

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 574 708**

51 Int. Cl.:

C04B 41/49 (2006.01)

C04B 41/48 (2006.01)

E04G 23/02 (2006.01)

C04B 38/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.07.2006 E 06807842 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.03.2016 EP 1921054**

54 Título: **Procedimiento para consolidar rocas y otros materiales de construcción**

30 Prioridad:

30.07.2005 ES 200501887

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

21.06.2016

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE CADIZ (100.0%)
C#ANCHA, 16
11001 CADIZ, ES**

72 Inventor/es:

**MOSQUERA DÍAS, MARÍA JESÚS;
MONTES HERRERA, ANTONIO y
DE LOS SANTOS MARTÍNEZ, DESIRÉE**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 574 708 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 para consolidar rocas y otros materiales de construcción

Sector de la técnica

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para consolidar rocas y otros materiales de construcción de naturaleza porosa, que se encuentran deteriorados como consecuencia de su exposición a diferentes agentes atmosféricos y/o contaminantes. Su principal aplicación es la restauración de edificios monumentales y otras piezas de valor histórico-artístico.

Estado de la técnica anterior a la fecha de presentación

10 En las últimas décadas se ha producido un espectacular incremento de la contaminación ambiental que ha repercutido de forma alarmante en el deterioro de edificios monumentales y lugares históricos. Piezas de alto valor histórico, que se han conservado en un determinado emplazamiento de forma aceptable durante siglos, han sufrido, en los últimos años, un rápido e intenso proceso de alteración, hasta el punto que es posible percibir claramente de año en año la alteración de monumentos construidos hace centurias e incluso milenios. Esta situación ha promovido un elevado número de intervenciones de conservación sobre nuestro patrimonio construido, así como un gran

15 interés de los sectores industrial y científico por el desarrollo de productos de conservación adecuados. La consolidación del material alterado es, sin lugar a dudas, una de las intervenciones de restauración más frecuentes. El proceso de consolidación consiste en devolver a un material la coherencia que perdió como consecuencia de su alteración. Los productos consolidantes actúan rellenando los espacios vacíos del material, que es habitualmente de naturaleza pétreo, incrementando su resistencia mecánica. Los requisitos que deben poseer

20 estos productos son bien conocidos:

- Incrementar de forma significativa la resistencia mecánica del material (incremento superior a un 10 %)
- Mantener inalterable la apariencia y color del sustrato
- Penetrar profunda y homogéneamente en el sustrato alterado, evitando la formación de películas superficiales
- Evitar modificaciones sustanciales de la permeabilidad al vapor del material (reducción inferior al 30 %),

25 permitiendo la evaporación del agua que penetra en el edificio a través de otras vías.

- Poseer características fisicoquímicas, mecánicas y de dilatación similares al sustrato.
- Evitar la formación de subproductos dañinos para el material.
- Poseer un cierto grado de elasticidad que evite la formación de las fracturas propias de un material rígido

30 A lo largo de la historia se han aplicado como consolidantes materiales de naturaleza diversa, desde productos inorgánicos como hidróxidos de calcio o bario, hasta sustancias orgánicas naturales como ceras y aceites vegetales. En la actualidad, la variedad de consolidantes aplicados a obras de restauración es enorme e incluye productos tan diferentes como: acrilatos, acetatos de vinilo, silicatos de etilo, polisilanos, poliuretanos y resinas epoxi, entre otros. En el libro de Price (Stone Conservation. An Overview of Current Research. Editado por The J. Paul Getty. 1996) aparece una amplia revisión sobre estos productos.

35 A pesar de esta gran diversidad de consolidantes -algunos de ellos surgidos en los últimos años, como las emulsiones de tetrafluoroetileno (patente de Estados Unidos Nº 4.764.431, Fecha de prioridad: 16/8/1988) o las cenizas de $\text{CaO/SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, (patente de Estados Unidos Nº 5.059.251. Fecha de prioridad: 22/10/1991), los alcoxilanos y, en particular, el tetraetoxisilano (TEOS), son los componentes principales de la mayor parte de productos comerciales que existen, actualmente, en el mercado. El TEOS se gelifica en los poros del material pétreo

40 alterado mediante una clásica transición sol-gel: En concreto, Tegovakon V (comercializado por la multinacional Goldschmidt-Degussa) y Wacker OH (fabricado por Wacker Chemie GmbH) son los líderes indiscutibles del mercado europeo. En cuanto al mercado americano, Conservare H100 (fabricado por Prosoco) es, quizás, el producto más conocido. Las ventajas de estos monómeros de silicio han sido ampliamente comentadas en la literatura:

- Reducida viscosidad del monómero que permite una rápida y profunda penetración en el sustrato pétreo.

