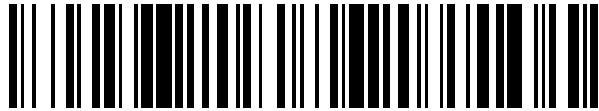


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 574 352**

21 Número de solicitud: 201401011

51 Int. Cl.:

**F03G 6/06** (2006.01)  
**F28D 20/00** (2006.01)  
**F24J 2/07** (2006.01)  
**B01J 19/12** (2006.01)  
**F24J 1/00** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**15.12.2014**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**16.06.2016**

Fecha de la concesión:

**21.03.2017**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**28.03.2017**

73 Titular/es:

**ABENGOA SOLAR NEW TECHNOLOGIES, S.A.**  
**(100.0%)**  
**C/ Energía Solar, 1 - Campus Palmas Altas**  
**41014 Sevilla (Sevilla) ES**

72 Inventor/es:

**CABEZA FABRA, Luisa Fernanda;**  
**FERNÁNDEZ RENNA, Ana Inés;**  
**FONTANET BADÍA, Xavier;**  
**CHIMENOS RIBERA, Josep María;**  
**PRIETO RÍOS, Cristina y**  
**ALGUACIL CUBERO, María**

74 Agente/Representante:

**GARCÍA-CABRERIZO Y DEL SANTO, Pedro**

54 Título: **Planta de potencia con almacenamiento termoquímico basado en un ciclo de reacciones y su método de funcionamiento**

57 Resumen:

Planta de potencia con almacenamiento termoquímico basado en un ciclo de reacciones y su método de funcionamiento.

Planta de potencia con sistema de almacenamiento termoquímico formada principalmente por un subsistema de carga/descarga que comprende al menos dos reactores exotérmicos-intercambiadores (4, 6) y un receptor solar (1), estando configurado dicho subsistema para aportar energía térmica al fluido de trabajo de la planta a través de reacciones exotérmicas; un subsistema de regeneración, conectado con el subsistema de carga/descarga, que comprende al menos dos receptores solares-reactores (11, 11') configurados para llevar a cabo sendas reacciones endotérmicas a partir de la energía solar, estando configurado dicho subsistema para regenerar al menos un reactivo que interviene una de las reacciones exotérmicas; un campo de heliostatos (2) y un bloque de potencia (8) configurado para producir electricidad a partir del fluido de trabajo de la planta. La presente invención también se refiere al método de funcionamiento de dicha planta.

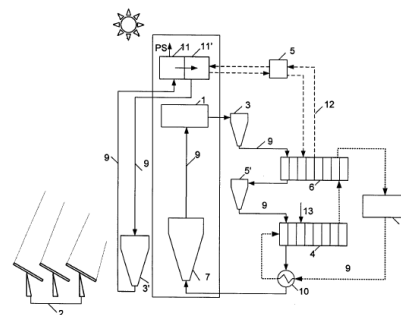


Figura 1

ES 2 574 352 B1

## DESCRIPCIÓN

Planta de potencia con almacenamiento termoquímico basado en un ciclo de reacciones y su método de funcionamiento.

5

### Sector técnico de la invención

La presente invención se refiere a una planta de potencia termosolar con un sistema de almacenamiento termoquímico (TCES, de sus siglas en inglés, "thermochemical energy storage system") basado en un mecanismo de reacciones consecutivas en un ciclo cerrado o semi-cerrado, en el que puede haber consumo de reactivos secundarios, por ejemplo consumo de oxígeno y agua.

10

### Antecedentes de la invención

15

Los antecedentes de almacenamiento de las plantas termosolares están basados, generalmente, en el uso de sales fundidas a media y alta temperatura, en almacenamiento directo de vapor saturado y en almacenamiento indirecto de vapor en materiales con cambio de fase (PCM, de sus siglas en inglés "phase-change material"). En particular, los antecedentes de almacenamiento termoquímico descritos en el estado del arte se basan fundamentalmente en reacciones reducción-oxidación (en adelante, redox) reversibles para temperaturas superiores a 500°C, donde los reactantes han de ser fáciles de almacenar y baratos. Los primeros limitan la tecnología termosolar económicamente, puesto que se tiende a instalar una planta de mayor eficiencia y de menos coste. El almacenamiento termoquímico actual también limita bastante la viabilidad económica de la tecnología, principalmente debido al bajo nivel de conversión y baja reversibilidad demostrada experimentalmente de estas reacciones junto con su baja estabilidad y durabilidad a lo largo de la vida útil. Esta invención propone prescindir de las reacciones exclusivamente reversibles y buscar una alternativa basada en un conjunto de reacciones que permitan regenerar los reactivos y así controlar el consumo de éstos al tiempo que mejoran la densidad energética, ya que los sólidos (estado de los reactivos principales de las reacciones empleadas en la presente invención) permiten almacenar más cantidad de energía para igual volumen con respecto a los materiales empleados en el estado de la técnica que son líquidos.

