Por Poder.

25

30

21078

JMS