45

- La humedad ambiental de la roca es suficiente para promover la polimerización
- Forma un gel estable en los poros de la roca con enlaces silicio-oxígeno similares a los existentes en los minerales de la roca.

50 No obstante, estos productos poseen algunos inconvenientes que han obligado a cuestionar su aplicación en determinados sustratos pétreos. Por ejemplo, presentan una escasa cohesión a sustratos de naturaleza calcárea, uno de los componentes principales de nuestro patrimonio monumental. El enlace entre la roca y consolidante requiere la presencia de grupos hidroxilo, que están prácticamente ausentes en los minerales propios de estas rocas

(calcita, dolomita y aragonita). Para lograr una eficiente adhesión del consolidante a la roca calcárea, Slavid y Weiss han ideado un procedimiento (patente de Estados Unidos N° 6.296.905, Fecha de prioridad: 02/10/2001), que crea una capa de hidroxilos sobre los sustratos pétreos, como paso previo a su consolidación. El producto ya ha sido comercializado por Prosoco con el nombre de Conservare HCT.

- 5 Otros inconvenientes asociados a los consolidantes de TEOS, se asocian a la formación de una densa red polimérica de sílice de naturaleza microporosa en el interior de la roca alterada. El reducido tamaño de los poros del gel provoca una elevada presión capilar en la red, durante la fase de evaporación del disolvente, que produce fracturas, provocando, en muchas ocasiones, la ruptura completa del consolidante en interior de los poros de la roca. Varios estudios realizados sobre los productos comerciales avalan esta idea (Scherer, G. W.; Wheeler, G.E. *Proceedings of the 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean*; Moropoulou, Zezza, Kollias and Papachristodoulou Eds.: Rhodes, Greece, 1997; Mosquera, M.J., Pozo, J., Esquivias, L., Rivas, T., Silva, B. J. *Non-Cryst. Solids* 2002, 311, 185-194.)

15 En los últimos años, se han desarrollado algunos nuevos productos con los que se pretende eliminar o reducir las fracturas del material consolidado. Por ejemplo Boos y col. lograron incrementar la plasticidad del producto, reduciendo el riesgo de fracturación, al añadir derivados orgánicos a la red de sílice (Boos, M., Grobe, J., Hilbert, G. and Muller-Rochholz, J. *Proceedings of the 8th Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Berlín, 1996, pp. 1179-1185.) Por otra parte, Scherer y col. añadieron partículas de titanio, sílice u óxidos de hierro, cromo o cobalto al sol polimérico. El mayor tamaño de las partículas coloidales produce geles en los que se incrementa el tamaño de poro, reduciéndose, drásticamente, la presión capilar que soporta el gel durante la etapa de secado (Escalante, M. R., Flatt, R., Scherer, G.W., Tisiourva, D., Moropoulou, A. In *Protection and Conservation of the Cultural Heritage of the Mediterranean Cities*, Galan, Zezza, Eds. A.A. Balkema. Países Bajos, 2002.)

20 La adición de partículas de sílice coloidales a soles basados en TEOS se ha evaluado previamente por parte de los presentes inventores con el fin de aumentar la porosidad del producto que se va a consolidar y obtener una estructura del material de naturaleza mesoporosa carente de grietas (Mosquera y col., *Materials Research Society Symposium Proceedings* 2004, vol. 852, 81-87).

25 El documento US 5 858 457 A proporciona un procedimiento para formar una familia de películas finas en soporte que muestran microestructuras ordenadas y porosidad derivadas de una estructura precursora micelar ordenada o líquida-cristalina orgánica-inorgánica que se forma durante la deposición de la película. Las aplicaciones de estas películas incluyen sensores, membranas, capas intercaladas de constante dieléctrica baja, recubrimientos antirreflectantes y materiales huésped ópticos.

Descripción de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento para consolidar rocas y otros materiales de construcción en estado alterado. El proceso de consolidación se desarrolla, in situ, en el propio monumento, edificio, estatua, o cualquier otro objeto deteriorado.