20

25

30

35

A continuación, se explican brevemente algunos de los ciclos planteados en el estado del arte. Son ciclos de sulfuros y metales óxidos.

#### 1. Ciclo de sulfuro

40

Se encuentra descrito, por ejemplo, en los siguientes documentos:

45

General Atomics; DLR, "Sulfur Based Thermochemical Heat Storage for Baseload Concentrating Power," General Atomics, 2011 y B. Wong, L. Brown, R. Buckingham, D. Thomey, M. Roeb and C. Sattler, "Sulfur based thermochemical energy storage for concentrated solar power".

50

El ciclo que plantea General Atomics es comercialmente viable ya que emplea materiales baratos y estables para su almacenamiento. Este proyecto se ha desarrollado dentro del programa SunShot, cuyo objetivo principal es alcanzar 0,06 USD/kWh en 2015. Los puntos a mejorar para alcanzarlo son: diseño de un ciclo Brayton para trabajar bajo las

condiciones severas de SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>, maximizar la selectividad en la generación del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, incrementar el grado de conversión y así reducir el volumen de almacenamiento y por tanto los costes. Las reacciones propuestas son reacciones líquido-gas, cuyo control cinético se lleva a cabo con catalizadores metálicos.

5

Además de los equipos descritos en el artículo, se requieren de equipos de desorción y absorción para la separación de los competentes (equipos de separación líquido-gas, y líquido-líquido) los cuales necesitan un aporte de energía adicional.

10

El proceso consiste en dos etapas; carga (evaporación y descomposición) y descarga (combustión).

15

Carga: tiene lugar en un sistema formado por tres reactores; el primero de ellos es el reactor solar donde tiene lugar una reacción endotérmica a alta temperatura, el segundo reactor donde tiene lugar la descomposición en otra reacción endotérmica a mayor temperatura que la anterior y que se desarrolla a presión. La conversión de la reacción incrementa con la temperatura, alcanzando valores del 80% a 850°C. Y por último, en el tercer reactor tiene lugar una separación de los productos a baja temperatura. Por un lado se obtiene H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y por otro S (azufre) líquido.

20

Descarga: Consiste en una reacción exotérmica donde el S combustiona a altas temperaturas (1200°C).

Las reacciones del ciclo son las siguientes:

25

$\text{H}_2\text{SO}_4 (\text{ac}) \rightarrow \Delta H_r \rightarrow \text{SO}_3 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{g})$ , de donde  $\Delta H_r (450\text{-}500 \text{ C}) = +271.8 \text{ kJ/mol}$

$\text{SO}_3 (\text{g}) + \Delta H_r \rightarrow 2 \text{SO}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g})$ , de donde  $\Delta H_r (700\text{-}800 \text{ C}) = +197.9 \text{ kJ/mol}$

30

$\text{H}_2\text{O} (\text{g}) + 3 \text{SO}_2 (\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{ac}) + \text{S} (\text{liq}) + \Delta H_r$ , de donde  $\Delta H_r (50\text{-}200 \text{ C}) = -442.6 \text{ kJ/mol}$

$\text{S} (\text{liq}) + \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{SO}_2 (\text{g}) + \Delta H_r$ , de donde  $\Delta H_r (500\text{-}1200 \text{ C}) = -300 \text{ kJ/mol}$

35

El candidato adecuado para el sistema de almacenamiento termoquímico debe ser capaz de resistir múltiples ciclos de carga y descarga térmica con mínima degradación. Es decir, debe ser capaz de oxidarse, reducirse y re-oxidarse sin muchas pérdidas o resistencia. Además de ser un material abundante y barato. Al igual que en el ciclo anterior, el objetivo es alcanzar 0,06 USD/kWh y trabajar por encima de los 600°C. Las reacciones más estudiadas son las de óxidos de manganeso y de calcio.

