

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 907 003**

51 Int. Cl.:

C04B 28/00 (2006.01)
C04B 28/06 (2006.01)
C04B 28/26 (2006.01)
C04B 18/02 (2006.01)
C04B 40/00 (2006.01)
C04B 20/10 (2006.01)
C09K 8/00 (2006.01)
C09K 8/03 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.09.2017** **PCT/EP2017/072012**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.09.2018** **WO18157954**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.09.2017** **E 17787111 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.11.2021** **EP 3589600**

54 Título: **Material nuevo y su producción para su uso como medio de almacenamiento en un sistema de almacenamiento de energía sensible en el sector de baja, media o alta temperatura**

30 Prioridad:

01.03.2017 WO PCT/EP2017/054767

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.04.2022

73 Titular/es:

FLUORCHEMIE GMBH FRANKFURT (100.0%)
Hauptstr. 35
50126 Bergheim, DE

72 Inventor/es:

ROCKTÄSCHEL, CHRISTIAN

74 Agente/Representante:

AZAGRA SAEZ, María Pilar

ES 2 907 003 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

Material nuevo y su producción para su uso como medio de almacenamiento en un sistema de almacenamiento de energía sensible en el sector de baja, media o alta temperatura

5

La presente invención se refiere a un lodo rojo modificado o un residuo de bauxita modificado, también denominado en lo sucesivo ALFERROCK®, y también a procedimientos para su producción y usos de los mismos.

Con la Ley de Energía Renovable (EEG), Alemania ha establecido que la energía nuclear y la generación de energía a partir del carbón se eliminarán gradualmente para 2038. Como sustitutos, los parques eólicos, las instalaciones solares y las instalaciones de biogás deberían constituir el suministro de energía para Alemania.

En particular, sin embargo, los parques eólicos y las instalaciones solares tienen la desventaja de que en el aire en calma y en la oscuridad no se genera energía. Por lo tanto, estas fuentes de energía renovables no son capaces de proporcionar energía de carga base para los clientes, en particular los clientes industriales, que dependen de un suministro de energía constante.

Para evitar esta desventaja sistémica, la generación y el consumo de energía deben estar separados. Sólo acumuladores de energía que estén conectados entre los generadores y los consumidores de energía permiten proporcionar un flujo de energía constante de la manera necesaria y, por lo tanto, hacer que las fuentes de energía renovables sean capaces de proporcionar energía de carga base.

Por lo tanto, existe una demanda de acumuladores de energía y medios de almacenamiento adecuados que puedan remediar estas desventajas en la producción de energía a partir de fuentes de energía renovables y que también puedan obtenerse de una manera rentable que conserve los recursos.

Se sabe que el lodo rojo se produce como un producto de desecho en el procedimiento de Bayer para la extracción de hidróxido de aluminio (ATH) de la bauxita. En la siguiente descripción, se entiende que el lodo rojo (LR) es el residuo del procedimiento de Bayer que se produce en la extracción de ATH de la bauxita. Una gran proporción del residuo de bauxita o lodo rojo producido en la extracción de aluminio no se procesa adicionalmente ni se somete a un uso económicamente viable, sino que se desecha en sitios de disposición.

De la técnica anterior ya se sabe que el residuo de bauxita es adecuado como adsorbente debido a su gran superficie interna.

35

Además, se sabe que, debido a su composición química, el residuo de bauxita modificada puede usarse como un retardante de llama inorgánico libre de halógeno en plásticos de todos los tipos, que se proporcionan como un compuesto o también en forma espumada (WO 2012/126487 A1).

Además, se sabe que el residuo de bauxita modificado tiene una alta densidad, de modo que esta composición también se puede utilizar como medio de insonorización o para la ponderación del lodo de perforación o para el blindaje contra la radiación (WO 2014/114283 A1).

Además, se conoce un material particulado poroso que comprende un residuo de bauxita para el tratamiento de fluidos y la eliminación de contaminantes a partir del documento WO 2005/061408 A1. Los contaminantes incluyen, por ejemplo, metales pesados, aniones y gases.

En experimentos con residuos de bauxita modificados y deficientes en cromato que se han calentado a temperaturas entre 120 °C y 250 °C, los inventores de la presente sorprendentemente descubrieron que el enfriamiento tuvo lugar de forma inesperada y lenta. A la luz de esta observación, los inventores de la presente invención llevaron a cabo estudios exhaustivos sobre el comportamiento de residuos de bauxita (opcionalmente deficientes en cromato) o lodo rojo, cuando se somete a un tratamiento térmico, y, en este caso, realizaron observaciones mediante la comparación de los parámetros químicos, mineralógicos, físicos y mecánicos, en particular los parámetros térmicos. Por lo tanto, los inventores llegaron a un nuevo tipo de lodo rojo modificado que se puede usar como medio de almacenamiento, en particular como medio de almacenamiento de calor.

El tratamiento térmico influye en los parámetros mencionados anteriormente de una manera crucial y, por lo tanto, tiene una influencia significativa en las características del medio de almacenamiento de calor en general, donde, en particular, su comportamiento durante la exposición cíclica al calor (estabilidad del ciclo térmico, resistencia al choque térmico) es importante. Sobre la base de la composición química del lodo rojo utilizado como material de partida y de los intervalos de temperatura que se corrieron durante el tratamiento térmico, pueden surgir en cada

caso diferentes especies químicas/mineralógicas, que, a su vez, tienen diferentes características químicas, físicas, mineralógicas, mecánicas y térmicas. La suma de estas características determina las características del mecanismo de almacenamiento. Esto permite influir en las características del mecanismo de almacenamiento de cualquier forma, es decir, de una manera específica. Las características más importantes incluyen, por ejemplo,

- 5
 - capacidad térmica
 - conductividad térmica
 - conductividad eléctrica
 - densidad
- 10
 - dureza
 - ductilidad
 - porosidad
 - resistencia al choque térmico
 - estabilidad en el ciclo térmico
- 15
 - coeficiente térmico de expansión
 - estabilidad química, entre otras cosas

Por lo tanto, la presente invención se refiere a un lodo rojo modificado como se define en una de las reivindicaciones 1 y 4, un procedimiento de producción de un lodo rojo modificado que tiene las características de la reivindicación 5, un medio de almacenamiento que comprende un lodo rojo modificado, un medio de almacenamiento de calor que comprende un medio de almacenamiento y numerosos usos de un lodo rojo modificado como medio de almacenamiento, en particular en un medio de almacenamiento de calor, así como los procedimientos de aplicación óptima.

25 En una realización, un lodo rojo modificado contiene los siguientes componentes:

- hematita (Fe_2O_3),
 - corindón (Al_2O_3),
 - rutilo (TiO_2) y/o anatasa (TiO_2),
- 30
 - cuarzo (SiO_2),
 - opcionalmente perovskita (CaTiO_3) y
 - opcionalmente pseudobrookita ($(\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+})_2(\text{Ti}, \text{Fe}^{3+})\text{O}_5$) nefelina $((\text{Na}, \text{K})[\text{AlSiO}_4])$ y/o hauynita $((\text{Na}, \text{Ca})_4-8[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{SO}_4)])$.

35 Por lo tanto, el lodo rojo modificado contiene menos de 0,5 % en peso de Na_2O y menos de 0,5 % en peso de vidrio, tal como vidrio de soda y/o vidrio de soda de potasio. El lodo rojo modificado está preferentemente sustancialmente libre de K_2O y/o CaO y/u otros óxidos alcalinos y alcalinotérreos.

El barro rojo es la proporción insoluble que queda después de la lixiviación alcalina del aluminio de la bauxita. El lodo rojo se enjuaga en el medio alcalino en los sitios de disposición. Así, el lodo rojo contiene una cantidad indefinida de álcali en forma de solución de sosa cáustica libre o en forma de carbonato de sodio, que se produce mediante carbonización con CO_2 . Dado que este contenido alcalino libre interviene activamente, pero arbitrariamente, en la formación de las fases mineralógicas, con el fin de crear condiciones definidas y controlables, este contenido alcalino, es decir, Na_2O , pero también K_2O y el contenido de tierras alcalinas, es decir, CaO y MgO , deben eliminarse al menos predominantemente, preferentemente completamente, mediante lavado o neutralización. Por lo tanto, el lodo rojo modificado está sustancialmente libre de Na_2O y K_2O ; por lo tanto, el vidrio de soda y/o el vidrio de potasa no se pueden formar durante el templado.

En el contexto de la presente solicitud, "sustancialmente libre" puede entenderse, en particular, como un contenido inferior al 0,5 % en peso, en particular inferior al 0,2 % en peso, en particular inferior al 0,1 % en peso, en particular inferior al 0,05 % en peso, en particular inferior al 0,03 % en peso, en particular inferior al 0,01 % en peso.

Por lo tanto, el lodo rojo modificado puede contener, en particular, los componentes (cristalinos) hematita (Fe_2O_3), corindón (Al_2O_3), rutilo (TiO_2) y/o anatasa (TiO_2) y cuarzo (SiO_2) o puede consistir sustancialmente en estos componentes. Se pueden incluir otros componentes, pero no es necesario. En particular, la perovskita (CaTiO_3), pseudobrookita $((\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+})_2(\text{Ti}, \text{Fe}^{3+})\text{O}_5)$, nefelina $((\text{Na}, \text{K})[\text{AlSiO}_4])$ y/o hauynita $((\text{Na}, \text{Ca})_4, 8[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{SO}_4)])$ pueden mencionarse como componentes adicionales (opcionales). En este caso, sin embargo, el lodo rojo modificado no contiene sustancialmente Na_2O (igualmente K_2O y CaO) y/o vidrio.