35 El procedimiento consiste en la formación, en los poros del sustrato alterado, de un tamiz molecular -material con poros interconectados de tamaño uniforme- de naturaleza mesoporosa y con una topología ordenada.

40 Este nuevo material consigue eliminar los inconvenientes que presentan los consolidantes comerciales (comentados en los antecedentes de la presente memoria), asociados a las características texturales del gel. En el siguiente párrafo y con objeto de facilitar la comprensión de las ventajas de la presente invención, se describe, muy brevemente, el origen de estos inconvenientes.

45 Los productos comerciales que contienen TEOS se gelifican en el sustrato alterado formando una red polimérica de naturaleza microporosa. Tras la gelificación, se produce la evaporación del disolvente a través de los poros del polímero. Al formarse un menisco cóncavo en la interfase líquido-vapor se origina una presión capilar, que según la ecuación de Young-Laplace es inversamente proporcional al radio de poro. Por tanto, los consolidantes comerciales, como consecuencia del reducido tamaño de sus poros, soportan una elevada presión capilar que genera la ruptura del gel en el interior de la roca. Obviamente, este gel fragmentado no produce la consolidación adecuada del citado sustrato.

El material objeto de la presente invención soluciona este inconveniente -trascendental para la obtención de un producto consolidante- de la siguiente forma:

50 - Al incrementar de forma considerable el radio de los poros del gel, se reduce drásticamente la presión capilar, y por tanto, el riesgo de fractura del material.

- La obtención de un consolidante con un radio de poro uniforme evita el riesgo de fractura, ya que en este caso la presión capilar es igual en todos sus poros impidiendo la aparición de tensiones que son las que, realmente, provocan la ruptura del material.

55 -Como ventaja adicional, la obtención de un material mesoporoso con un volumen de poros significativamente

superior al de los productos comerciales evita el bloqueo de los poros del sustrato alterado, y por tanto, impide la impermeabilización del edificio.

El material objeto de la presente invención forma parte de la familia de los populares tamices moleculares M41S, sintetizados, por vez primera, en el año 1992 por investigadores de Mobil corporation. Genéricamente, estos productos se obtienen por combinación de un monómero de sílice y un tensioactivo catiónico, que se añade a una concentración superior a la micelar, formando una estructura de tipo cristal líquido. Tras la polimerización del monómero, que ocurre mediante un clásico proceso sol-gel, las micelas de tensioactivo son eliminadas mediante un proceso de calcinación. El tensioactivo actúa como una plantilla, ya que los poros del material se corresponden, exactamente, a los huecos que dejan las micelas tras ser eliminadas por el proceso de calcinación.

La novedad que presenta el procedimiento objeto de esta invención frente a otras síntesis de tamices ya conocidas, se basa en el desarrollo de un método que permite la formación del tamiz molecular en el interior del sustrato alterado, eliminándose el tensioactivo a temperatura ambiente, sin necesidad de someter el producto a proceso de calcinación. Como es obvio, las modificaciones desarrolladas en el proceso de síntesis son claves para su aplicación como consolidante.

Descripción de las figuras

La figura 1 muestra una imagen de los consolidantes Tegovakon V (izquierda) y el tamiz molecular objeto de la presente invención (derecha), tras la fase de secado. El producto comercial se encuentra totalmente fracturado, mientras el consolidante sintetizado en nuestro laboratorio es un gel monolítico transparente libre de fracturas.

La figura 2 muestra un difractograma de Rayos X correspondiente al consolidante obtenido según el procedimiento descrito en el ejemplo 1 de la presente invención.

La figura 3 muestra isotermas de adsorción de nitrógeno, correspondientes al consolidante obtenido según el procedimiento descrito en el ejemplo 1 de la presente invención, y a los productos comerciales Wacker OH y Tegovakon V.

La figura 4 muestra gráficas de distribución de radio de poro correspondientes a la roca calcarenita sin tratar y las rocas consolidadas según el procedimiento descrito en el ejemplo 2 de la presente invención.

