

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 730 720**

51 Int. Cl.:

C23C 18/12 (2006.01)

F28F 13/18 (2006.01)

F25B 17/08 (2006.01)

C04B 35/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.10.2005 E 10166900 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2019 EP 2241652**

54 Título: **Procedimiento para la producción de un sustrato revestido con una capa de zeolita**

30 Prioridad:

29.10.2004 DE 102004052976

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.11.2019

73 Titular/es:

**FAHRENHEIT GMBH (100.0%)
Siegfriedstr. 19
80803 München, DE**

72 Inventor/es:

**SCHWIEGER, WILHELM;
THANGARAJ, SELVAM;
HERRMANN, RALPH;
REDDY, MARTHALA;
SCHEFFLER, FRANZISKA;
SCHMIDT, FERDINAND;
MITTELBACH, WALTER;
HENNING, HANS-MARTIN y
BAUER, JÜRGEN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 730 720 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 la producción de un sustrato revestido con una capa de zeolita

5 Se describe un procedimiento para la fabricación de una capa de zeolita sobre un sustrato metálico, que comprende las siguientes etapas del procedimiento: fabricación de una suspensión acuosa que comprende varios componentes, donde un componente comprende al menos un elemento formador de red del tercer, cuarto o quinto grupo principal del sistema periódico y el sustrato que contiene metal presenta al menos uno de los elementos formadores de red, introducción del sustrato que contiene metal en la suspensión acuosa, calentamiento de la suspensión acuosa y del
10 sustrato que contiene metal situado en ella para la cristalización in situ de una capa de zeolita sobre el sustrato que contiene metal. Además, la invención se refiere a un intercambiador de calor obtenido según este procedimiento.

Las zeolitas son en el sentido mineralógico más estricto minerales de silicato y en particular aluminosilicatos con una estructura químicamente compleja, que están caracterizados por la configuración de redes tetragonales porosas (redes T). Según la definición general de la IZA (International Zeolithe Association, asociación internacional de la zeolita), bajo zeolitas se entienden aquellos materiales que presentan redes T con una densidad de red < 19 átomos T por 1000 \AA^3 . Las zeolitas presentan una estructura con cavidades interiores, donde estas cavidades pueden adoptar dimensiones de tamaño molecular. En ello se fundamenta la propiedad de las zeolitas de poder recibir átomos ajenos o moléculas ajenas en su estructura porosa, por ejemplo, las zeolitas pueden almacenar grandes cantidades de agua y liberarla de nuevo al calentarse. Los materiales de zeolita en contacto con un intercambiador de calor son por ello especialmente apropiados para la construcción de un intercambiador de calor latente. Para ello, según el estado de la técnica, se usan cargas a granel de materiales de zeolita o zeolitas formados, que están introducidos en sólidos de poro abierto, por ejemplo, esponjas metálicas que están en contacto térmico con un intercambiador de calor. Para lo último se remite, por ejemplo, al documento DE 101 59 652 C2.

25 Además, las zeolitas se usan por la industria química para una pluralidad de aplicaciones adicionales. Esto son, por ejemplo, procesos de intercambio de iones, donde para ello las zeolitas producidas la mayoría de las veces de forma sintética se usan en forma de polvo con un tamaño de cristal de pocos micrómetros. Además, las zeolitas se usan como tamices moleculares, donde aquí el material de zeolita también se puede introducir como carga a granel de cristales o materiales formados en un sistema de filtros.

Para aplicaciones donde a las zeolitas se les suministra calor o donde se debe extraer calor del material de zeolita, las cargas a granel de zeolita son inapropiadas, por tanto, ya que sólo se puede efectuar sólo de forma insuficiente un contacto térmico suficiente con las estructuras adyacentes del intercambiador de calor. Además, en particular para intercambiadores de calor latente se debe suministrar el medio de trabajo designado habitualmente como sorptivo a la zeolita como material sorbente de modo y manera efectivos. Esto presupone poros de transporte macroscópicos en el material sorbente. Por este motivo para tales finalidades de aplicación, la zeolita sintetizada como polvo se conforma en unidades mayores en forma de pellets con ayuda de un aglutinante. No obstante, es desventajoso que la mayoría de los aglutinantes influye en las propiedades de la zeolita relevantes para la aplicación y se modifican la mayoría de las veces de forma desventajosa. Además, al usar pellets tampoco se puede garantizar un contacto térmico suficiente con intercambiadores de calor adyacentes. Por este motivo se proponen sistemas de intercambiadores de calor sobre los que se aplica una capa de zeolita. Para los procedimientos de revestimiento conocidos de sustratos con zeolitas es típico un modo de proceder de dos etapas. En primer lugar, se produce un polvo de zeolita en una etapa de síntesis previa. Este polvo de zeolita se puede tratar posteriormente mecánicamente, por ejemplo, mediante etapas de trituración o molienda, de modo que se origina una zeolita pulverulenta con partículas ajustadas (tamaño de cristal). A continuación, se mezcla el material de zeolita así sintetizado o presintetizado la mayoría de las veces con un aglutinante y se aplica como así denominado revestimiento (*coating*) sobre el sustrato de soporte.