60 En una realización, el lodo rojo modificado puede contener

- del 48 al 55 % en peso, en particular del 49 al 54 % en peso, en particular del 50 al 53 % en peso, de hematita (Fe_2O_3),
- del 13 al 18 % en peso, en particular del 14 al 17 % en peso, en particular del 15 al 16 % en peso de corindón (Al_2O_3),
- 5 - del 8 al 12 % en peso, en particular del 9 al 11 % en peso, de rutilo (TiO_2) y/o anatasa (TiO_2), y
- del 2 al 5 % en peso, en particular del 3 al 4 % en peso, de cuarzo (SiO_2), y
- inferior al 0,03 % en peso, en particular inferior al 0,01 % en peso, de Na_2O y/o inferior al 0,1 % en peso, en particular inferior al 0,05 % en peso, de vidrio.
- 10 En una realización, se puede obtener un lodo rojo modificado calentando el lodo rojo sustancialmente lavado libre de Na_2O (o neutralizado) y que tiene una composición mineral de
 - del 10 al 55 %, en particular del 10 al 50 % en peso de compuestos de hierro,
 - del 12 al 35 % en peso de compuestos de aluminio,
 - 15 - del 3 al 17 % en peso, en particular del 5 al 17 % en peso de compuestos de silicio,
 - del 2 al 12 % en peso, en particular del 2 al 10 % en peso de dióxido de titanio,
 - del 0,5 al 6 % en peso de compuestos de calcio, y
 - opcionalmente otras impurezas inevitables,
- 20 a una temperatura de al menos 800 °C, en particular al menos 850 °C, en particular al menos 900 °C, en particular al menos 950 °C, preferentemente al menos 1000 °C, por ejemplo, en un intervalo entre 1100 y 1200 °C, por ejemplo 1150 °C. Un lodo rojo modificado que pueda obtenerse de esta manera también puede designarse como lodo rojo templado o sinterizado o como cerámica de hematita.
- 25 El lodo rojo, que permanece como una proporción insoluble después de la lixiviación alcalina del aluminio de la bauxita, generalmente contiene cantidades significativas de Na_2O u otros óxidos alcalinos y alcalinotérreos, que también pueden estar presentes como hidróxidos o como carbonatos. Durante el calentamiento de dicho lodo rojo (sin lavar) a temperaturas superiores a 800 °C, en particular superiores a 1000 °C, estos constituyentes alcalinos hacen que el SiO_2 (cristalino) contenido igualmente en el lodo rojo se convierta en vidrio, tal como, por ejemplo,
- 30 vidrio soda y/o vidrio con soda de potasa, que es un mal conductor del calor, si ni siquiera un aislante térmico, y por lo tanto es enormemente perjudicial o incluso diametralmente opuesto al uso previsto del lodo rojo modificado según la invención para almacenar calor de la corriente (acoplamiento de energía-calor) o para la conversión de calor en corriente (acoplamiento de calor-energía). Otras sustancias que no son deseables según la invención se pueden formar durante el calentamiento del lodo rojo sin lavar debido a la alta reactividad de los óxidos de tierra de álcalis y
- 35 alcalinos y similares. Además, la presencia de dichas sustancias reactivas en el lodo rojo modificado según la invención también es perjudicial para el uso previsto en un medio de almacenamiento de calor, lo que trae consigo un calentamiento y enfriamiento continuo del lodo rojo modificado en el medio de almacenamiento de calor, ya que una estabilidad química del lodo rojo modificado (es decir, ninguna reacción química durante el calentamiento y enfriamiento repetidos en el intervalo de temperatura de trabajo seleccionado desde la temperatura ambiente hasta
- 40 aproximadamente 1000 °C), y una estabilidad física (diferentes dimensiones térmicas, o contracción de las fases minerales presentes con un efecto sobre la resistencia al choque térmico y la estabilidad del ciclo térmico) para la vida útil del medio de almacenamiento de calor según la invención, es crucial.
- Por lo tanto, según la invención, es necesario lavar el lodo rojo antes del calentamiento, de modo que esté
- 45 sustancialmente libre de Na_2O (y otros óxidos alcalinos y alcalinotérreos, tales como K_2O y/o CaO) y preferentemente también libre de constituyentes orgánicos que puedan tener un efecto reductor durante el calentamiento. Dado que el Na_2O , y también los otros óxidos alcalinos y alcalinotérreos, son sustancias alcalinas (es decir, básicas), el lavado sustancialmente libre de Na_2O también puede designarse como neutralización o un lodo rojo lavado correspondiente puede designarse como lodo rojo neutralizado. El lavado se lleva a cabo
- 50 ventajosamente por medio de agua, a la que se puede añadir un ácido o una sustancia ácida, tal como cloruro de hierro(II), de manera ventajosa.

En una realización (después del templado), el lodo rojo modificado puede estar sustancialmente libre de uno, dos, tres o de los cuatro componentes siguientes:

- 55 - gibbsita [$\text{Al}(\text{OH})_3$],
- goetita [$\text{FeO}(\text{OH})$],
- boehmita [$\text{AlO}(\text{OH})$],
- cancrinita [$\text{Na}_6\text{Ca}_2[(\text{CO}_3)_2|\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}]$].

- 60 En una realización, el lodo rojo modificado puede estar sustancialmente libre de uno, dos, tres, cuatro o los cinco de

los siguientes componentes:

- titanato de aluminio (Al_2TiO_5),
- hierro (elemental) (Fe)
- 5 - mayenita ($\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$),
- ulvospinell (Fe_2TiO_4),
- andradita [$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$].

Estos componentes no deseados se pueden producir cuando el lodo rojo no se ha lavado suficiente y
10 cuidadosamente, *entre otras cosas*, también se ha liberado de componentes orgánicos y/o se ha calentado o sinterizado en una atmósfera reductora.

El calentamiento puede tener lugar a la temperatura indicada, en particular, durante un período de tiempo de 5 minutos a 36 horas, en particular, de 5 minutos a 24 horas, en particular, de 5 minutos a 12 horas, en particular, de 5
15 minutos a 6 horas, en particular, de 5 minutos a 2 horas, en particular, de 5 minutos a 1 hora, en particular, de 5 minutos a 30 minutos.

En una realización, el lodo rojo modificado puede tener una porosidad de menos de 15 %, en particular, en el intervalo de 5 a 12 %. En este caso, los tamaños de los poros son pequeños. Debido a la modificación del lodo rojo
20 según la invención, tal porosidad comparativamente baja es fácilmente alcanzable y es particularmente adecuada para lograr una alta capacidad térmica ventajosa para el uso previsto del lodo rojo modificado según la invención y conductividad térmica típica para sustancias inorgánicas (debido a la baja dispersión de fonones en superficies límite debido a la porosidad comparativamente baja). La porosidad se puede determinar en particular por medio de isothermas de adsorción de gas según el procedimiento de BJH.

25 En una realización, el lodo rojo modificado puede tener una densidad en el intervalo de 3,90 a 4,0 g/cm³, en particular de 3,91 a 3,95 g/cm³, en particular de 3,92 a 3,94 g/cm³, en particular aproximadamente 3,93 g/cm³. Debido a la modificación del lodo rojo según la invención, dicha densidad comparativamente alta también se puede lograr fácilmente y es particularmente adecuada para lograr una alta capacidad térmica ventajosa para el uso
30 previsto del lodo rojo modificado según la invención y la conductividad térmica típica.

En una realización, el lodo rojo modificado puede tener un tamaño medio de partícula d₅₀ en el intervalo de 3 a 10 µm, en particular de 5 a 8 µm. El tamaño medio de partícula d₅₀ se puede determinar en particular por medio de difracción láser o difracción láser (MALVERN) según ISO 13320 (2009).
35

En una realización, el lodo rojo modificado puede tener un tamaño de partícula d₁₀ en el intervalo de 0,5 a 2,5 µm, en particular de 1,0 a 2,0 µm, y/o un tamaño de partícula d₉₀ en el intervalo de 15 a 50 µm, en particular de 20 a 40 µm. El tamaño medio de partícula d₁₀ se puede determinar en particular mediante difracción láser y el tamaño de partícula d₉₀ se puede determinar mediante difracción láser (MALVERN) según ISO 13320 (2009).
40

En una realización, el lodo rojo modificado puede tener una capacidad térmica específica a 20 °C en el intervalo de 0,6 a 0,8 kJ/(kg*K), en particular de 0,65 a 0,75 kJ/(kg*K), y/o una capacidad térmica específica a 726,8 °C en el intervalo de 0,9 a 1,3 kJ/(kg*K), en particular de 0,95 a 1,2 kJ/(kg*K). La capacidad térmica específica se puede determinar, en particular, según la norma DIN EN ISO 11357-4.
45

En una realización, el lodo rojo modificado puede tener una conductividad térmica específica en el intervalo de 3 a 35 W/(m*K), en particular de 5 a 20 W/(m*K) en particular de 8 a 12 W/(m*K). La conductividad térmica específica se puede determinar en particular por medio de objetos de prueba en forma de placa en un medidor lambda según DIN ISO 8302.
50

En una realización, el lodo rojo modificado puede estar presente en forma de un material sólido comprimido.

El procedimiento para producir un lodo rojo modificado comprende lavar y secar el lodo rojo con una composición mineral
55

- del 10 al 55 %, en particular del 10 al 50 % en peso de compuestos de hierro,
- del 12 al 35 % en peso de compuestos de aluminio,
- del 3 al 17 % en peso, en particular del 5 al 17 % en peso de compuestos de silicio,
- del 2 al 12 % en peso, en particular del 2 al 10 % en peso de dióxido de titanio,
- 60 - del 0,5 al 6 % en peso de compuestos de calcio, y
- opcionalmente otras impurezas inevitables, y posteriormente el calentamiento del lodo rojo lavado (neutralizado) a

una temperatura de al menos 800 °C, en particular al menos 850 °C, en particular al menos 900 °C, en particular al menos 950 °C, preferentemente al menos 1000 °C, por ejemplo en un intervalo entre 1100 y 1200 °C, por ejemplo 1150 °C.

- 5 El lavado del lodo rojo sirve en particular para que, por las razones expuestas anteriormente, el lodo rojo a calentar esté sustancialmente libre de Na_2O (y otros óxidos alcalinos y alcalinotérreos, tales como K_2O y/o CaO) y preferentemente también esté libre de constituyentes orgánicos que pueden tener un efecto reductor durante el calentamiento. Para este fin, el lavado puede tener lugar en particular por medio de agua, a la que se puede añadir un ácido o una sustancia ácida, tal como cloruro de hierro (II), de manera ventajosa.

- 10 En una realización, el calentamiento puede tener lugar a la temperatura indicada, en particular, durante un período de tiempo de 5 minutos a 36 horas, en particular de 5 minutos a 24 horas, en particular de 5 minutos a 12 horas, en particular de 5 minutos a 6 horas, en particular de 5 minutos a 2 horas, en particular de 5 minutos a 1 hora, en particular de 5 minutos a 30 minutos.

- 15 En una realización, el calentamiento del lodo rojo lavado y seco puede llevarse a cabo en una atmósfera no reductora (neutra) (gaseosa). Como resultado, se puede evitar una reducción (no deseada) de los componentes en el lodo rojo, en particular de los compuestos de hierro.

- 20 En una realización, el lodo rojo se calienta solo una vez (es decir, no más veces). El calentamiento del lodo rojo varias veces, tal como por ejemplo la presinterización, no es necesario como regla en el procedimiento según la invención, de modo que esta etapa adicional del procedimiento (que es innecesario según la invención) se puede omitir ventajosamente.

- 25 En una realización, el procedimiento también puede comprender una granulación precedente del lodo rojo (sinterizado o templado) después del calentamiento y posteriormente una compresión del lodo rojo granulado o del granulado. Una granulación del lodo rojo templado simplifica (o incluso facilita) una compresión dentro de un intervalo de humedad que se establece como muy estrecho.

- 30 En una realización, en el procedimiento para la producción de un lodo rojo modificado se puede producir un lodo rojo modificado según la invención.

- El medio de almacenamiento comprende un lodo rojo modificado según la invención. En el contexto de la presente solicitud, un "medio de almacenamiento" puede entenderse, en particular, como el material de almacenamiento activo (o real). Por ejemplo, en el caso de un medio de almacenamiento de calor, el medio de almacenamiento puede ser un material de almacenamiento de calor que debe tener una capacidad térmica y una conductividad térmica correspondientes (o adecuadas).

- El medio de almacenamiento puede contener opcionalmente componentes adicionales, además del lodo rojo modificado.

- En una realización, el medio de almacenamiento puede comprender además uno o más de los siguientes componentes:

- 45 - un agente para evitar la inclusión de aire (absorción de aire en el interior del medio de almacenamiento) y/o adsorción de aire (acumulación de aire en la superficie). (Por ejemplo, la matriz para el dispositivo de almacenamiento de corriente/calor se puede tratar por medio de una extrusora de doble tornillo con la adición de 5 a 10 % en peso de polidimetisiloxano o polímero de polidifenilsiloxano y con el uso simultáneo de una desgasificación al vacío con una salida máxima (por ejemplo, bombas de vacío de paletas rotativas conectadas en serie) de modo que todas las inclusiones de aire se eliminan por la dispersión intensiva en el sistema de polisiloxano. El material obtenido es amasable).