Modo de realización de la invención

El procedimiento objeto de la presente invención incluye las siguientes etapas: En primer lugar, se mezclan un alcoxisilano, un tensioactivo, que puede eliminarse por evaporación a temperatura ambiente, agua, etanol y ácido clorhídrico. El alcoxisilano puede ser TEOS y el tensioactivo, una amina primaria, como la n-octilamina. La concentración del tensioactivo debe ser inferior a su concentración micelar crítica con objeto de que dicha concentración se alcance en el interior del sustrato a consolidar. La formación de micelas antes de la aplicación a la roca provocaría un incremento significativo en la viscosidad del sol de partida que podría reducir su penetración en el sustrato alterado. Para lograr una buena mezcla de los productos, es aconsejable que ésta se produzca a reflujo a una temperatura que oscile entre 40-60 °C. La concentración del ácido clorhídrico debe ser suficiente para lograr un pH de la mezcla entre 1-2. La relación molar de agua/alcoxisilano debe ser igual o superior a su relación estequiométrica, 4:1 en el caso del TEOS. La relación molar de alcoxisilano/etanol debe ser igual o superior a la relación necesaria para formar un gel de sílice, 1:3,8 en el caso del TEOS.

La siguiente etapa del proceso es la impregnación del material que se va a consolidar con el sol preparado. El consolidante puede penetrar en el sustrato por impregnación de la superficie mediante un cepillo o brocha. En el caso de objetos de tamaño reducido, por inmersión en un tanque que contenga el sol, o bien por ascenso capilar mediante el contacto superficial del consolidante y la cara inferior del objeto. Tras la impregnación, comienza a evaporarse el etanol de la mezcla a través de los poros del material tratado; al alcanzarse la concentración micelar del tensioactivo en el sol, se forma una estructura tipo cristal líquido, propiciada por la formación de las micelas.

La primera etapa del proceso de polimerización es la hidrólisis del TEOS:

$$\equiv Si - OR + HOH \rightarrow \equiv Si - OH + ROH$$

En un tiempo máximo de 24 horas, ocurre la polimerización por simple condensación del alcoxisilano hidrolizado:

$$\equiv Si - OH + OH - Si \rightleftharpoons \equiv Si - O - Si$$

formándose el gel de sílice. Además, ocurren reacciones de condensación del alcoxisilano hidrolizado con grupos OH presentes en la superficie de los granos minerales de la roca, lográndose la adherencia consolidante-roca. La etapa final del proceso es el secado del gel, por evaporación del disolvente y del tensioactivo a través de sus poros. Este proceso puede durar hasta 7 días. El gel formado en los poros del sustrato alterado es un material mesoporoso con tamaño uniforme de poro. A continuación, y con objeto de ilustrar con más detalle, el procedimiento objeto de patente y sus ventajas frente a productos comerciales, se describe un ejemplo concreto de síntesis, en el que se incluyen datos reales obtenidos en nuestro laboratorio de investigación.

EJEMPLO 1

Se mezclaron n-octilamina y TEOS. La concentración de octilamina en la disolución fue (0,16 % p/p). A continuación se añadieron el resto de precursores: agua, etanol y ácido clorhídrico por reflujo a 60 °C durante 90 minutos. Las relaciones molares de la mezcla fueron: 1 de TEOS/ 22 de etanol/ 5 de agua/ 0,004 de HCl/0,00498 de n-octilamina. Finalmente, la mezcla se agitó durante 10 minutos. Con objeto de comprobar si la viscosidad del sol era adecuada para su aplicación como consolidante, se midió su viscosidad usando un viscosímetro rotacional de Brookfield (modelo DV-II+ con adaptador UL/Y). La temperatura del experimento fue de 25 °C. Además, se midió la viscosidad de dos de los productos comerciales más populares: Tegovakon V (Goldschmidt-Degussa) y Wacker OH (Wacker Chemie GmbH). En la tabla 1 se presentan los resultados correspondientes a los tres soles evaluados. La viscosidad del sol sintetizado en nuestro laboratorio presenta un valor intermedio entre los valores correspondientes a los dos soles comerciales evaluados.

A continuación, los tres soles sintetizados se expusieron a las condiciones de laboratorio (20 °C y 60 % de humedad). Con el fin de simular el proceso que ocurre en los poros de la roca consolidada, la velocidad de evaporación fue limitada por unos orificios. La polimerización ocurrió en los tiempos que se indican en la Tabla 1. En un tiempo máximo de 1 semana, los geles mantuvieron un peso constante, hecho indicativo de la total eliminación de los disolventes. En el caso del tamiz molecular, se realizó un análisis térmico diferencial que permitió constatar la eliminación completa del tensioactivo en este periodo. En la Figura 1 aparecen los dos geles obtenidos. En el caso, del tamiz molecular se trata de un material monolítico sin fracturas, mientras el producto comercial aparece totalmente fragmentado.