50 No obstante, en un modo de preceder semejante es desventajoso que en particular en el caso de estructuras tridimensionales complejas de intercambiador de calor es difícil la aplicación de capas de zeolita de grosor uniforme sobre toda la superficie del intercambiador de calor. Además, un procedimiento de revestimiento post-sintético semejante presenta una pluralidad de etapas de fabricación. Además, la mayoría de los aglutinantes modifican las propiedades relevantes de la zeolita, dado que las moléculas y partículas aglutinantes se acumulan sobre la superficie de los cristales de zeolita.

55 El documento US 2003/0091872 A1 describe un procedimiento para la producción de una capa de zeolita sobre un metal como aluminio o níquel o acero o titanio. Sobre esta se incorporan zeolitas clásicas de aluminosilicato, lo que mediante el uso de suspensiones de síntesis para zeolitas clásicas de aluminio silicato se logra un rango de pH habitual de neutro hasta pH 12. La suspensión también contiene aluminio. Tras la introducción del sustrato que contiene aluminio en la suspensión que contienen aluminio se introducen átomos de aluminio del sustrato en la red de zeolita, por lo que se mejora la adherencia de la capa de zeolita sobre el sustrato.

65 El documento DE 103 09 009 A1 describe un procedimiento, donde se insertan materiales de soporte cerámicos. A este respecto, el soporte es simultáneamente el dispensador del silicio formador de red para la producción de zeolitas clásicas de aluminosilicato. Por consiguiente, este procedimiento conocido se refiere a la producción de una capa de zeolita sobre un material de soporte cerámico, donde este está introducido en una suspensión acuosa, que contiene

al menos un elemento formador de red o un formador de red. Finalmente, la suspensión se calienta para obtener el resultado del procedimiento. La propuesta técnica conocida no prevé que la suspensión contenga un elemento formador de red en déficit. Lo mismo es válido para el estado de la técnica según el documento FR 2 719 238 A1. Se refiere a un material compuesto inorgánico poroso, que presenta un sustrato inorgánico poroso y una fase sólida mineral, que representa una estructura cristalina porosa, p. ej. en forma de un material zeolítico. La estructura cristalina porosa se obtiene directamente dentro del sustrato poroso. En ningún lugar se habla de que a partir de una suspensión se realice la formación de zeolita, donde un elemento formador de red está presente en déficit.

También se han conocido otros documentos que describen la producción de una suspensión con los elementos que pueden formar una zeolita, además, la introducción de un sustrato en la suspensión, así como el calentamiento para la cristalización in situ de una capa de alta viscosidad de zeolitas clásicas de aluminosilicato sobre el sustrato. Véanse los documentos EP 0 649 387 B2, EP 1 222 961 A2 y JP 08119624 A.

Los procedimientos conocidos no han resultado completamente satisfactorios. En este caso se forman capas de zeolitas clásicas de aluminosilicato, no obstante, su anclaje en el sustrato no es tan perfecto como debería ser.

La invención tiene el objetivo de especificar un procedimiento de producción para capas de zeolita sobre sustratos que contienen metal, mediante el que no se influya negativamente en las propiedades de las zeolitas y que asegure que se garantice un acceso sin trabas a la estructura microporosa de la capa de zeolita. Ante todo, la capa de zeolita se tendría que poder anclar de forma fiable en el sustrato. La capa de zeolita aplicada sobre el sustrato que contiene metal se destacaría por consiguiente por una buena adherencia sobre el sustrato que contiene metal. Además, el procedimiento se tendría que poder realizar con un número de etapas del procedimiento reducido respecto al estado de la técnica y además ser apropiado para cubrir los sustratos con estructura tridimensional compleja, en particular intercambiadores de calor, con un revestimiento de zeolita de espesor uniforme.