- un agente para mejorar la conductividad térmica, en particular seleccionado del grupo que consiste en coloides metálicos, polvos metálicos, grafito y sustancias que contienen silicio,

- 55 - un agente para la formación de una composición tixotrópica (en particular mediante la adición de polipentaeritritol y un ácido carboxílico (C18, por ejemplo) a la matriz portadora de calor antes del tratamiento en la extrusora de doble tornillo, la matriz se puede ajustar tixotrópicamente, por ejemplo, en un intervalo extendido. En el procedimiento de activación del medio de almacenamiento de corriente/calor, es decir, calentamiento lento, además del polisiloxano, estos agentes también pueden descomponerse térmicamente en carbono, donde el carbono resultante no tiene efectos negativos sobre las características deseadas del medio del dispositivo de almacenamiento de corriente/calor,

pero mejora la conductividad térmica.

En una realización, el medio de almacenamiento puede estar sustancialmente libre de agentes suavizantes ("plastificantes"). Los suavizantes no suelen ser necesarios en el lodo rojo según la invención, de modo que estos
5 suavizantes (que son innecesarios según la invención) se pueden omitir ventajosamente.

El medio de almacenamiento de calor comprende un medio de almacenamiento según la invención. En el contexto de la presente solicitud, un "medio de almacenamiento de calor" puede entenderse, en particular, como un dispositivo que contiene el medio de almacenamiento como un material de almacenamiento de calor activo y,
10 además, opcionalmente también tiene otros elementos de aparato.

En una realización, el medio de almacenamiento de calor puede ser un almacenamiento de corriente/calor. En el contexto de la presente solicitud, un "almacenamiento de corriente/calor" puede entenderse, en particular, como un dispositivo de almacenamiento que puede convertir la energía eléctrica en energía térmica (energía del calor) y/o
15 puede convertir la energía térmica en energía eléctrica, y que, en particular, puede convertir la energía eléctrica en energía térmica y también la energía térmica en energía eléctrica.

En una realización, el medio de almacenamiento de calor también puede comprender dispositivos para cargar y descargar el medio de almacenamiento de calor. Los dispositivos para cargar y descargar los medios de
20 almacenamiento de calor pueden, por ejemplo, contener componentes mecánicos y/u otros componentes, tales como, por ejemplo, contactos o conexiones conductoras, en particular, contactos o conexiones conductoras de electricidad y/o contactos o conexiones conductoras de calor.

En una realización, el medio de almacenamiento de calor puede ser un almacén de corriente/calor que también
25 comprende medios para convertir la corriente en calor, tales como elementos de calentamiento o alambres de resistencia o alambres de calentamiento. Como resultado, es posible una conversión de energía eléctrica en energía térmica. En este caso, estos medios pueden estar en contacto indirecto o directo con el medio de almacenamiento, por ejemplo, incrustado en este.

30 En una fase de implementación, los medios de almacenamiento de calor pueden ser un almacenamiento de calor/corriente que comprende medios para la conversión de calor en corriente, tales como equipos para generar vapor o aire caliente, turbinas y generadores. Como resultado, es posible una conversión de calor en corriente.

Los medios de almacenamiento de calor según la invención se pueden configurar para la cogeneración tanto por
35 acoplamiento de energía/calor como también por acoplamiento de energía/calor/energía. En otras palabras, los medios de almacenamiento de calor según la invención se pueden usar para la cogeneración por un acoplamiento de energía/calor (o acoplamiento de corriente (energía)/calor) y también por un acoplamiento de energía/calor/energía (o acoplamiento de corriente (energía)/calor/corriente (energía)). Todas las propiedades y características necesarias para ello, tales como densidad ρ , conductividad térmica específica C_p , intervalo de
40 temperatura de trabajo ΔT , conductividad térmica dentro de la sustancia λ , capacidad de transmisión intrínseca de la energía térmica en el dispositivo de almacenamiento (difusividad térmica), porosidad, distribución del tamaño de grano o partícula, dureza y ductilidad simultáneamente alta, así como estabilidad química, pueden ser proporcionadas por el lodo rojo modificado según la invención debido a su composición química o su modificación debido a las tolerancias de fabricación.

45 Por lo tanto, el modo de acción de los medios de almacenamiento de calor se puede dividir en dos etapas:

1ª etapa: cogeneración por acoplamiento de energía/calor

2ª etapa: cogeneración por acoplamiento calor/energía.

50 Ambas etapas se pueden utilizar en cada caso de forma independiente o en combinación como cogeneración por acoplamiento de energía/calor/energía.

La cogeneración por acoplamiento de energía/calor funciona con una eficacia del 95 al 100 %. Por lo tanto, el medio
55 de almacenamiento de calor según la invención es un medio ideal para transmitir calor a sistemas que requieren calor, en otras palabras, es un transmisor de calor de un tipo ideal. Esto incluye, por ejemplo, edificios (sistemas de calefacción de suelos y paredes), también equipos técnicos de todo tipo, como calderas, hornos rotatorios, equipos de destilación, tuberías, máquinas de café y muchos más. La transferencia de calor (acoplamiento de energía/calor) a todos los sistemas de este tipo es más atractiva, ya que se utiliza un procedimiento con una eficacia del 95 -
60 100%. Los sistemas de transferencia de calor utilizados actualmente suelen funcionar con una eficacia del 25 al 35 %. Por lo tanto, la cogeneración por acoplamiento de energía/calor reduce la demanda de energía y, por lo tanto,

los costos de energía a aproximadamente 1/3. Así pues, se pueden ahorrar enormes cantidades de CO₂ procedentes de la combustión de combustibles fósiles a escala mundial. Los medios de almacenamiento de calor para la cogeneración mediante acoplamiento de energía-calor pueden diseñarse de manera que, aparte del lado de transferencia de calor, todas las demás superficies estén aisladas térmicamente. Esto se aplica tanto a espacios
5 como a superficies metálicas de equipos técnicos de todo tipo.

La invención se refiere además al uso de un lodo rojo modificado según la invención como medio de almacenamiento, en particular en un medio de almacenamiento de calor.

- 10 En una realización, el lodo rojo modificado se puede utilizar para almacenar calor a una temperatura de hasta 1000 °C, en particular a una temperatura de más de 100 °C hasta 1000 °C. No obstante, es posible el uso para el almacenamiento de calor a una temperatura superior a 80 °C, en particular a más de 90 °C. En una realización, el lodo rojo modificado se puede usar como medio de almacenamiento que se puede calentar y enfriar simultáneamente. De esta manera se proporciona un tipo de control, por medio del cual, por ejemplo, el medio de
15 almacenamiento no se calienta por encima de 500 °C durante el funcionamiento, de modo que se puede evitar una inversión de cuarzo α (trigonal) a cuarzo β (hexagonal). Es decir, un calentamiento del medio de almacenamiento por encima de un valor umbral predeterminado, tal como por ejemplo 500 °C, se contrarresta emitiendo simultáneamente una cantidad correspondiente de calor a un medio diferente y el enfriamiento correspondiente.
- 20 Esta condición constituye un desarrollo revolucionario de las tecnologías de almacenamiento anteriores. En el pasado, todos los dispositivos de almacenamiento podían cargarse o descargarse (sucesivamente), como, por ejemplo, baterías o instalaciones de almacenamiento de bombeo o depósitos de energía/calor, en los que, en primer lugar, se genera aire caliente por medio de la corriente y a continuación se calientan las piedras (operación de carga). En la 2ª etapa (operación de descarga) las piedras calientes calientan aire frío a aire caliente, que a
25 continuación hace vapor de agua para accionar turbinas y generadores. Tanto en la operación de carga como en la operación de descarga, los intervalos de temperatura de aproximadamente 100 °C a, por ejemplo, 1000 °C o partes de estos son recorridos de lado a lado.

Un problema significativo en el procedimiento de 2 etapas descrito es la capacidad de expansión cúbica o la
30 capacidad de contracción de las sustancias cristalinas contenidas en la sustancia de almacenamiento en los intervalos de temperatura que se ejecutan durante la carga y descarga. Dado que todas las sustancias contenidas tienen coeficientes de expansión diferentes en el intervalo de temperatura respectivo, la sustancia (por ejemplo, piedras naturales) se rompe sistemáticamente y, por lo tanto, se destruye, es decir, la resistencia al choque térmico y la estabilidad del ciclo térmico no se proporcionan en la medida necesaria.

35 Si la carga y descarga pueden tener lugar simultáneamente, ya no es necesario correr a través de intervalos de temperatura relativamente grandes. El funcionamiento del dispositivo de almacenamiento ahora puede tener lugar a una temperatura arbitraria y deseada, o dentro de un intervalo de temperatura estrecho. La energía suministrada durante la operación de carga se extrae en la misma medida durante la operación de descarga. En otras palabras:
40 con una temperatura aproximadamente constante, el coeficiente de expansión permanece estable y no cambia. Por lo tanto, la fuerza destructiva de los coeficientes de expansión que cambian específicamente en cada sustancia contenida no ocurre. Se proporciona la resistencia al choque térmico y la estabilidad del ciclo térmico, es decir, los medios de almacenamiento de calor se pueden operar a largo plazo. Por ejemplo, si no se superan los 500 °C, no se producen descomposiciones aparte de las de hidróxidos, hidratos de óxido y carbonatos, y tampoco se producen
45 procedimientos de sinterización, etc. La sustancia de almacenamiento permanece estable en todos los parámetros, y se omiten cambios tales como descomposiciones, transformaciones de fase, sinterización. La exclusión de la solución sódica cáustica libre o del carbonato sódico resultante de la carbonización impide que los óxidos alcalinos o alcalinotérreos influyan en la formación de especies químico-mineralógicas en los intervalos de temperatura que atraviesan. Sólo de esta manera pueden formarse sustancias claramente definidas con parámetros definidos en
50 todos los aspectos. Por ejemplo, solo las siguientes sustancias están contenidas en la sustancia de almacenamiento según la invención: hematita, alfa-Al₂O₃, anatasa, rutilo, perovskita, cancrinita y cuarzo.

Si se producen cantidades máximas de corriente que deben almacenarse, el intervalo de temperatura de trabajo del dispositivo de almacenamiento debe ampliarse, por ejemplo, a 1000 °C, los componentes químico-mineralógicos del
55 material de almacenamiento cambian (cf. Tabla 1 "residuo de bauxita de fase mineral"), la estabilidad del ciclo térmico y la resistencia al choque térmico se mantienen, ya que las operaciones de carga y descarga tienen lugar a una temperatura o en un intervalo de temperatura estrecho, es decir, la autodestrucción del dispositivo de almacenamiento inducida por el coeficiente de expansión no puede ocurrir.

60 En una realización, el lodo rojo modificado se puede usar como medio de almacenamiento en un almacén de corriente/calor.

En una realización, el medio de almacenamiento se puede calentar por medio de corriente eléctrica y/o enfriar mientras se genera corriente eléctrica.

- 5 En una realización, el lodo rojo modificado se puede utilizar para el almacenamiento de energía eléctrica obtenida de fuentes de energía renovables. En el contexto de la presente solicitud, se puede entender que "fuentes de energía renovables" son, en particular, la energía eólica, la energía hidroeléctrica, la energía mareomotriz, la energía solar, la energía geotérmica y la biomasa, pero preferentemente las fuentes de energía renovables para las cuales la escala de tiempo se aleja en gran medida de la influencia humana y para las cuales, por lo tanto, es muy importante la posibilidad de un almacenamiento efectivo, como, en particular, la energía eólica, la energía mareomotriz y la energía solar.