40

2. Ciclo de calcio CaO/Ca(OH)<sub>2</sub>

Este ciclo se encuentra descrito, por ejemplo, en los documentos:

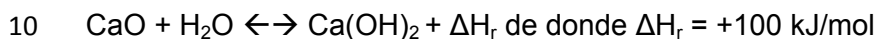
45

A. Meier, E. Bonaldi, G.M. Celia, W. Lipinski and D. Wuillemin, "Solar chemical reactor technology for industrial production of lime", Solar Energy, vol. 80, 8 August 2005 y F. Schaub. A. Wöner and H. Müller-Steinhagen, "High Temperatura heat storage using gas-solid reactions", in Effstock 2009, Stockholm, 2009.

50

Este ciclo es atractivo por la simplicidad, el uso de materiales abundantes y baratos ya que está basado sólo en la cal viva (CaO) y agua. Sin embargo, no está demostrada su reciclabilidad (limitando la viabilidad económica de la tecnología). El sistema está formado por un reactor sin transporte de sólidos y es integrado en el ciclo de potencia utilizando un lazo de fluido de transferencia de calor (HTF de sus siglas en inglés "heat transfer fluid").

La reacción reversible de este ciclo es:



### 3. Ciclo de manganeso ( $\text{Mn}_x\text{O}_y$ )

Este ciclo se describe en el documento: General Atomics, German Aerospace Center, "Thermochemical heat storage for concentrated solar power based on multivalent metal oxides", 2011.

Las cuatro formas estables del óxido de manganeso a temperatura ambiente son: MnO, MnO<sub>2</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Este tipo de ciclos tiene como principal problema el bajo grado de reversibilidad después del primer ciclo, aunque experimentalmente, ya se han alcanzado valores de hasta 24% tras varios ciclos. Actualmente, se sigue trabajando en la mejora de la reversibilidad mezclando estos óxidos con otros, por ejemplo con el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Las principales ventajas de este ciclo son que es fácil de operar porque ambas reacciones tienen lugar a temperaturas similares y los reactantes son baratos.

La reacción para el Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> es:



Por otro lado, también se ha estudiado ciclos de óxido de cobalto, siendo estos cuatro veces más eficientes que los ciclos de manganeso pero son mucho más caros.

Otros documentos del estado del arte son los siguientes: US4421734 que también divulga el ciclo del ácido sulfúrico-azufre para almacenamiento térmico, y US2011/0100356 A1 que se basa en una reacción reversible para almacenamiento térmico.

La presente invención se propone como una alternativa a los métodos de almacenamiento térmico utilizados hasta ahora en plantas solares de potencia, tratando de solucionar los inconvenientes que los métodos conocidos presentan, buscando una alta conversión, ciclabilidad y durabilidad de los materiales utilizados en el sistema de almacenamiento térmico. De esta manera, la invención asegura además la regeneración de los reactivos principales con reacciones complementarias y eliminar el consumo masivo de los mismos.

### Descripción de la invención

La planta de potencia de la invención que aquí se plantea cuenta con un sistema de almacenamiento térmico basado en un ciclo de reacciones en cascada. Esta consecución de reacciones permite regenerar los reactivos principales con las propias reacciones del sistema, de manera que se asegura la recuperación de los reactivos sin los problemas

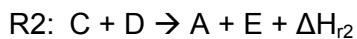
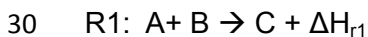
asociados a los sistemas del estado de la técnica en el que se emplean reacciones reversibles de baja reversibilidad y la baja ciclabilidad por la degradación de los materiales.

- 5 Para el almacenamiento termoquímico se busca garantizar 10.000 ciclos aproximadamente durante la vida útil de la planta.

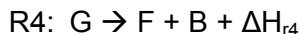
10 Con la cascada de reacciones que se plantea en esta invención, además de buscar alta conversión, ciclabilidad y durabilidad de los materiales, se trata de conseguir que el balance neto de calor de reacción sea positivo, es decir, se genere un calor de reacción para llevar al fluido del ciclo de potencia bien sea vapor sobrecalentado, supercrítico de vapor (en adelante, sH<sub>2</sub>O) o supercrítico de CO<sub>2</sub> (en adelante, sCO<sub>2</sub>) hasta las condiciones nominales de operación. Esto permite alcanzar valores de densidad energética del conjunto de las reacciones sea superior a la de los actuales sistemas de  
15 almacenamiento en plantas comerciales, lo cual permite reducir el volumen de los materiales y, por tanto, el coste de los recipientes. Esta densidad energética es la suma del calor de reacción más el calor sensible obtenido a partir del enfriamiento de los reactivos.