Este objetivo se consigue mediante un procedimiento del tipo descrito porque al menos uno de los elementos formadores de red presente en la suspensión acuosa está presente en déficit con vistas al proceso de formación de zeolitas y la estructura final de la zeolita, donde la proporción molar entre el/los elemento(s) formador(es) de red presente(s) en déficit en la solución acuosa respecto a la suma de todos los elementos formadores de red presentes en la suspensión acuosa se sitúa por debajo de 0,4 y al sustrato que contiene metal se le extrae(n) el/los elemento(s) formador(es) de red presente(s) en déficit y se incorpora(n) en la capa de zeolita.

Además, el objeto de la invención es un intercambiador de calor con un material de sustrato que contiene metal, que se provee según el procedimiento según la invención con un revestimiento de zeolita y donde los cristales de la capa de zeolita están orientados más o menos perpendicularmente a la superficie de sustrato en su dirección principal o de crecimiento.

Para la solución del objetivo, los inventores han reconocido en primer lugar que se debe producir una capa de zeolita sobre el sustrato que contiene metal mediante una síntesis in situ, a fin de evitar el uso de aglutinantes para la solidificación de las zeolitas producidas de forma post-sintética sobre el sustrato. En otra etapa, los inventores han reconocido que una cristalización in situ semejante de capas de zeolita sobre sustratos que contienen metal conduce entonces a un contacto especialmente íntimo entre la capa de zeolita y el sustrato que contiene metal, cuando durante la cristalización in situ se le extraen átomos de forma dirigida al sustrato que contiene metal. En la presente aplicación se designa esta condición como "síntesis directa" dirigida.

Para la realización de la síntesis directa durante la cristalización in situ de las capas de zeolita sobre el sustrato que contiene metal se parte de un sustrato que contiene metal semejante, que comprende una fracción suficiente de elementos formadores de red del tercer, cuarto o quinto grupo principal del sistema periódico. En este caso, de forma especialmente preferida se usa un sustrato que contiene metal, que contiene aluminio y/o silicio. En el caso más sencillo, esto es un sustrato de aluminio o un sustrato con un revestimiento de aluminio. Además, entran en consideración aleaciones que contienen aluminio o silicio, esto puede ser, por ejemplo, un acero aleado que según la norma ISO 4948 presenta un contenido en peso de al menos el 0,1 % en peso de aluminio y/o al menos el 0,5 % en peso de silicio.

Conforme a los procedimientos clásicos de síntesis de las zeolitas, las sustancias de partida necesarias para la configuración de la estructura de zeolita se llevan a una suspensión acuosa. Una suspensión acuosa semejante comprende al menos un elemento formador de red del tercer, cuarto o quinto grupo principal del sistema periódico.

A diferencia de la síntesis clásica de zeolitas, para el procedimiento según la invención se ajusta una concentración para al menos uno de los elementos formadores de red para la capa de zeolita en la suspensión acuosa, que no cubre de manera óptima la necesidad para este elemento formador de red. A continuación, para ello se usa la expresión "déficit", es decir, en la mezcla de reacción en forma de una suspensión acuosa existe al menos uno de los elementos formadores de red en déficit con vistas al proceso de formación de zeolitas y la estructura final de la zeolita.

Los inventores han reconocido concretamente lo siguiente:

5 si la suspensión contiene una cantidad mayor del elemento formador de red para la capa de zeolita que el déficit mencionado, entonces se produce una cristalización indeseada en todas partes en el volumen a granel en la suspensión, siempre y cuando no lo impidan las relaciones de temperatura locales. Los cristales formados a este respecto están presentes, por consiguiente, no obstante, no están anclados o no en la medida deseada con el sustrato que contiene metal, dado que los elementos formadores de red están presentes en todo lugar en la suspensión de manera óptima. Si por el contrario sólo está presente un elemento formador de red en déficit, entonces esto se puede poner a disposición en el caso de gestión de reacción apropiada mediante el sustrato que contiene metal en la medida necesaria. También se podría decir que la suspensión está empobrecida respecto a uno de los elementos formadores de red. Si por el contrario el elemento formador de red sólo está presente en déficit, entonces la zeolita que se forma comienza ávidamente una reacción química con el elemento formador de red correspondiente del sustrato.