En una realización, el almacenamiento de corriente/calor puede comprender cables de resistencia, que se calientan mediante corriente eléctrica y, por lo tanto, calientan el medio de almacenamiento.

- 15 En una realización, la energía térmica almacenada en el medio de almacenamiento se puede transferir a otro medio, preferentemente un medio fluido, y por lo tanto el medio de almacenamiento se puede enfriar (descargar), donde el otro medio o también el medio de intercambio de calor se selecciona en particular del grupo que consiste en agua, (vapor), sal fundida, tal como por ejemplo líquidos iónicos, y aceite o gas térmico.

- 20 El medio de almacenamiento puede tener el otro medio o medio de intercambio de calor que fluye a través de él, por ejemplo, a la manera de un intercambiador de calor. Una configuración correspondiente del medio de almacenamiento como un intercambiador de calor es posible debido a la al menos formabilidad libre inicial del medio de almacenamiento. En este caso, por ejemplo, se pueden proporcionar tuberías serpenteantes para los medios fluidos correspondientes en un elemento de medio de almacenamiento/elementos de medio de almacenamiento correspondientes. Por otro lado, sin embargo, los elementos del medio de almacenamiento con forma de bloques geométricos también se pueden disponer de modo que se produzca un sistema de tuberías correspondiente con una sección transversal rectangular, poligonal o redonda. Alternativamente, el otro medio o medio de intercambio de calor también podría fluir o barrer sobre bloques correspondientes del medio de almacenamiento cuando este otro medio o medio de intercambio de calor fluye sobre la o las superficies del medio de almacenamiento a una velocidad de flujo preseleccionable.

- En este caso, el control del enfriamiento (descarga) del medio de almacenamiento puede tener lugar, por ejemplo, mediante la temperatura y la velocidad de flujo del otro medio o medio de intercambio de calor. Como resultado, se puede evitar un calentamiento y/o enfriamiento del medio de almacenamiento por encima o por debajo de un valor umbral predeterminado.

- En este caso, la generación de corriente eléctrica puede tener lugar, por ejemplo, por medio de turbinas de vapor o por medio de turbinas de gas, donde en este último caso el medio de almacenamiento podría, por ejemplo, asumir la función de la "cámara de combustión" para calentar el gas de trabajo. En este caso, el aire puede usarse como gas de trabajo.

- En una realización, el medio de almacenamiento y un dispositivo de descarga pueden proporcionarse integralmente o como elementos separados. Aquí, por ejemplo, se pueden concebir instalaciones en las que los elementos de medio de almacenamiento, el dispositivo regulador y el conjunto de generación de corriente forman un sistema que, por ejemplo, está integrado e instalado en la región de un edificio con una instalación solar como conjunto cerrado.

- En una realización, el almacenamiento de corriente/calor se puede utilizar para el transporte de energía eléctrica después de que la cogeneración ha tenido lugar sin la presencia de sistemas de línea. A este respecto, por ejemplo, se podrían proporcionar elementos de medio de almacenamiento con una masa baja, por ejemplo, de tres a cinco kilogramos, que a continuación se pueden transportar en cajas de aislamiento térmico de forma segura y con baja pérdida de calor sobre secciones amplias. Una vez llegada al destino, la energía eléctrica puede a continuación recuperarse de nuevo de la energía térmica.

- 55 En una realización, el almacén de corriente/calor puede generar corriente eléctrica nuevamente después de la cogeneración mediante acoplamiento de calor/corriente. En esta conexión se pueden usar turbinas de gas o vapor, pero también generadores termoeléctricos, basados en el efecto termoeléctrico o de Seebeck.

- En una realización, el almacén de corriente/calor se puede usar para suministrar energía a consumidores de energía aislados.

En una realización, a los consumidores de energía aislada se les puede suministrar energía térmica y energía eléctrica. Es decir, aquí es posible una operación llamada aislada, independientemente de una conexión a la red eléctrica.

- 5 En una realización, el almacén de corriente/calor se puede utilizar para suministrar energía a máquinas o dispositivos móviles tales como vehículos. Esto es adecuado, por ejemplo, para vehículos que tienen un accionamiento por turbina de gas, en el que el medio de trabajo se puede calentar por medio de un elemento de medio de almacenamiento.
- 10 Un medio de almacenamiento de calor que puede cargarse y descargarse simultáneamente es siempre, en el sentido de cogeneración por acoplamiento de energía/calor/energía, una planta de energía térmica que consiste en un generador de corriente como, por ejemplo, fuentes de energía renovables (y, por lo tanto, libres de CO₂), un dispositivo de almacenamiento, una turbina y un generador.
- 15 Sin embargo, un medio de almacenamiento de calor de este tipo también puede usarse en una forma ideal como intercambiador de calor con otros sistemas. En este caso se trata de cogeneración por acoplamiento de energía/calor, por ejemplo en el sector de la tecnología de los aparatos. Ya no es necesario que el calentamiento, por ejemplo, de calderas, hornos rotatorios o instalaciones técnicas de todo tipo tenga lugar, por ejemplo, con vapor o gases de combustión calientes, sino que es posible calentar la sustancia de almacenamiento, por ejemplo, mediante energía (corriente de EE) y transmitirla por contacto directo, por ejemplo, sobre metal, cerámica u otras sustancias. Dado que la eficacia de la cogeneración por acoplamiento de energía/calor es del 95 al 100 %, es posible el calentamiento de sistemas que tengan tasas de eficiencia similares. Estas ventajas reducirán significativamente los costes energéticos en el futuro y simplificarán las construcciones técnicas. Esto incluye, por ejemplo, el calentamiento de edificios por elementos que se pueden calentar y contienen el medio de almacenamiento.

Se describen otros objetos y ventajas de las realizaciones de la presente invención con referencia a la siguiente descripción detallada y los dibujos adjuntos.

- 30 La Figura 1 muestra una distribución de tamaño de partícula de un residuo de bauxita convencional seco. La Figura 2 muestra las características de densidad de una muestra de ensayo durante el calentamiento del lodo rojo desde 100 °C hasta 1000 °C en una atmósfera de oxígeno (O₂) o nitrógeno (N₂). La Figura 3 muestra una distribución del tamaño de partícula de un lodo rojo templado a 1000 °C según una realización ejemplar de la invención.
- 35 La Figura 4 es una representación gráfica de la serie de mediciones mostradas en la Tabla 3 para la capacidad térmica específica de ALFERROCK® según una realización ejemplar de la invención.

A continuación se describen detalles adicionales de la presente invención y realizaciones adicionales de la misma. Sin embargo, la presente invención no se limita a la siguiente descripción detallada, sino que sirve meramente para

- 40 ilustrar la enseñanza según la invención.

Cabe señalar que las características que se describen en relación con una realización ejemplar o un sujeto ejemplar se pueden combinar con cualquier otra realización ejemplar o con cualquier otro sujeto ejemplar. En particular, las características que se describen en relación con una realización ejemplar de un lodo rojo modificado según la invención se pueden combinar con cualquier otra realización ejemplar de un lodo rojo modificado según la invención, así como con cualquier realización ejemplar de un procedimiento para la producción de un lodo rojo modificado, de un medio de almacenamiento, de un medio de almacenamiento de calor y de usos de un lodo rojo modificado, y viceversa, a menos que se indique explícitamente lo contrario.

- 50 Si un término se designa con un artículo indefinido o definido, como por ejemplo "un", "una" y "el/la", en singular, esto también incluye el término en plural, y viceversa, siempre que el contexto no especifique lo contrario de forma inequívoca. La expresión "comprender" o "tener", tal como se usa en la presente, incluye no solo el significado de "contener" o "incluir", sino que también puede significar "consistir en" y "consistir sustancialmente en".
- 55 Para los estudios realizados dentro del contexto de la presente invención, en primer lugar se caracterizó el material a estudiar a temperatura ambiente, y en particular se determinó la composición química así como la mineralógica. Además, este material se calentó lentamente a 1000 °C, y en este caso cada 100 °C se determinaron las fases mineralógicas, así como la densidad y la capacidad térmica específica.

La caracterización del material a estudiar:

1. Composición química (típica para residuos de bauxita)

- 5 • 10 a 50 % en peso de compuestos de hierro
- 12 a 35 % en peso de compuestos de aluminio
- 5 a 17 % en peso de compuestos de silicio
- 2 a 10 % en peso de dióxido de titanio
- 0,5 a 6 % en peso de compuestos de calcio

10

2. Composición mineralógica

En el estado inicial del estudio se determinaron radiográficamente las siguientes fases minerales:

- 15 • hematita
- goetita
- anatasa
- rutilo
- perovskita
- 20 • boehmita
- gibbsite
- cancrinita
- cuarzo

25 3. Tamaño de las partículas

Los diámetros de partícula (μm) se muestran en la Figura 1. Según esto, la sustancia es muy fina y tiene 3 máximos. Con una buena distribución era de esperar que la sustancia tuviera una alta densidad, ya que los cristales muy finos pueden insertarse en cavidades en los cristales medios finos y estos últimos pueden insertarse en cavidades en los cristales más gruesos. La densidad medida de $3,63 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ confirma esta evaluación.

30

Mediante la adición de sustancias térmicamente estables y químicamente inertes con distribución arbitraria del tamaño de partícula, cualquier cavidad aún presente puede reducirse con un efecto sobre las características mecánicas, eléctricas y térmicas. Esto constituye una optimización adicional del mecanismo de almacenamiento en el contexto de la invención.

35

4. Realización de la prueba

Las muestras de la sustancia de prueba se calentaron en etapas bajo oxígeno y bajo nitrógeno hasta $1.000 \text{ }^\circ\text{C}$. Se tomaron muestras en cada caso a $100 \text{ }^\circ\text{C}$, $200 \text{ }^\circ\text{C}$, $300 \text{ }^\circ\text{C}$, $400 \text{ }^\circ\text{C}$, $500 \text{ }^\circ\text{C}$, $600 \text{ }^\circ\text{C}$, $700 \text{ }^\circ\text{C}$, $800 \text{ }^\circ\text{C}$, $900 \text{ }^\circ\text{C}$ y $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ y se determinaron los cambios en la composición mineralógica así como la densidad.

40

La capacidad térmica específica se midió en el intervalo de temperatura desde la temperatura ambiente ($30,26 \text{ }^\circ\text{C}$) hasta $584,20 \text{ }^\circ\text{C}$.

45 5. Interpretación de los resultados

5.1 Fases minerales

La composición mineralógica de la sustancia cambia según la temperatura (véase la Tabla 1 siguiente).

50

A aproximadamente $300 \text{ }^\circ\text{C}$ la gibbsite se descompone, a aproximadamente $400 \text{ }^\circ\text{C}$ la goetita se descompone y a aproximadamente $500 \text{ }^\circ\text{C}$ la boehmita se descompone. A $573 \text{ }^\circ\text{C}$, el cuarzo alfa se transforma en cuarzo beta.

Por encima de $600 \text{ }^\circ\text{C}$, la emisión de CO_2 de cancrinita $\text{Na}_6\text{Ca}_2[(\text{AlSiO}_4)_6]$ tiene lugar sustancialmente a partir de hematita (Fe_2O_3) y corindón (Al_2O_3) y, en proporciones más pequeñas, de TiO_2 , cancrinita y perovskita.