Los ensayos que se realizaron para comprobar la formación de un tamiz molecular de naturaleza mesoprosa fueron difracción de rayos X (mediante un difractómetro de Bruker modelo D8 equipado con tubo de cobre) y fisisorción de nitrógeno (mediante un aparato Sorptomatic 1990 de Fisons Instrument). La curva de difracción de rayos X de la muestra sintetizada según este ejemplo se presenta en la Figura 2. La aparición de un pico bien definido en el intervalo 2-4 del ángulo de difracción 2θ es una señal inequívoca de la formación de una estructura mesoporosa ordenada. En los difractogramas correspondientes a los productos comerciales no se apreciaron picos definidos, como cabe esperar de un material desordenado. En la figura 3 se presentan las isotermas de fisisorción del material sintetizado en el laboratorio y de ambos productos comerciales. La isoterma del Wacker OH corresponde a un material microporoso (tipo I de la clasificación IUPAC). En el caso de Tegovakon V, aunque existe una cierta histéresis propia de la condensación capilar que ocurre en materiales mesoporosos (isoterma tipo IV de la IUPAC), la adsorción ocurre a presiones reducidas, que son propias de materiales con poros en el rango microporoso. En la isoterma correspondiente al tamiz molecular, se aprecia un aumento significativo de la presión de adsorción, en zonas propias de materiales mesoporosos. La reducida histéresis que presenta este material sugiere la existencia de un estrecho intervalo de tamaño de poro. En la tabla 1 se incluyen datos de radio de poro medio –calculados según el modelo HK en consolidantes comerciales y modelo BJH en el tamiz molecular- y volumen poroso. Los valores de radio de poro y volumen poroso se incrementan de forma significativa en el tamiz molecular con respecto a los obtenidos para los consolidantes comerciales.

TABLA 1

Consolidante	Viscosidad 25°C (mPa*s)	Tiempo de polimerización (días)	Radio de poro (nm)	Volumen de poro (cm ³ /g)
Ejemplo 1	2,54	1 día	1,70	0,57
Tegovakon V	2,77	3 días	0,58	0,40
Wacker OH	1,98	4 días	0,54	0,29

EJEMPLO 2

El procedimiento objeto de la presente invención se usó para consolidar una roca calcarenita usada en la construcción de muchos de los monumentos emblemáticos del suroeste de Andalucía (catedrales de Sevilla y Cádiz, entre otros). Esta roca, que procede de un yacimiento localizado en el Puerto Santa María (Cádiz), está constituida por calcita y cuarzo, fundamentalmente. Otra serie de probetas de la misma roca fue impregnada con Tegovakon V 100.

Con objeto de evaluar la eficacia de la consolidación, se determinó el grado de penetración de ambos consolidantes en la roca, midiendo el aumento de peso experimentado por probetas cúbicas de la roca (4 cm de arista) después de la consolidación. Con objeto de caracterizar la reducción de volumen poroso y tamaño de los poros bloqueados después del tratamiento, se realizó la caracterización textural de la roca antes y después de la consolidación, mediante porosimetría de intrusión de mercurio (modelos Pascal 140 y 440 de Fisons Instrument). Las probetas usadas fueron cubos de 1 cm de arista. Asimismo, se evaluaron cambios en la permeabilidad al vapor de la roca antes y después de los tratamientos, usando un procedimiento automatizado, desarrollado en nuestro laboratorio (Mosquera, M.J., Benítez, D. y Perry, S.H. Cem. & Concr. Res. 2002, 32, 1883-1888), que representa una automatización del procedimiento estandarizado ASTM E96-90 (Standard test methods for water vapor transmission

of materials. Philadelphia, PA, 1990: ASTM. p. 685-695). En este caso, se usaron muestras de 4x4x1 cm. Finalmente, se evaluó el efecto que ejercen los consolidantes sobre las propiedades mecánicas de la roca mediante un ensayo de compresión uniaxial en un aparato (modelo Shimadzu Autograph AG-I Series) capaz de realizar una fuerza máxima de 5 KN, usando probetas de dimensiones 2X1X1 cm.