20 Las principales ventajas de este sistema son: mejora la ciclabilidad de los materiales, permite mejorar la gestionabilidad de la planta en función de la demanda permitiendo la operación de la planta incluso en horas en las que no hay radiación solar; y por otro lado, reducir los costes asociados al sistema de almacenamiento debido a la alta densidad energética haciendo por tanto, más competitiva la tecnología termosolar.

25 Respecto al ciclo de las reacciones que tienen lugar en el sistema de almacenamiento, el esquema general es el siguiente (no se incluyen coeficientes de reacción, sólo se indican las reacciones de forma general):



35



De donde, el calor de reacción global es  $\Delta H_r = \sum \Delta H_{ri} < 0$

40 A diferencia de los sistemas de almacenamiento del estado de la técnica, este sistema trabaja con dos ciclos de dos reacciones cada uno: el ciclo de regeneración de reactivos (endotérmico) formado por las reacciones de tipo R3 y R4, y el ciclo de carga/descarga (exotérmico) formado por las reacciones de tipo R1 y R2. Luego, las reacciones de tipo R1 y R2 son reacciones exotérmicas que ceden energía térmica al fluido de trabajo de la  
45 planta para la producción de electricidad y las reacciones de tipo R3 y R4 son reacciones endotérmicas que permiten la regeneración de reactivos que se utilizarán en el ciclo de carga/descarga. Se define R2 como reacción de carga porque es la etapa del proceso donde se obtiene la sustancia A que es almacenada a alta temperatura y además es el reactivo principal de R1 definida como reacción de descarga donde A se convierte en E liberando gran cantidad de calor de reacción el cual es absorbido por el fluido de trabajo.  
50 La función principal del ciclo de regeneración es la conversión de la sustancia E en D

(reacción de tipo R3); siendo D, el reactivo que permite reducir la sustancia C (reacción de tipo R2).

5 La sustancia C, además de participar en las reacciones de tipo R 1 y R2, opcionalmente se empleará como medio caloportador para calentar fluido de trabajo de la planta para producir electricidad en el bloque de potencia. Las sustancias G y F son óxidos de metales.

10 La planta con sistema de almacenamiento termoquímico de la presente invención comprende, además del bloque de potencia configurado para producir electricidad a partir del fluido de trabajo de la planta y uno o varios elementos de concentración solar para dirigir la radiación solar para calentar una sustancia química, dos subsistemas conectados entre sí:

15 - un subsistema de carga/descarga que comprende al menos dos reactores exotérmicos-intercambiadores y al menos un receptor solar, estando configurado dicho subsistema para aportar energía térmica al fluido de trabajo de la planta a través de reacciones exotérmicas, además de aprovechar el calor sensible de los reactivos en los reactores exotérmicos intercambiadores,

20 - un subsistema de regeneración que comprende al menos dos reactores-receptores solares-configurados para llevar a cabo sendas reacciones endotérmicas a partir de la energía solar, estando configurado dicho subsistema para regenerar al menos un reactivo que interviene en una de las reacción exotérmicas.

25 Preferiblemente, el subsistema de carga/descarga comprende al menos los siguientes elementos:

30 - un receptor solar configurado para calentar una sustancia C,

- un tanque de almacenamiento a alta temperatura configurado para almacenar la sustancia C calentado en el receptor solar

35 - un reactor exotérmico-intercambiador configurado para llevar a cabo una reacción exotérmica del tipo R2:  $C + D \rightarrow A + E$  a partir de la sustancia C procedente tanque del almacenamiento a alta temperatura y estando configurado dicho reactor exotérmico-intercambiador para transferir el calor producido en la reacción exotérmica y el del calor sensible de los productos al fluido de trabajo de la planta antes de que este entre al bloque de potencia para la generación de electricidad

40 - un reactor exotérmico-intercambiador configurado para llevar a cabo una reacción exotérmica del tipo R1:  $A + B \rightarrow C$  a partir de la sustancia A obtenido en la reacción exotérmica de tipo R2 y estando configurado dicho reactor exotérmico-intercambiador para transferir el calor producido en la reacción exotérmica de tipo R1 al fluido de trabajo de la planta.