55

A $1000 \text{ }^\circ\text{C}$, la cancrinita y las dos fases de TiO_2 anatasa y rutilo se convierten en los minerales pseudobrookita $[(\text{Fe}^{3+})_2\text{Ti}]_2\text{O}_5$ y nefelina $[(\text{Na},\text{K})[\text{AlSiO}_4]]$.

60

Tabla 1: Fases minerales residuo de bauxita (densidad aparente 0,944 g/cm³)

T[°C]	Fases minerales Residuo de bauxita GEA	Densidad $\frac{g}{cm^3}$
100	Hematita, goetita, anatasa, rutilo, perovskita, boehmita, gibbsita, cancrinita, cuarzo	3,63
200	Hematita, goetita, anatasa, rutilo, perovskita, boehmita, gibbsita, cancrinita, cuarzo	3,64
300	Hematita, goethita, anatasa, rutilo, perovskita, boehmita, cancrinita, cuarzo, α -Al ₂ O ₃	3,74
400	Hematita, goethita, anatasa, rutilo, perovskita, boehmita, cancrinita, cuarzo, α -Al ₂ O ₃	3,81
500	Hematita, anatasa, rutilo, perovskita, boehmita, cancrinita, cuarzo, α -Al ₂ O ₃	3,81
600	hematita, anatasa, rutilo, perovskita, cancrinita, cuarzo, α -Al ₂ O ₃	3,89
700	hematita, anatasa, rutilo, perovskita, cancrinita, cuarzo, α -Al ₂ O ₃	3,60
800	hematita, anatasa, rutilo, perovskita, cancrinita, cuarzo, α -Al ₂ O ₃	3,71
900	hematita, anatasa, rutilo, perovskita, cancrinita, cuarzo, α -Al ₂ O ₃	3,73
1000	hematita, anatasa, rutilo, perovskita, cuarzo, α -Al ₂ O ₃ , nefelina, pseudobrookita	3,93

5.2 Densidad

- 5 Como se puede ver en la Figura 2, la densidad se desarrolla en función de la temperatura de 3,63 (g/cm³) a 100 °C a 3,93 (g/m³) a 1000 °C. La descomposición de las fases minerales con la eliminación del agua y el CO₂, así como los procedimientos de sinterización, reducen la densidad entre 600 °C y 700 °C, para a continuación llegar a 1.000 °C para volver a elevarse a un valor de 3,93 (g/cm³).
- 10 Para aplicaciones en el intervalo térmico sólo es posible utilizar sustancias que sean estables como cuerpos y que en los respectivos intervalos de temperatura arbitrarios no eliminen ningún otro gas como H₂O o CO₂ y tampoco se sometan a ningún otro procedimiento de sinterización. Óxidos tales como Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂ o SiO₂ apenas cambian significativamente en caso de aumentos de temperatura. Una característica significativa se revela por el hecho de que la densidad de la sustancia calentada a 1000 °C permaneció constante durante la constante de enfriamiento,
- 15 por ejemplo, no se produjeron rehidrataciones.

5.3 Tamaño de partícula

- El templado de la sustancia según la invención hasta temperaturas de 1000 °C cambia los diámetros de las
- 20 partículas a valores significativamente más altos, por ejemplo, por descomposición de hidróxidos, hidratos de óxido o carbonatos y por procedimientos de sinterización (cf. Figura 3). Así, por ejemplo

- los valores de d₁₀ crecen de 0,074 µm a 1,341 µm
 - los valores de d₅₀ crecen de 0,261 µm a 6,743 µm
- 25 • los valores de d₉₀ crecen de 1,692 µm a 28,17 µm

5.4 Capacidad térmica específica

- La capacidad térmica específica de las sustancias es una función de la temperatura. A medida que aumenta la
- 30 temperatura, también aumenta la capacidad térmica específica. La siguiente Tabla 2 muestra los ejemplos correspondientes.

Tabla 2: Capacidad térmica específica a diferentes temperaturas:

		20° C	726,8° C
Fe₂O₃	(kJ/(kg □ K))	0,650	0,944
Al₂O₃	(kJ/(kg □ K))	0,775	1,223
SiO₂	(kJ/(kg □ K))	0,732	1,148
TiO₂ rutilo	(kJ/(kg □ K))	0,689	0,937
TiO₂ anatasa	(kJ/(kg □ K))	0,691	0,943

En las mezclas, la capacidad térmica específica es la suma de las capacidades térmicas específicas de los componentes respectivos de las mezclas.

5

La caracterización de la sustancia proporcionada muestra una mezcla de diferentes sustancias minerales. Durante el templado, partes de las sustancias se descomponen y, por ejemplo, eliminan el agua o el CO₂ con la formación de óxidos u otras fases minerales químicamente estables. Además, se llevan a cabo procedimientos de sinterización.

- 10 Los resultados de la medición de estas sustancias muestran un valor de 0,791 (kJ/(kg * K)) a 30 °C y un valor de 1,037 $\left(\frac{kJ}{kg \cdot K}\right)$ a 584 °C. A 1.000 °C se puede suponer un valor de 1,14- 1,18 $\left(\frac{kJ}{kg \cdot K}\right)$ por extrapolación (cf. Fig. 4).

Tabla 3: Serie de mediciones de capacidad térmica específica ALFERROCK®

Temperatura de la muestra [°C]	capacidad térmica c _p ALFERROCK® [(kJ)/(kgK)]
30,3 °C	0,791
50,1 °C	0,832
69,8 °C	0,858
89,6 °C	0,877
109,4 °C	0,89
129,2 °C	0,898
149,0 °C	0,907
168,8 °C	0,915
188,5 °C	0,922
208,3 °C	0,928
228,1 °C	0,935
247,9 °C	0,94
267,7 °C	0,948
287,5 °C	0,95
307,3 °C	0,96
327,0 °C	0,963
346,8 °C	0,969
366,6 °C	0,977
386,4 °C	0,985
406,2 °C	0,989
426,0 °C	0,999
445,7 °C	1,002
465,5 °C	1,01
485,3 °C	1,017
505,1 °C	1,02

524,9 °C	1,026
544,6 °C	1,031
564,2 °C	1,035
584,2 °C	1,037

Durante el enfriamiento de la sustancia calentada a 1000 °C, los valores de c_p vuelven a los valores que corresponden a las temperaturas respectivas. Sin embargo, dado que la sustancia de partida ha cambiado debido a las descomposiciones de las fases minerales y a la formación de otras sustancias y que también se han producido procedimientos de sinterización, después del enfriamiento la sustancia tendrá valores diferentes de la capacidad térmica específica de la sustancia de partida. Es importante establecer que, después del templado, está disponible una sustancia estable, que puede calentarse y enfriarse con cualquier frecuencia y que en este caso no experimenta ningún cambio adicional en las sustancias individuales en la mezcla. Como ya se ha mencionado, esto también se aplica a la densidad.

5.5 Conductividad térmica específica

La conductividad térmica de un sistema es, entre otras cosas, una función de parámetros tales como presión, temperatura, composición mineralógica, porosidad, densidad, etc.

Como se describe, todos los componentes térmicamente inestables se han descompuesto por calentamiento de la sustancia proporcionada. Después del templado se produce una sustancia que consiste en corindón (Al_2O_3), hematita (Fe_2O_3), rutilo y anatasa (TiO_2), así como sustancias ignífugas como pseudobrookita $[(\text{Fe}^{3+})_2\text{Ti}]\text{O}_5$ o nefelina $[(\text{Na},\text{K})[\text{AlSiO}_4]]$.

En la siguiente Tabla 4 se muestran los valores de la conductividad térmica y densidad de aquellas sustancias que constituyen los componentes más importantes de la sustancia templada.

Tabla 4: Conductividad térmica y densidad de los componentes individuales

	Conductividad térmica:	Densidad
Anatasa TiO_2	4,8 - 11,8 (W/(m °C))	3,89 (g/cm ³)
Rutilo TiO_2	4,8 - 11,8 (W/(m °C))	4,25 (g/cm ³)
Hematita Fe_2O_3	6 (W/(m °C))	5,26 (g/cm ³)
Corindón Al_2O_3	3,0 – 35 (W/(m °C))	3,99 (g/cm ³)
Cuarzo SiO_2	18,37 (W/(m °C))	2,65 (g/cm ³)

Durante el procedimiento de templado, el diámetro de las partículas de las sustancias producidas ha aumentado significativamente y, en este caso, la superficie ha disminuido. Por lo tanto, dentro de los cristales primarios, la conductividad también aumentó a los valores que se establecen en la Tabla 4. En principio, en las mezclas de cristales, los fonones se reflejan en los límites del cristal con una reducción simultánea de la conductividad térmica, es decir, existe una relación causal entre las estructuras cristalinas y la conductividad térmica de una sustancia.

El aire todavía está contenido en la mezcla de sustancias y, como mal conductor del calor, disminuye la conductividad térmica medida. Para evitar este efecto, son posibles diferentes procedimientos, incluida, por ejemplo, la aplicación de presión, es decir, presionar la sustancia para formar cuerpos sólidos.

Además, se pueden añadir sustancias, que evitan las inclusiones de aire entre los cristallitos o en la superficie de los cristallitos y, por lo tanto, permiten la producción de bloques de sustancias sólidas.

Estos incluyen, por ejemplo:

- 5 • coloides metálicos
- polvo metálico
- grafito
- sustancias pirolizantes sinterizables basadas en Si

Además de la adición de dichas sustancias, también se puede utilizar presión y energía térmica.

Es crucial ser capaz de producir buenos bloques de sustancias conductoras del calor. Para el uso de la sustancia obtenida después del templado como medio de almacenamiento de calor, una buena conductividad térmica, en particular la prevención de inclusiones de aire, es significativa para la operación de carga (calentamiento de la sustancia) y para la operación de descarga (transferencia del calor almacenado a sistemas que, por ejemplo, generan vapor).

Ejemplo:

Una mezcla de la sustancia proporcionada que consiste en sustancia sin templar y sustancia templada hasta 1000 °C en una proporción de 1:1 se modifica en la superficie con PDMS al 5 % (prepolímero de polidimetilsiloxano) y se introduce en una amasadora BUSS o en una extrusora de doble tornillo corrotativa. La máquina de composición tiene una temperatura de alojamiento de 135 °C y degasificación máxima al vacío. El par se establece en 65 - 85 % del máximo. El material se retira por medio de un transportador de enfriamiento.

El producto resultante, libre de agua y aire, se introduce en el recipiente aislado y se comprime mecánicamente. A continuación, la temperatura se aumenta lentamente a 1.000 °C y, por lo tanto, el medio de almacenamiento de calor se prepara para su funcionamiento. En lugar de PDMS, se pueden usar otras sustancias, como polvos metálicos, grafito o soluciones salinas.

6. Resumen

Después del lavado o la neutralización, se utiliza como material de partida el residuo de bauxita/lodo rojo, que en gran medida está libre de álcalis y tierras alcalinas. El objetivo es obtener estructuras de sustancias simples y claramente definidas con parámetros claros incluso después del templado a, por ejemplo, 1000 °C o temperaturas más altas.

Durante el templado hasta temperaturas de 1.000 °C, todos los componentes de la mezcla de sustancias que son inestables en este intervalo de temperaturas se descomponen. Estos incluyen gibbsita, goethita, boehmita, así como cancrinita y las fases TiO₂ que, donde aplicable, forman pseudobrookita [(Fe³⁺)₂Ti]O₅ y nefelina [(Na,K) (AlSiO₄)] a 1000 °C.