5 Como se refleja en los valores de aumento de peso experimentado por la roca después de ambos tratamientos (En la Tabla 2 se recogen valores medios de 3 probetas), el grado de penetración de ambos consolidantes resultó muy similar, siendo ligeramente superior en el caso del tamiz molecular. En lo que se refiere a la evolución textural de la roca después del tratamiento, se aprecia una ligera reducción de la porosidad después de la consolidación (Los valores de la Tabla 2 corresponden a datos medios de 3 probetas), que es ligeramente superior para el producto comercial. En cuanto a la distribución de los poros, ambos consolidantes bloquearon de forma muy parecida los poros de la roca. La diferencia fundamental entre ambos es la aparición en la roca consolidada con el tamiz molecular de poros de radio entre 1-10 nm que podrían corresponder a los mesoporos que se forman del gel. Los valores de permeabilidad al vapor en la roca sin consolidar y en la roca consolidada con el tamiz molecular resultaron similares (Los datos recogidos en la Tabla 2 corresponden a los valores medios de cuatro probetas), mientras en la roca consolidada con el producto comercial se apreció una reducción de dicho valor. La presencia de mesoporos en el tamiz molecular favorece el transporte de vapor de agua a través de la roca. Por último, indicar que la resistencia a la rotura que presenta la roca en el ensayo de compresión (datos medios de 10 probetas aparecen en la Tabla 2) resultó ligeramente superior en la roca consolidada con el tamiz molecular.

TABLA 2

Muestra	Peso (g/cm ³)	Porosidad (%)	Permeabilidad (m ² /s)	Resistencia (MPa)
Roca sin tratar		15,12	3,81·10 ⁻⁷	31,13
Roca con tamiz	0,20	12,88	4,15·10 ⁻⁷	34,18
Roca con TV V	0,15	11,87	2,62·10 ⁻⁷	30,48

20

Forma en que la invención es susceptible de aplicación industrial

El procedimiento objeto de la presente invención tiene una aplicación industrial inmediata en la restauración y rehabilitación de edificios monumentales y cualquier otras piezas de valor histórico-artístico, y en general en la restauración de cualquier material de construcción de naturaleza porosa.

25

REVINDICACIONES

1. Procedimiento para consolidar rocas y otros materiales de construcción, que comprende las siguientes etapas:
- 5
- mezclar un alcoxisilano, un tensioactivo, agua, etanol y ácido clorhídrico para formar un sol que actúa como consolidante,
en el que
dicho tensioactivo puede eliminarse por evaporación a temperatura ambiente,
la concentración del tensioactivo es inferior a su concentración micelar crítica,
la concentración de ácido clorhídrico es suficiente para lograr un pH de la mezcla entre 1-2,
10 la relación molar de agua/alcoxisilano es igual o superior a su relación estequiométrica y
la relación molar de alcoxisilano/etanol es igual o superior a la relación necesaria para formar un gel de sílice;
 - impregnar la roca u otro material de construcción que se va a consolidar con el sol preparado para formar un gel, en el que la concentración micelar crítica del tensioactivo se alcanza dentro de la roca u otro material de construcción que se va a consolidar antes de que tenga lugar el proceso de gelificación;
15 y
 - secar el gel por evaporación del agua, el etanol y el tensioactivo.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el tensioactivo es una amina primaria.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que el tensioactivo es una n-octilamina.
- 20 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el alcoxisilano es tetraetoxisilano (TEOS).
5. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el alcoxisilano es tetraetoxisilano (TEOS) y el tensioactivo es una amina primaria.
- 25 6. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el alcoxisilano es tetraetoxisilano (TEOS) y el tensioactivo es n-octilamina.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 4 a 6, en el que la relación molar de agua/tetraetoxisilano (TEOS) es 4:1.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 4 a 6, en el que la relación molar de tetraetoxisilano (TEOS)/etanol es 1:3,8.
- 30 9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la impregnación del consolidante se realiza en la roca u otro material de construcción mediante impregnación de la superficie mediante un cepillo o brocha, mediante inmersión en un tanque que contenga el sol en el caso de rocas u otros materiales de construcción de tamaño reducido, o por ascenso capilar mediante el contacto superficial del consolidante y la cara inferior de la roca u otro material de construcción.