45 - un tanque de almacenamiento para almacenar la sustancia A, dicho tanque conecta los dos reactores exotérmicos-intercambiadores.

50 - un tanque de almacenamiento a baja temperatura para almacenar la sustancia C obtenida en la reacción exotérmica de tipo R1.

Este subsistema puede comprender un intercambiador de calor configurado para intercambiar calor entre la sustancia C resultante de la reacción exotérmica de tipo R1 y el fluido de trabajo de la planta.

5 El reactor exotérmico-intercambiador donde se produce la reacción de tipo R1 puede estar provisto de una entrada de reactivos secundarios (reactivo B) para efectuar la reacción correspondiente.

10 Preferiblemente, el subsistema de regeneración comprende al menos los siguientes elementos:

- un receptor solar-reactor configurado para llevar a cabo una reacción endotérmica con energía solar de tipo R4:  $G \rightarrow F + B$

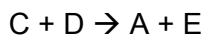
15 - un receptor solar-reactor, conectado con el anterior receptor solar-reactor, configurado para llevar a cabo una reacción endotérmica con energía solar de tipo R3  $F + E \rightarrow D + G$ ,

- un tanque de almacenamiento de la sustancia G de la reacción endotérmica de tipo R4 que, a su vez, es obtenida en la reacción endotérmica de tipo R3.

20 Ambos subsistemas están conectados entre sí mediante unas líneas de transporte de sustancias que conectan el reactor exotérmico-intercambiador donde tiene lugar la reacción exotérmica de tipo R2 del subsistema de carga/descarga con el receptor solar-reactor donde tiene lugar la reacción de tipo R3 del subsistema de regeneración. La conexión puede ser directa o bien a través de un tanque de almacenamiento configurado para almacenar las sustancias D y E.

El procedimiento de funcionamiento de la planta descrita en la presente invención para la producción de electricidad comprende al menos las siguientes etapas:

- 30
- dirección de la radiación solar al receptor solar,
  - calentamiento de la sustancia C en el receptor solar con la energía solar,
  - 35 • almacenamiento de la sustancia C en un tanque de alta temperatura,
  - realización de una reacción exotérmica de tipo R2 en un reactor exotérmico-intercambiador a partir de la sustancia calentada previamente en el receptor solar y posteriormente almacenada en el tanque de alta temperatura, siendo la reacción del tipo R2:
- 40



- 45 • transferencia de la energía producida en la reacción exotérmica de tipo R2 al fluido trabajo de la planta para calentar dicho fluido de trabajo antes de que éste entre en el bloque de potencia para la generación de electricidad,
  - almacenamiento de la sustancia A producido en la reacción exotérmica de tipo R2 en un tanque,
- 50

• realización de una reacción exotérmica de tipo R1 en un reactor exotérmico-intercambiador a partir de una sustancia A obtenido en la reacción exotérmica de tipo R1 y almacenado en el tanque, siendo la reacción del tipo:  $A + B \rightarrow C$ ; el tanque de almacenamiento de la sustancia A conecta a los reactores exotérmicos-intercambiadores,

5

• transferencia de la energía producida en la reacción exotérmica de tipo R1 al fluido de trabajo para calentar dicho fluido de trabajo,

• almacenamiento de la sustancia C producido en la reacción exotérmica de tipo R1.

10

Para la regeneración del reactivo D que se emplea en la reacción exotérmica de tipo R2 se realizan las siguientes etapas:

• realización de una reacción endotérmica R4 con energía solar en un receptor solar-reactor, siendo la reacción del tipo:  $G \rightarrow F + B$

15

• realización de una reacción endotérmica R3 con energía solar en el segundo receptor solar-reactor, siendo la reacción del tipo:  $F + E \rightarrow D + G$

20

• almacenamiento de la sustancia G obtenido en la reacción endotérmica de tipo R3 en un tanque de almacenamiento a alta temperatura.

La sustancia D obtenida en la reacción R3 se conduce hasta el reactor exotérmico-intercambiador donde se produce la reacción exotérmica de tipo R2 del subsistema de carga/descarga para efectuar la reacción correspondiente, pudiéndose previamente almacenar en un tanque de almacenamiento configurado para ello.