Después del enfriamiento, se formó una mezcla de sustancias, que consiste en óxidos tales como Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, SiO₂ y opcionalmente sustancias que son resistentes a altas temperaturas, tales como pseudobrookita y nefelina, que no mostraron ningún cambio adicional después de un templado renovado a 1000 °C.

Con el cambio mencionado anteriormente en la composición del material, la densidad también cambió de 3,63 (g/cm³) a temperatura ambiente para 3,93 (g/cm³) a 1.000 °C. Esta operación esperada fue acompañada adicionalmente por efectos de sinterización. Durante el enfriamiento de la mezcla de sustancias templada a 1000 °C, la densidad alcanzada a 1000 °C permanece sin cambios, ya que la densidad de óxidos como Al₂O₃, Fe₂O₃, así como TiO₂ y SiO₂ no cambia en los intervalos de temperatura entre 25 °C y 1000 °C.

Estos efectos de sinterización y la descomposición de las fases minerales han llevado a un aumento del diámetro de las partículas en la mezcla de sustancias. Mientras que antes del templado, por ejemplo, d₅₀ = 0,261 µm y d₉₀ = 1,692 µm aplicados, después del templado se pudieron medir los siguientes valores: d₅₀ = 6,743 µm y d₉₀ = 28,17 µm. La ampliación de las partículas significa una reducción de la superficie y una mejor conductividad térmica. El contenido de aire (mal conductor de calor) se redujo entre los cristallitos muy pequeños.

El estudio de la capacidad térmica específica de la sustancia caracterizada mostró un aumento en la capacidad térmica específica de 0,79 (kJ/(kg K)) a 25 °C para 1,037 (kJ/(kg K)) a 600 °C. A 1000 °C se espera un valor de 1,14-

1,18 (kJ/(kg K)) por extrapolación.

Dado que, como ya se ha dicho, la densidad también ha aumentado, el producto de la densidad y la capacidad térmica específica, como criterio crucial para las aplicaciones como medios de almacenamiento de calor, alcanza valores superiores al del agua. El agua tiene una densidad a 20 °C de 998,2 (kg/m³) y una capacidad térmica específica excepcional de 4,182 (kJ/(kg K)). Esto resulta en una capacidad térmica volumétrica de 4175 (kJ/m³ K). Por otro lado, la sustancia proporcionada tiene una densidad de 3890 (kg/m³) y una capacidad térmica específica de 1,037 (kJ/(kg K)) y, por lo tanto, una capacidad térmica volumétrica de 4,034 (kJ/(m³ K)) a aproximadamente 600 °C. A 1000 °C se producen valores para una densidad de 3.930 (kg/m³) y una c_p de 1,16 (kJ/(kg K)). Así la capacidad térmica volumétrica alcanza un valor de 4,559 (kJ/(m³ K)). Este valor excede significativamente el valor del agua.

Una diferencia sustancial entre el agua y la sustancia especificada es la temperatura a la que pueden operar los medios de almacenamiento. Si bien el agua funciona idealmente en intervalos de temperatura entre 40 °C y 90 °C, es decir, tiene un ΔT de 50 °C, la sustancia proporcionada puede funcionar en el intervalo de temperatura de hasta 1000 °C, es decir, la sustancia puede evaporar el agua por encima de una temperatura de 100 °C y, por lo tanto, puede funcionar con un ΔT de 900 °C. Por esta razón, la sustancia suministrada puede almacenar entre 15 y 20 veces más calor que el agua (según el volumen).

En los medios de almacenamiento, el coeficiente de conductividad térmica es más importante para la operación de carga (calentamiento del dispositivo de almacenamiento) que para la operación de descarga. La conductividad térmica de los óxidos contenidos sustancialmente en la sustancia está entre 3 y 35 (W/(m K)). Lo que es crucial para los medios de almacenamiento de calor es la necesidad de poder compactar la sustancia utilizada como medio de almacenamiento para formar bloques sólidos en los que la energía térmica pueda fluir de manera óptima, es decir, desde el elemento de calentamiento hacia la sustancia de almacenamiento, dentro de la sustancia de almacenamiento y desde la sustancia de almacenamiento hacia los sistemas que consumen energía térmica. A este respecto, es ventajoso que se eliminen los gases que conducen mal el calor dentro de la sustancia o en la superficie de la sustancia. Además de las aplicaciones de presión, se pueden agregar sustancias mediante las cuales los cristales primarios se "pegan". Estos incluyen, por ejemplo, coloides metálicos, polvo metálico, grafito, sustancias pirolizantes sinterizables que contienen Si. Por encima de todo, también es crucial que en el procedimiento de templado de la sustancia proporcionada se descompongan hasta 1000 °C todas las sustancias inestables y, por lo tanto, se ponga a disposición una sustancia de almacenamiento predominantemente oxidada y térmicamente estable que se pueda calentar y enfriar con cualquier frecuencia sin generar gases como H₂O o CO₂, que pueden destruir el bloque de almacenamiento.

La carga y descarga de los medios de almacenamiento de calor tienen lugar simultáneamente a una temperatura arbitraria o en un intervalo de temperatura estrecho. Como resultado, se evita un cambio permanente en los coeficientes de expansión térmica y el comportamiento de choque térmico y el comportamiento de ciclo térmico se estabilizan en el sentido de una expectativa de larga vida útil del dispositivo de almacenamiento de energía.

Uso de la sustancia proporcionada como material de almacenamiento para medios de almacenamiento de calor a alta temperatura

El sistema de almacenamiento

Tanto el agua como las sustancias sólidas (por ejemplo, la sustancia descrita anteriormente) pertenecen a los sistemas sensibles de almacenamiento de calor (sensibles, porque el calor del dispositivo de almacenamiento es perceptible).

Los medios de almacenamiento de calor se pueden calentar mediante acoplamiento de fuerza/calor mediante energía eléctrica de parques eólicos o instalaciones solares. En el aire en calma o en la oscuridad, estos medios de almacenamiento de calor pueden, por ejemplo, generar vapor que impulsa turbinas que, a su vez, generan energía eléctrica (cogeneración por acoplamiento calor/fuerza) mediante generadores conectados corriente abajo. Por lo tanto, el medio de almacenamiento de calor asume el papel de generador de emergencia o, en gran escala, de "plantas de energía de reemplazo". Si este procedimiento es exitoso, los sistemas de líneas de energía también pueden diseñarse de manera simple y efectiva.

Los requisitos para los acumuladores de energía se establecen a continuación:

- Alta densidad de energía
- Alta densidad de potencia
- Bajo consumo acumulado de energía

- Pérdidas bajas
- Baja autodescarga
- Larga vida útil del ciclo
- Larga vida útil

- 5 • Bajos costes de inversión
 • Bajos costes operativos

La sustancia proporcionada cumple con los requisitos establecidos en amplia medida.

La sustancia es

- 10 • inorgánica
 • segura
 • con una larga vida útil
 • reciclable
- 15 • disponible en cantidades muy grandes
 • muy económica
 • funciona en el intervalo de temperatura de hasta 1.000 °C
 • se puede cargar y descargar simultáneamente
 • se puede fabricar con facilidad.

20 En particular, el hecho de que, como medio de almacenamiento sensible a altas temperaturas, la sustancia proporcionada pueda cargarse y descargarse simultáneamente permite operar una central de energía de almacenamiento controlable y en funcionamiento permanente. De esta manera, se pueden compensar las deficiencias de generación de energía o se pueden satisfacer demandas más altas.

25 Además, los medios de almacenamiento de calor pueden utilizarse, en particular, para parques eólicos o solares, lo que hace que la energía generada allí sea capaz de proporcionar energía de base como "solución global".

30 Además, se pueden utilizar pequeños conjuntos de almacenamiento de calor, por ejemplo, para una fuente de energía completa, por ejemplo, para edificios residenciales. Estos pequeños conjuntos son calentados, por ejemplo, por fuentes de energía renovables y, a continuación, se utilizan como reemplazo rutinario para el suministro completo de energía, es decir, suministro de energía térmica y electricidad, para edificios residenciales.

35 Además, se pueden utilizar pequeños conjuntos de almacenamiento de calor en máquinas de todo tipo para el suministro de energía.

Además, después de la cogeneración, la energía eléctrica se puede hacer "transportable" en forma de medios de almacenamiento de calor sin sistemas de líneas.

40 Los vehículos también pueden ser alimentados de esta manera. Después de que se ha producido la cogeneración por acoplamiento de calor/energía, los medios de almacenamiento de calor que se reemplazan regularmente como baterías pueden operar motores eléctricos, en comparación con las baterías de litio.

45 El equipo para la conversión de calor en energía eléctrica puede proporcionarse como un componente integral del dispositivo de almacenamiento o en conjuntos que son independientes del mismo.

Ejemplo

50 La sustancia suministrada es una torta de filtración que, en primer lugar, debe someterse a un tratamiento térmico, es decir, debe calentarse lentamente hasta 1.000 °C. En este caso, primero se evapora el contenido de agua de la torta de filtración, a continuación se calcinan hasta 1.000 °C todos los minerales que son inestables en el intervalo de altas temperaturas. A continuación, la sustancia consiste solo en óxidos, así como en fases inorgánicas estables como la nefelina u otras. Esta sustancia se enfría y forma la masa de almacenamiento.

55 La carga (es decir, el calentamiento) de la masa de almacenamiento se lleva a cabo directamente mediante cables de resistencia incrustados o elementos de calentamiento, es decir, cables de resistencia en manguitos de cerámica u otros sistemas. Mediante dispositivos de control correspondientes, la masa de almacenamiento se puede ajustar constantemente a temperaturas arbitrarias.

60 La descarga se realiza por medio de una circulación de agua que pasa a través de la masa de almacenamiento en un punto adecuado y óptimo del intervalo de temperatura/presión de vapor. El agua se evapora, el vapor impulsa las

turbinas, se genera corriente. El exceso de vapor es guiado de nuevo a la circulación de agua por medio de equipos de enfriamiento ("torre de enfriamiento").

Se pueden establecer condiciones óptimas mediante la conducción térmica específica del medio de almacenamiento de calor entre el suministro de calor (punto más caliente) y el consumo de calor.

El material de almacenamiento de calor se consolida con medios de calentamiento para el suministro de calor y el sistema de tuberías (agua) para la disipación del calor para formar un bloque. Este bloque está aislado térmicamente del exterior.

10

La afirmación de que el sistema de almacenamiento de calor caracterizado de esta manera puede cargarse y descargarse simultáneamente es crucial. Por regla general, las instalaciones de almacenamiento están diseñadas para que se carguen o descarguen; véase, a este respecto, instalaciones de almacenamiento bombeadas. Por otro lado, con la posibilidad de la carga simultánea por fuentes de energía renovables y la descarga, es posible construir centrales de energía de almacenamiento estables que sean capaces de proporcionar energía de carga base.

15

Actualmente, el sistema de almacenamiento de calor más importante para los medios sensibles de almacenamiento de calor es el agua. Este sistema se caracteriza por que funciona con agua idealmente en un intervalo de temperatura de 40 °C - 90 °C, ya que por encima de 100 °C el agua está presente como vapor. Por lo tanto, el agua tiene un ΔT de 50 °C.

20

A diferencia de esto, el sistema de almacenamiento de calor que funciona con una masa de almacenamiento que se ha producido a partir de la sustancia proporcionada puede funcionar a temperaturas de hasta 1000 °C, es decir, la sustancia puede evaporar el agua por encima de una temperatura de 100 °C y, por lo tanto, puede funcionar con un ΔT de 900 °C. Por lo tanto, este sistema es un sistema de almacenamiento de alta temperatura.