15 Puede ser que la capa que se forma y anclada en el sustrato que contiene metal sea relativamente delgada. Si esto fuese desventajoso en el caso concreto, entonces el proceso se puede repetir sin más, donde en otra etapa del procedimiento se lleva a cabo de nuevo una cristalización in situ con concentraciones adaptadas correspondientemente de los elementos formadores de red en la suspensión sobre una primera capa de zeolita anclada con el sustrato que contiene metal. A este respecto, la primera capa de zeolita anclada sobre el sustrato que contiene metal representa el reservorio para los elementos formadores de red de los gérmenes de cristalización para la cristalización repetida y por consiguiente también es el punto de inicio del proceso de cristalización posterior.

20 La proporción molar del elemento formador de red, presente en déficit en la suspensión respecto a la suma de todos los elementos formadores de red en la suspensión se debería mover en el rango de los valores siguientes: menor de 0,4 o de 0,3 o de 0,2 o de 0,1.

25 La idea central de la invención se puede resumir como sigue: debido a la baja fracción de un elemento formador de red en la suspensión se evita en primer lugar una cristalización en la suspensión. Mejor dicho, prioritariamente en la superficie límite con el sustrato que contiene metal se genera una situación que conduce a un enlace químico entre los dos elementos formadores de red, el uno del sustrato que contiene metal y el otro de la suspensión. A este respecto, el elemento formador de red del sustrato que contiene metal es aluminio, y el elemento formador de red de la suspensión es fósforo. En la suspensión circundante falta por consiguiente total o ampliamente un componente, de modo que no tiene lugar en primer lugar la cristalización en la suspensión.

30 El sistema según la invención comprende por consiguiente un sustrato que contiene metal y una suspensión. El sustrato que contiene metal es no sólo el soporte, sino al mismo tiempo el dispensador de un elemento formador de red. La suspensión contiene al menos agua y eventualmente iones de fosfato y adicionalmente posiblemente compuestos de plantilla, esto son agentes que dirigen la estructura (de alemán, SDA), como por ejemplo sales de tetraalquilamonio o sustancias tensoactivas, así denominados agentes tensoactivos.

40 La suspensión también puede contener Si, pero también iones de metales de transición.

45 Se entiende que para la realización del procedimiento pueden ser necesarias otras medidas o etapas. A ello pertenece el calentamiento de la suspensión acuosa. Las fracciones necesarias para la constitución de la capa de zeolita para los elementos formadores de red presentes en déficit en la suspensión acuosa se extraen entonces del sustrato que contiene metal en la síntesis in situ conforme al procedimiento según la invención. Esto conduce de nuevo a que estos átomos formadores de red se pasan del sustrato que contiene metal a la capa de zeolita creciente y por consiguiente se efectúa un creciente mutuo de la capa de zeolita y sustrato. Gracias a esta medida se puede conseguir un contacto especialmente íntimo y un revestimiento de zeolita estable mecánicamente de las zeolitas producidas mediante cristalización in situ sobre el sustrato que contiene metal.

50 Según la elección del sustrato que contiene metal y su capacidad para la liberación de átomos formadores de red durante la cristalización in situ se puede ajustar la concentración o la falta de cantidad en elementos formadores de red en la suspensión acuosa. En el caso extremo se puede prescindir esencialmente de al menos uno de los elementos formadores de red en el sustrato que contiene metal.

55 Las condiciones de síntesis adicionales para la cristalización in situ en conexión con una síntesis directa para la producción de capas de zeolita permanentes sobre los sustratos que contienen metal se pueden seleccionar en el marco del juicio especializado conforme a la síntesis clásica de zeolitas.