25

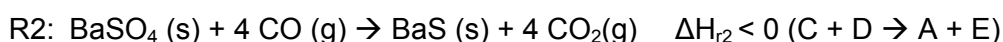
Para comenzar de nuevo el ciclo de regeneración de la sustancia D, la sustancia G obtenida en la reacción endotérmica R3 y almacenada en un tanque de alta temperatura se conduce al receptor solar-reactor en el que se produce la reacción R4, donde se inicia el proceso.

30

A modo de aclaración, el receptor solar permite el calentamiento de una sustancia, mientras que un receptor solar-reactor permite, además, llevar a cabo en él una reacción endotérmica a partir de la energía solar recibida.

35

Preferiblemente la planta está configurada para llevar a cabo el siguiente ciclo de carga/descarga:



Luego, en este caso, la sustancia A es BaS (sulfuro de bario), la sustancia B es  $O_2$  (oxígeno) o aire, la sustancia C es  $BaSO_4$  (sulfato de bario), la sustancia D es CO (monóxido de carbono) y la sustancia E es  $CO_2$ (dióxido de carbono).

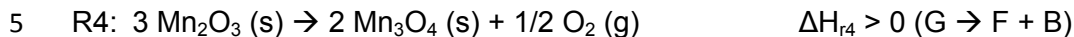
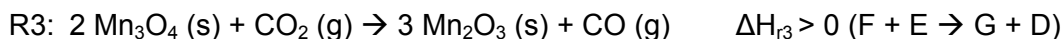
45

Este ciclo se denomina ciclo BaS/BaSO<sub>4</sub>.

50

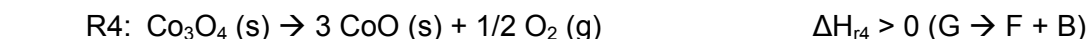
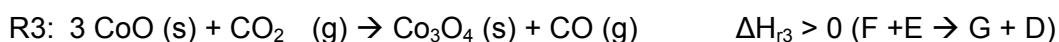


Preferiblemente el ciclo de regeneración es el siguiente:



Los componentes B, D y E son los ya nombrados; la sustancia F es  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ , la sustancia G es  $\text{Mn}_2\text{O}_3$

10 Más preferiblemente el ciclo de regeneración es el siguiente:



Las sustancias B, D y E son las ya nombradas; la sustancia F es CoO, y la sustancia G es  $\text{Co}_3\text{O}_4$

20 En estos casos, la función principal del ciclo de regeneración es la conversión de  $\text{CO}_2$  (E) en CO (D) según las reacciones de tipo R3 donde G y F siempre son óxidos metálicos.

Se plantean como los más adecuados desde el punto de vista de la estabilidad a alta temperatura los óxidos de Mn y de Co.

25 Una de las principales ventajas de esta planta es que el ciclo antes descrito permite que la descarga (reacción de tipo R1) sea de día o de noche atendiendo a la demanda, y que la reacción de descarga durante la noche se pueda llevar a cabo en un amplio rango de temperatura, desde una temperatura cercana a la ambiente hasta la máxima temperatura de activación de la reacción, alrededor de  $1200^\circ\text{C}$ .

30 **Breve descripción de los dibujos**

35 Para completar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de la invención, se acompaña una figura donde con carácter ilustrativo y no limitativo se ha representado lo siguiente:

La figura 1 muestra el esquema general de la planta de potencia que se propone en esta invención.

40 Las referencias que aparecen en dichas figuras son las siguientes:

1. Receptor solar

2. Campo de heliostatos

45 3. y 3'. Tanques de almacenamiento a alta temperatura

4. Reactor exotérmico-intercambiador para llevar a cabo la reacción del tipo R2

50 5. Tanque de almacenamiento que conecta el subsistema de carga/descarga con subsistema el de regeneración

- 5' Tanque de almacenamiento que conecta los reactores exotérmicos-intercambiadores
- 5 6. Reactor exotérmico-intercambiador para llevar a cabo la reacción del tipo R1
7. Tanque de almacenamiento a baja temperatura
8. Bloque de potencia
- 10 9. Línea de transporte de los materiales
10. Intercambiador de calor
11. Primer receptor solar-reactor
- 15 11'. Segundo receptor solar-reactor
12. Líneas de conexión entre subsistema de carga/descarga y el subsistema de regeneración
- 20 13. Línea de entrada de reactivos secundarios.
- PS producto secundario

25 **Descripción de una realización preferida**

En la presente descripción se explica en detalle una posible configuración, no limitante, de la invención así como su funcionamiento.