25

Ejemplo:

Comparación de los medios de almacenamiento de calor sensibles de agua/ALFERROCK®

30

Cálculo de la cantidad de calor que se puede almacenar

La cantidad de calor Q que puede almacenar un material de almacenamiento se calcula según la siguiente ecuación:

35

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T = \rho \cdot c_p \cdot V \cdot \Delta T [J]$$

m = masa [kg]

c_p = capacidad térmica específica $\left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$

ρ = densidad $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$

40

V = volumen $[m^3]$

$\rho \cdot c_p$ = capacidad térmica volumétrica $\left[\frac{kJ}{m^3 \cdot K} \right]$

ΔT = intervalo de temperatura [K]

$Q_{(1m^3)}$ = capacidad térmica volumétrica * ΔT [J]

45

1. Agua (para 1 m³)

$$\rho = 998,2 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$c_p = 4,182 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$$

50

$$\rho \cdot c_p = 4.175 \left[\frac{kJ}{m^3 \cdot K} \right]$$

$$\Delta T = 50 \text{ K } Q = 4.175 \left[\frac{kJ}{m^3 \cdot K} \right] \cdot 50 \text{ K} \cdot 1 \text{ m}^3 \quad Q = 208,7 \cdot 10^3 \text{ kJ}$$

Convertido en Wh:

55

$$1 \text{ J} = \frac{1 \text{ Wh}}{3600}$$

$$Q_{\text{Agua}} = 57,88 \text{ kWh}$$

2. ALFERROCK® (para 1 m³)

$$\begin{aligned} \rho &= 3.930 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \\ c_p &= 1,16 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] \\ \rho * c_p &= 4.558,8 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}} \right] \end{aligned}$$

$$\Delta T = 900 \text{ K}$$

$$Q = 4.558,8 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}} \right] * 900 \text{ K} * 1 \text{ m}^3$$

$$Q = 4.102,9 * 10^3 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}} \right]$$

Convertido en Wh:

$$1 \text{ J} = \frac{1 \text{ Wh}}{3600}$$

$$Q_{\text{ALFERROCK}} = 1,1397 \text{ MWh}$$

3. Comparación ALFERROCK®/agua

$$\frac{Q \cdot \text{ALFERROCK}}{Q \cdot \text{agua}} = \frac{1,1397 \text{ MWh}}{57,88 \text{ kWh}} = 19,7$$

ALFERROCK® puede almacenar 19,7 veces la cantidad de calor a una temperatura de funcionamiento de hasta 1.000 °C.

El medio de almacenamiento de calor a alta temperatura ALFERROCK ® también puede usarse de manera excepcional a temperaturas más bajas como medio de almacenamiento de calor, intercambiador de calor y termostato. Cabe señalar que durante el templado de la sustancia proporcionada, el aumento de la densidad de 3,63 $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ a 100 °C hasta 3,93 $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ a 1000 °C no disminuye, sino que permanece constante en 3,93 $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Por lo tanto, el valor $\rho * c_p$ se incrementa en un 9 %.

En la siguiente Tabla 5 se exponen las cantidades almacenables de calor en la región de aproximadamente 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C y 600 °C y presentan valores muy atractivos.

Tabla 5: Requisitos para acumuladores de energía

Temperatura [°C]	$C_p \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$	Densidad ρ [kg/m ³]	$\rho * c_p * V 10^6 \frac{\text{J}}{\text{K}}$	ΔT [K]	Q (para 1 m ³) [J]
208,32	0,928	3930	3,65	100	365 * 10 ⁶
307,26	0,960	3930	3,77	200	754 * 10 ⁶
406,17	0,989	3930	3,88	300	1,16 * 10 ⁹
505,07	1,020	3930	4,01	400	1,60 * 10 ⁹
584,20	1,037	3930	4,08	500	2,04 * 10 ⁹

REIVINDICACIONES

1.- Lodo rojo modificado, que contiene los siguientes componentes:

- 5 - hematita,
- corindón,
- rutilo y/o anatasa,
- cuarzo,
- opcionalmente (CaTiO_3) perovskita y
- 10 - opcionalmente $(\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+})_2(\text{Ti}, \text{Fe}^{3+})$ pseudobrookita O_5 (Na,K) nefelina $[\text{AlSiO}_4]$ y/o hauynita $(\text{Na}, \text{Ca})_4\text{-}8[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{SO}_4)]$,

donde el lodo rojo modificado está sustancialmente libre de Na_2O y/o vidrio.

15 2.- Lodo rojo modificado según la reivindicación 1, que contiene

- del 48 al 55 % en peso de hematita,
- del 13 al 18 % en peso de corindón,
- del 8 al 12 % en peso de rutilo y/o anatasa,
- 20 - del 2 al 5 % en peso de cuarzo, e
- inferior al 0,03 % en peso de Na_2O e/o inferior al 0,1 % en peso de vidrio, y/o

donde el lodo rojo modificado contiene menos de 0,5% de titanato de aluminio, hierro, mayenita, ulvospinell y/o andradita.

25 3.- Lodo rojo modificado según la reivindicación 1 o 2, donde el lodo rojo modificado puede obtenerse calentando lodo rojo sustancialmente lavado con una composición mineral

- del 10 al 55 % en peso de compuestos de hierro,
- 30 - del 12 al 35 % en peso de compuestos de aluminio,
- del 3 al 17 % en peso de compuestos de silicio,
- del 2 al 12 % en peso de dióxido de titanio,
- del 0,5 al 6 % en peso de compuestos de calcio,
- inferior al 0,5 % en peso de Na_2O y
- 35 - opcionalmente otras impurezas inevitables,

a una temperatura de al menos 800 °C, preferiblemente de al menos 1000 °C.

40 4.- Lodo rojo modificado según una de las reivindicaciones anteriores, donde el lodo rojo modificado tiene una porosidad de menos del 15 %, en particular en el intervalo del 5 al 12 %; y/o

- donde el lodo rojo modificado tiene una densidad en el intervalo de 3,90 a 4,0 g/cm³, en particular aproximadamente 3,93 g/cm³; y/o
- donde el lodo rojo modificado tiene un tamaño de partícula promedio d50 en el intervalo de 3 a 10 µm, en particular de 5 a 8 µm; y/o
- 45 donde el lodo rojo modificado tiene un tamaño de partícula d10 en el intervalo de 0,5 a 2,5 µm, en particular de 1,0 a 2,0 µm, y/o un tamaño de partícula d90 en el intervalo de 15 a 50 µm, en particular de 20 a 40 µm; y/o
- donde el lodo rojo modificado tiene una capacidad térmica específica a 20 °C en el intervalo de 0,6 a 0,8 kJ/(kg*K), en particular de 0,65 a 0,75 kJ/(kg*K), y/o una capacidad térmica específica a 726,8 °C en el intervalo de 0,9 a 1,3 kJ/(kg*K), en particular de 0,95 a 1,2 kJ/(kg*K); y/o
- 50 donde el lodo rojo modificado tiene una conductividad térmica específica en el intervalo de 3 a 35 W/(m*K), en particular de 5 a 20 W/(m*K), en particular de 8 a 12 W/(m*K); y/o
- donde el lodo rojo modificado está presente en forma de un material sólido comprimido.

55 5.- Procedimiento para la producción de un lodo rojo modificado, en particular un lodo rojo modificado según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende las siguientes etapas:

lavado y secado de lodo rojo con una composición mineral

- 60 - del 10 al 55 % en peso de compuestos de hierro,
- del 12 al 35 % en peso de compuestos de aluminio,

- del 3 al 17 % en peso de compuestos de silicio,
- del 2 al 12 % en peso de dióxido de titanio,
- del 0,5 al 6 % en peso de compuestos de calcio, y
- opcionalmente, impurezas inevitables adicionales,

5

de modo que el lodo rojo lavado contiene menos del 0,5 % en peso de Na₂O, y el calentamiento posterior del lodo rojo lavado a una temperatura de al menos 800 °C, preferentemente al menos 1000 °C o 1150 °C.

10 6.- Procedimiento para la producción de un lodo rojo modificado según la reivindicación 5, donde el lavado del lodo rojo tiene lugar mediante cloruro de hierro (II); y/o

donde el calentamiento del lodo rojo lavado y secado se realiza en una atmósfera no reductora; y/o donde el calentamiento del lodo rojo lavado y secado se realiza en una atmósfera no reductora; y/o

15 que comprende además las siguientes etapas:

granular el lodo rojo después del calentamiento, y comprimir posteriormente el granulado.

20 7.- Medio de almacenamiento que comprende un lodo rojo modificado según una de las reivindicaciones 1 a 4.

8.- Medio de almacenamiento según la reivindicación 7, que comprende además uno o más de los siguientes componentes:

- 25
- un agente para evitar la inclusión de aire y la adsorción de aire,
 - un agente para mejorar la conductividad térmica, en particular seleccionado del grupo que consiste en coloides metálicos, polvo metálico, grafito y sustancias que contienen silicio,
 - un agente para la formación de una composición tixotrópica.

30 9.- Medios de almacenamiento de calor, que comprenden un medio de almacenamiento según una de las reivindicaciones 7 a 8.

10.- Medios de almacenamiento de calor según la reivindicación 9, que comprenden además dispositivos para cargar y descargar los medios de almacenamiento de calor; y/o

35

que comprende además medios para convertir corriente en calor o calor en corriente; y/o que están configurados para la cogeneración por acoplamiento de energía/calor o por acoplamiento de energía/calor/energía.

40 11.- Uso de un lodo rojo modificado según una de las reivindicaciones 1 a 4 como medio de almacenamiento, en particular en un medio de almacenamiento de calor.

12.- Uso según la reivindicación 11

45 para el almacenamiento de calor a una temperatura de hasta 1000 °C, en particular a una temperatura de más de 100 °C hasta 1000 °C, y/o

como medio de almacenamiento que se puede calentar y enfriar repetidamente; y/o

como medio de almacenamiento que puede calentarse y enfriarse simultáneamente; y/o

50 donde la energía térmica almacenada en el medio de almacenamiento se transfiere a otro medio y por lo tanto el medio de almacenamiento se enfría, donde el otro medio se selecciona en particular de entre el grupo que consiste en agua, vapor, sal fundida, aceite térmico o gas; y/o

donde el medio de almacenamiento y un dispositivo de descarga se proporcionan de forma integral o como elementos separados.

55 13.- Uso según la reivindicación 11 o 12 como un medio de almacenamiento en un almacenamiento de corriente-calor, en particular donde el medio de almacenamiento se calienta por medio de corriente eléctrica y/o se enfría con la generación de corriente eléctrica.

14.- Uso según las reivindicaciones 11 a 13 como medio de transferencia de calor en sistemas de calefacción en

60 edificios, así como en aparatos técnicos de todo tipo.

15.- Uso según la reivindicación 13 o 14

para el almacenamiento de electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables; y/o
donde el almacenamiento de corriente-calor comprende cables de resistencia que se calientan por corriente
eléctrica y, por lo tanto, calientan el medio de almacenamiento; y/o

5 donde el almacén de corriente/calor se utiliza para el transporte de energía eléctrica después de que la
cogeneración por acoplamiento de corriente/calor ha tenido lugar sin la presencia de sistemas de líneas; y/o
donde el sistema de almacenamiento de corriente/calor genera energía eléctrica nuevamente después del
acoplamiento calor-electricidad, en particular donde consumidores de energía aislados son servidos con energía
10 térmica y energía eléctrica; y/o

donde el sistema de almacenamiento de energía-calor se usa para suministrar energía a consumidores de
energía aislados.