35



FIGURA 1

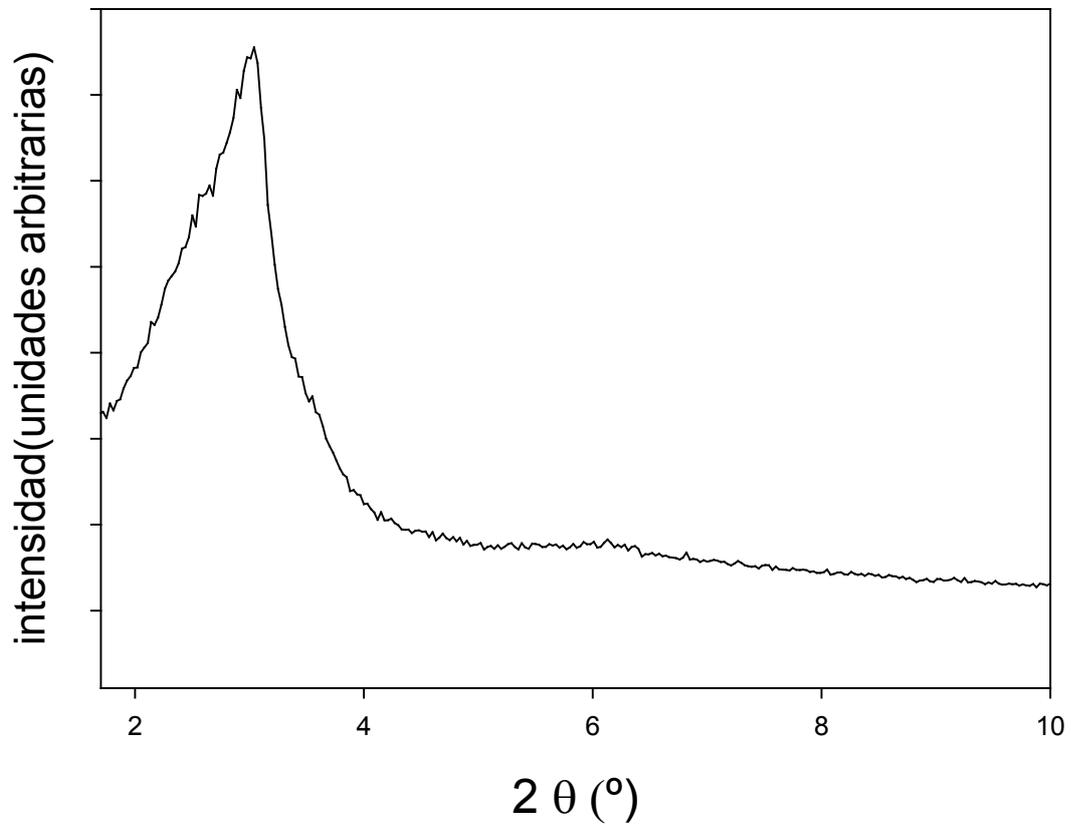


FIGURA 2