60 Para llevar a cabo la síntesis se introduce el sustrato a revestir en la suspensión acuosa de las sustancias de partida. La suspensión acuosa y el sustrato que contiene metal situada en ella se someten entonces a un tratamiento hidrotermal. Preferiblemente en este caso se ajustan temperaturas entre 50 y 250 °C y en particular preferiblemente entre 100 °C y 200 °C durante la cristalización in situ. Además, se trabaja preferiblemente con una presión autógena, es decir, una tal que se establece en función de la temperatura del proceso y las presiones de vapor que se ajustan en la mezcla de reacción en el recipiente de reacción cerrado. Además, tras la conclusión de la cristalización in situ se prefiere un enfriamiento lo más rápida posible del sustrato revestido, que contiene metal para la detención de la

reacción. Esto se puede provocar, por ejemplo, mediante un flujo de aire del agregado de reacción u otras medidas técnicas apropiadas del procedimiento.

5 Como revestimiento de zeolita especialmente preferido se han destacado las capas de SAPO y ALPO y MeALPO producidas mediante cristalización in situ y directa. Las capas de SAPO microporosas contienen junto a silicio y aluminio fósforo como elemento formador de red. Correspondientemente los materiales de MeALPO también contienen distintos iones de metales de transición como elementos formadores de red. Los revestimientos de ALPO microporosos están hechos de aluminio y fósforo, a partir de los que se configuran los tetraedros como unidades constructivas para el armazón de red, que se reúnen de nuevo formando unidades constructivas secundarias anulares (por ejemplo, anillos 4 y 6), que se almacenan conjuntamente luego formando unidades constructivas terciarias de nuevo respecto a la estructura de zeolita definitiva y así sucesivamente.

10 A continuación, se representa el procedimiento según la invención mediante un ejemplo de realización, donde se produce un SAPO 34 sobre un sustrato de aluminio.

15 En primer lugar, se produce una suspensión acuosa de 23,6 g de agua y 2,38 g de ácido fosfórico al 85 %, que sirve como fuente fósforo, 2,0 g de sol de sílice (30,4 % SiO₂ en agua) como fuente de silicio y 5,4 de morfolina como molécula de plantilla. En este caso están redondeados los datos de peso mencionados. En detalle se produce una primera mezcla parcial, donde el ácido fosfórico se pone con 9,4 g de agua en un recipiente de mezcla. Además, se produce una segunda mezcla parcial, que está hecha de 2,0 g de sol de sílice y 5,4 g de morfolina y 9,4 g de agua y que se añade por goteo en la primera mezcla parcial con agitación constante. La primera mezcla parcial terminada está hecha de 6 g de agua, 6 g de ácido fosfórico al 85 % y 3,6 de pseudoboehmita. Además, se produce una segunda mezcla parcial, que está hecha de 1,6 g de aerosil y 4,5 g de morfolina y 6 g de agua y que se añade por goteo en la primera mezcla parcial con agitación constante. A esta mezcla así originada a partir de la primera y la segunda mezcla parcial se le agregan luego 4,8 g de agua y se continua la agitación durante otras dos horas, de modo que se origina una suspensión acuosa lista para el uso. En la suspensión acuosa no está presente aluminio en el ejemplo concreto (déficit extremo), donde la relación óptima de aluminio - fósforo sería esencialmente 1:1. Durante la producción de la capa de zeolita se extrae por tanto aluminio del sustrato para la compensación de este déficit en el sentido de una síntesis directa y se incorpora en la capa de SAPO creciente.

20 25 30 Para la cristalización in situ, la suspensión acuosa junto con el sustrato de aluminio a revestir, esto puede ser, por ejemplo, un intercambiador de calor de aluminio o uno tal con un revestimiento de aluminio, se agrega en un reactor y se mantiene durante una duración de, por ejemplo, 24 horas a 200 °C. Durante este intervalo de tiempo, mediante la cristalización in situ y bajo uso directo de átomos de aluminio del sustrato de aluminio se origina una capa de SAPO 34 microporosa sobre el aluminio. El soporte de aluminio así revestido se retira del reactor, donde ventajosamente se efectúa una etapa de lavado siguiente.