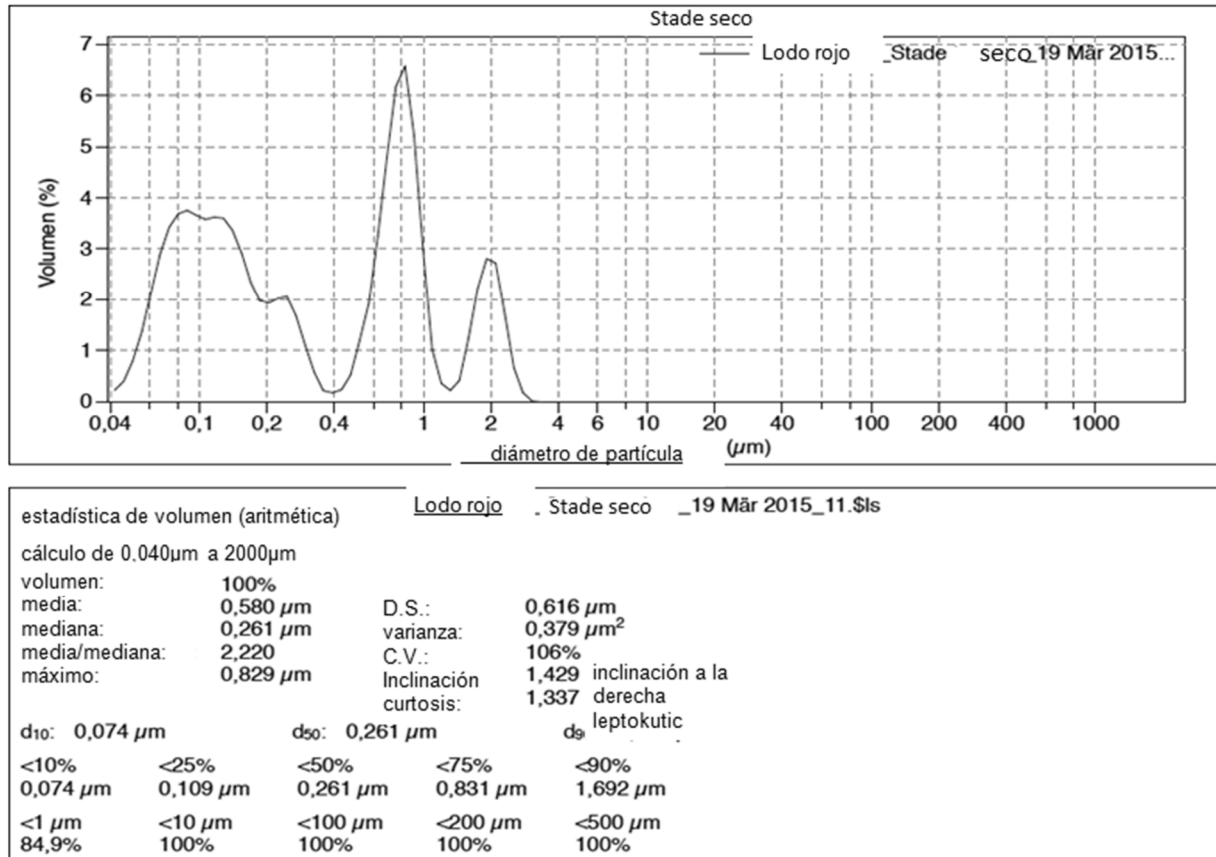


Fig. 1

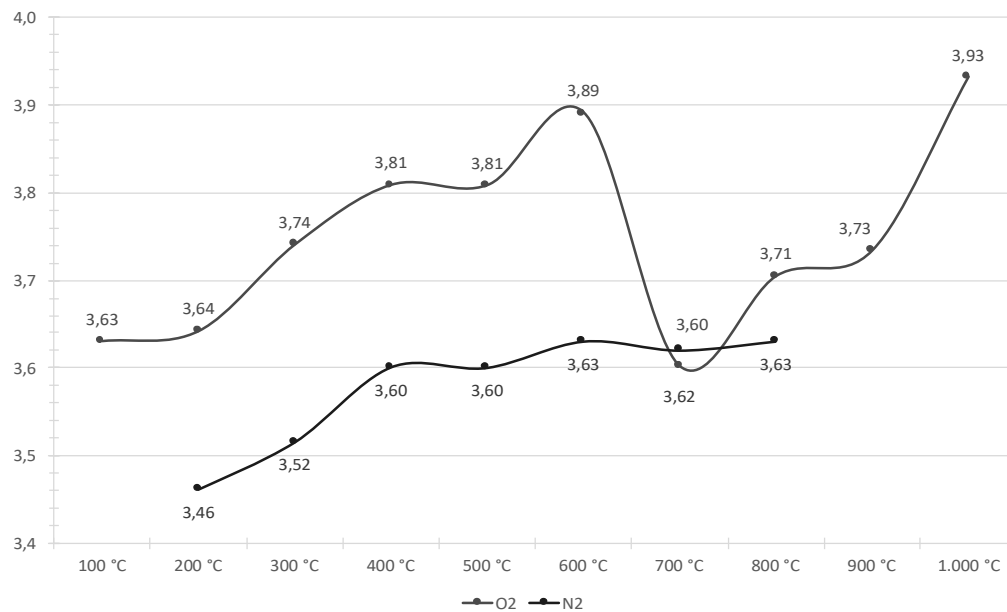


Fig. 2

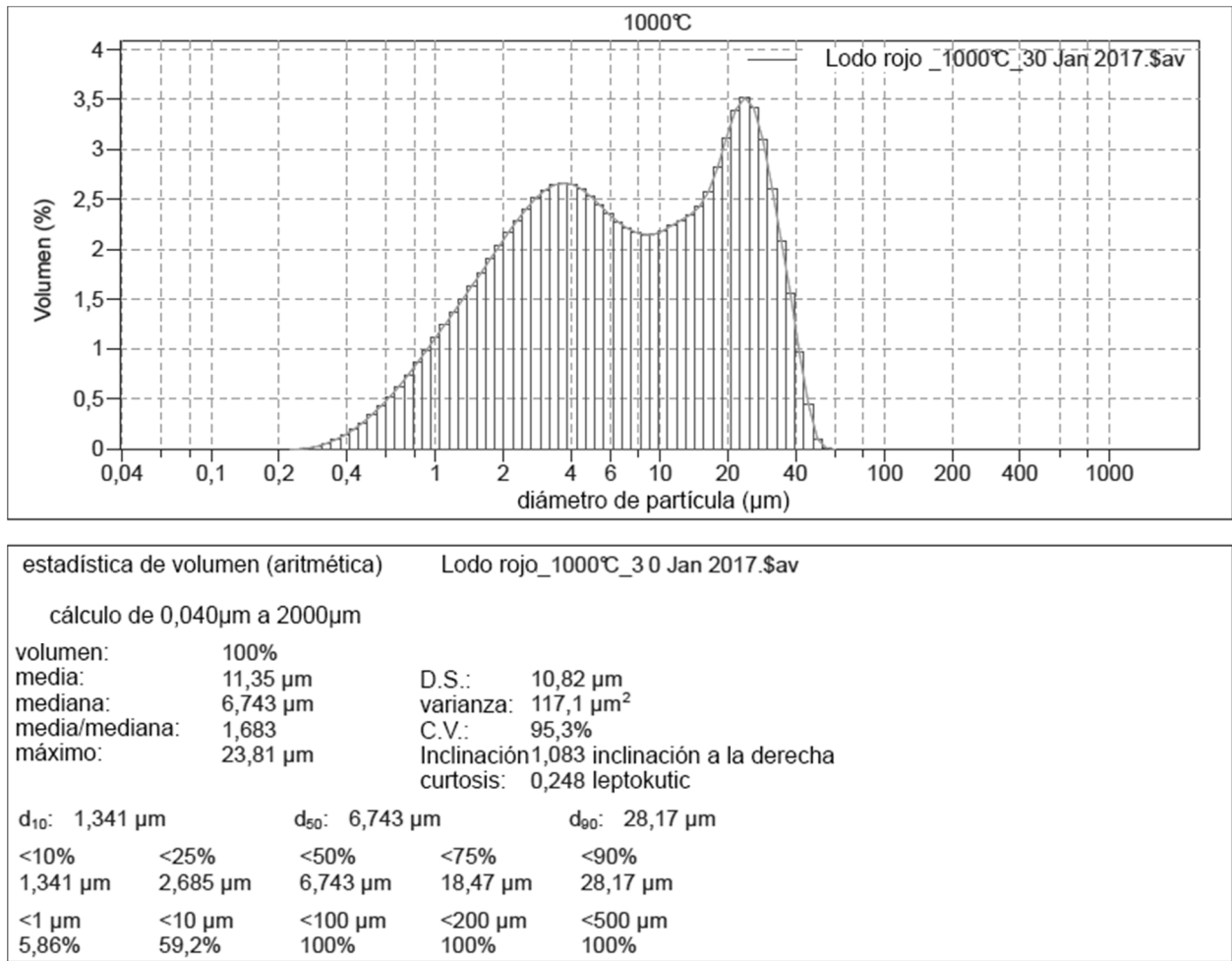


Fig. 3

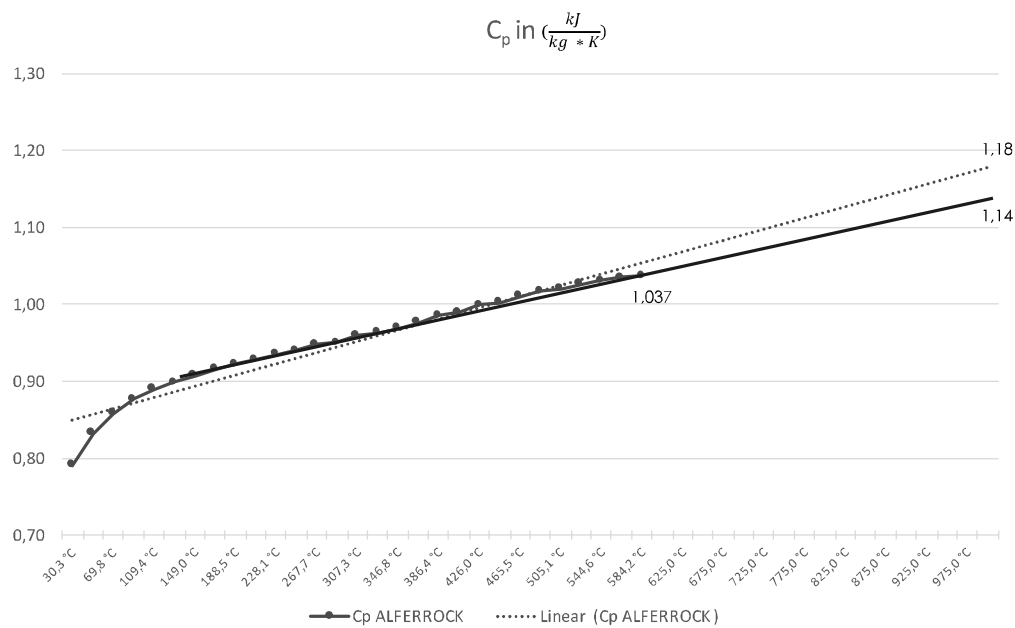


Fig. 4