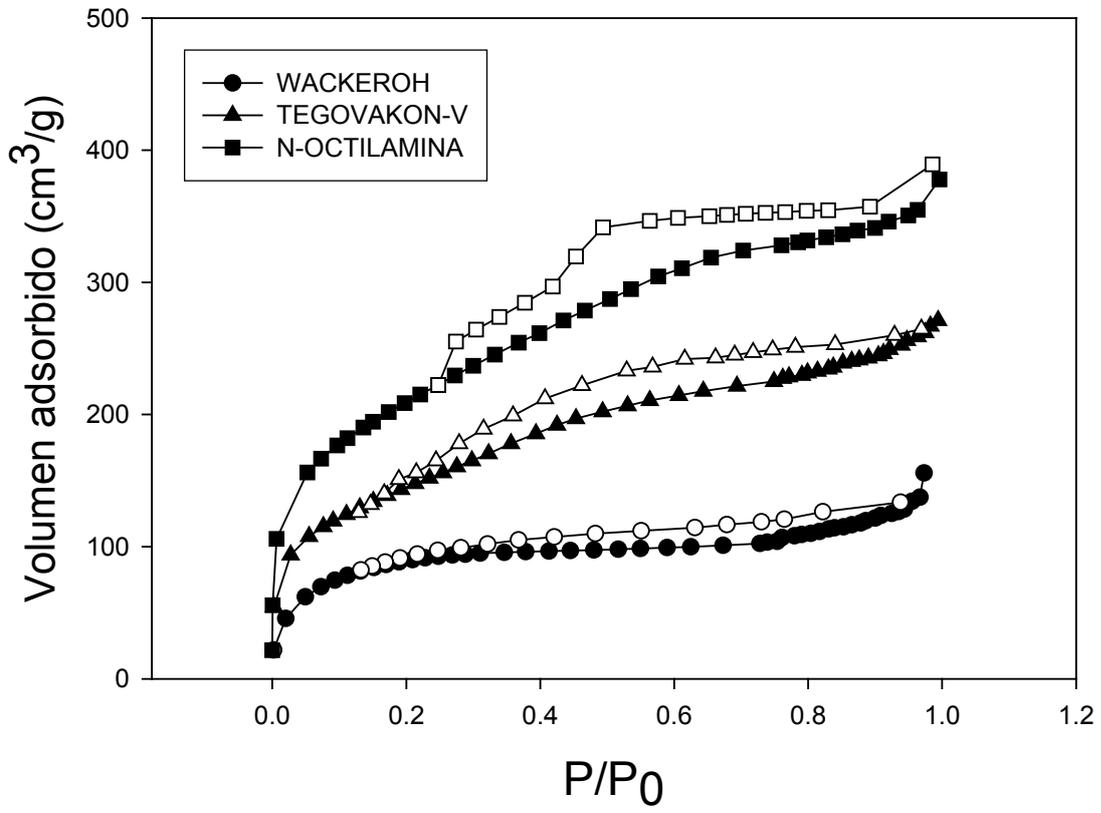


FIGURA 3

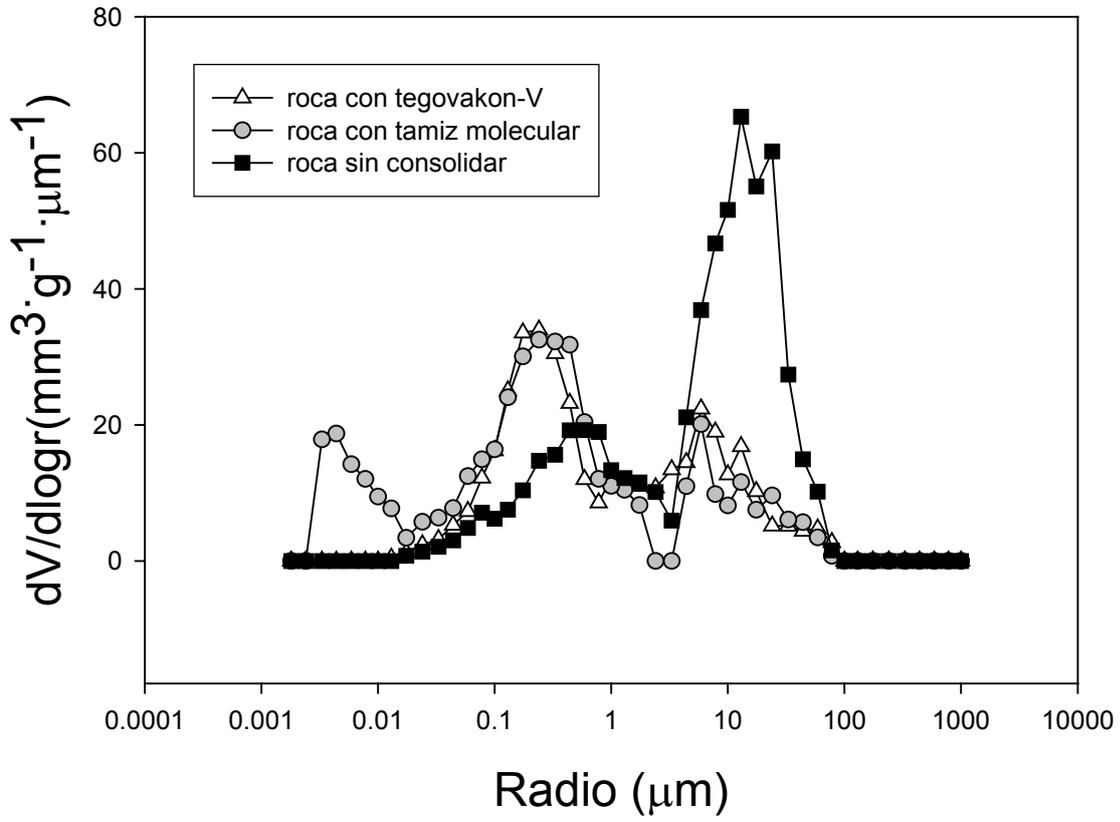


FIGURA 4