35 40 45 50 Por la figura 1 está representado el difractograma de rayos X de una capa de zeolita producida semejante sobre un sustrato de Al, donde la abscisa indica los datos de ángulo y la ordenada está asociada a estas intensidades relativas correspondientes. Para la absorción se usa una línea de cobre-K-alfa. Por una comparación con valores bibliográficos se puede aducir una prueba de estructura para SAPO-34 mediante el difractograma de rayos X mostrado en la fig. 1. Los inventores han reconocido lo siguiente: Al aplicar la fuerte dilución según la invención de la suspensión, donde está presente en déficit un elemento formador de red para la configuración de la capa de zeolita y se ha elevado claramente la proporción de agua respecto al estado de la técnica, se produce una orientación preferida de los cristales sobre el sustrato. Esta orientación se expresa en que la dirección principal y de crecimiento de los cristales discurre más o menos perpendicularmente a la superficie de sustrato y los cristales están predominantemente perpendicularmente sobre ella. La orientación preferida representa una orientación ampliamente uniforme de los cristales y garantiza una accesibilidad uniforme de los reactantes o sorbentes en el sistema de microporos de los cristales producidos. Esto es otro efecto ventajoso que se desprende de la invención.

55 La suspensión de síntesis acuosa aplicada puede variar en sus propiedades en función de su composición de una solución clara, donde están presentes disueltos todos los componentes contenidos, hasta un gel de alta viscosidad. En un perfeccionamiento de la invención se procesa la suspensión acuosa, antes de que se ponga en contacto con un sustrato a revestir que contiene metal, formando un gel y la mezcla de reacción se aplica en forma de un gel, por ejemplo, mediante un procedimiento de sol-gel, sobre el sustrato a revestir que contiene metal. Por lo tanto, en el presente texto bajo la suspensión acuosa descrita anteriormente también se entiende una tal que es muy viscosa. Por lo tanto, bajo una suspensión acuosa se entiende en el sentido más amplio una mezcla de reacción que contiene agua, no obstante, cuya consistencia no debe estar limitada a una solución acuosa.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la fabricación de una capa de zeolita sobre un sustrato que contiene metal, que comprende las siguientes etapas del procedimiento:
- 5 1.1 producción de una suspensión acuosa que comprende varios componentes, donde
- 1.2 un componente comprende al menos un
- 10 elemento formador de red del tercer, cuarto o quinto grupo principal del sistema periódico y
- 1.3 el sustrato que contiene metal presenta al menos uno de los elementos formadores de red;
- 1.4 introducción del sustrato que contiene metal en la suspensión acuosa;
- 15 1.5 calentamiento de la suspensión y del sustrato que contiene metal situado en ella para la cristalización in situ de una capa de zeolita sobre un sustrato que contiene metal, **caracterizado porque**
- 20 1.6 al menos uno de los elementos formadores de red presente en la suspensión acuosa está presente en déficit con vistas al proceso de formación de zeolitas y la estructura final de la zeolita, donde la proporción molar entre el/los elemento(s) formador(es) de red presente(s) en déficit en la solución acuosa respecto a la suma de todos los elementos formadores de red presentes en la suspensión acuosa se sitúa por debajo de 0,4 y
- 25 1.7 al sustrato que contiene metal se le extrae(n) el/los elemento(s) formador(es) de red presente(s) en déficit y se incorpora(n) en la capa de zeolita.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la proporción molar al menos de un elemento formador de red presente en déficit en la suspensión acuosa respecto a la suma de todos los elementos formadores de red en la suspensión acuosa se sitúa por debajo de 0,1.
- 30 3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** el sustrato que contiene metal es un sustrato de aluminio.
4. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** el sustrato que contiene metal contiene aluminio o silicio o está revestido con una aleación o compuesto que contiene aluminio o silicio.
- 35 5. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** el sustrato que contiene metal es un acero aleado con aluminio y/o silicio.
- 40 6. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** la suspensión acuosa comprende al menos una molécula orgánica de patrón o una molécula orgánica de plantilla.
- 45 7. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** la suspensión acuosa y el sustrato que contiene metal situado en ella se calientan a una temperatura entre 50 °C y 250 °C, en particular entre 100 °C y 200 °C.
8. Procedimiento según reivindicación 7, **caracterizado porque** la suspensión acuosa y el sustrato que contiene metal situado en ella se calientan en un recipiente cerrado.
- 50 9. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** la suspensión acuosa se convierte en un gel y este se aplica sobre el sustrato.
10. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** sobre la primera capa de zeolita configurada sobre el sustrato se cristaliza otra capa de zeolita.
- 55 11. Intercambiador de calor con un material de sustrato que contiene metal, que se provee con un revestimiento de zeolita según un procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 10 y donde los cristales de la capa de zeolita están orientados más o menos perpendicularmente a la superficie de sustrato en su dirección principal o de crecimiento.
- 60