- 30 En la figura 1 se muestra el esquema de una primera realización preferida de una planta con un sistema de almacenamiento termoquímico basado en un ciclo de reacciones BaS/BaSO<sub>4</sub>.

35 La planta con sistema de almacenamiento termoquímico de la presente invención comprende un subsistema de carga/descarga configurado para aportar energía térmica al fluido de trabajo de la planta a través de reacciones exotérmicas, este subsistema está formado por:

- 40 - un receptor solar (1) configurado para calentar BaSO<sub>4</sub>,
- un tanque de almacenamiento a alta temperatura (3) configurado para almacenar BaSO<sub>4</sub> calentado en el receptor solar (1),
- 45 - un reactor exotérmico-intercambiador (6) configurado para llevar a cabo la reacción exotérmica del tipo R2:  $\text{BaSO}_4 (\text{s}) + 4 \text{CO} (\text{g}) \rightarrow \text{BaS} (\text{s}) + 4 \text{CO}_2 (\text{g})$ , a partir del BaSO<sub>4</sub> procedente tanque de almacenamiento a alta temperatura (3) y estando configurado dicho reactor exotérmico-intercambiador (6) para transferir el calor producido en la reacción exotérmica del tipo R2 al fluido de trabajo de la planta antes de que éste entre en el bloque de potencia para la generación de electricidad,

50

- un tanque de almacenamiento (5') configurado para almacenar el BaS obtenido en la reacción exotérmica de tipo R2:  $\text{BaSO}_4 (\text{s}) + 4 \text{CO} (\text{g}) \rightarrow \text{BaS} (\text{s}) + 4 \text{CO}_2 (\text{g})$

5 - un reactor exotérmico-intercambiador (4) configurado para llevar a cabo la reacción exotérmica de tipo R1:  $\text{BaS} (\text{s}) + 2 \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{BaSO}_4 (\text{s})$  a partir del BaS obtenido en la reacción exotérmica de tipo R2 y estando configurado dicho reactor exotérmico-intercambiador (4) para transferir el calor producido en la reacción exotérmica al fluido de trabajo de la planta,

10 - un intercambiador de calor (10) configurado para intercambiar calor entre el fluido de trabajo y el  $\text{BaSO}_4$  obtenido en la reacción exotérmica de tipo R1:  $\text{BaS} (\text{s}) + 2 \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{BaSO}_4 (\text{s})$ ,

15 - un tanque de almacenamiento a baja temperatura (7) configurado para almacenar el  $\text{BaSO}_4$  una vez que éste ha intercambiado calor con el fluido de trabajo.

El reactor exotérmico-intercambiador (4) donde se da la reacción de tipo R1:  $\text{BaS} (\text{s}) + 2 \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{BaSO}_4 (\text{s})$  está provisto de una línea de entrada de reactivos secundarios (13) para la introducción de  $\text{O}_2$ .

20 La planta comprende, asimismo, un subsistema de regeneración para la obtención de CO formado por:

25 - un receptor solar-reactor (11) configurado para llevar a cabo la reacción endotérmica de tipo R4:  $3 \text{Mn}_2\text{O}_3 (\text{s}) \rightarrow 2 \text{Mn}_3\text{O}_4 (\text{s}) + 1/2 \text{O}_2 (\text{g})$

- un receptor solar-reactor (11'), conectado con el primer receptor solar-reactor (11), configurado para llevar a cabo la reacción endotérmica de tipo R3:

30  $2\text{Mn}_3\text{O}_4 (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g}) \rightarrow 3 \text{Mn}_2\text{O}_3 (\text{s}) + \text{CO} (\text{g})$

-un tanque de almacenamiento a alta temperatura (3') configurado para almacenar el  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  obtenido.

35 La planta también comprende un campo de heliostatos (2) configurado para dirigir la radiación solar hacia un receptor solar (1) y hacia los receptores solares-reactores (11 y 11') y un bloque de potencia (8) configurado para producir electricidad a partir del fluido de trabajo de la planta.

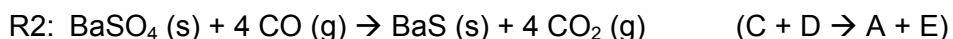
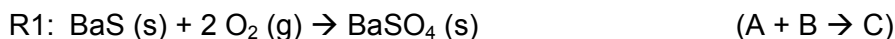
40 El reactor exotérmico-intercambiador (6) donde se da la reacción de tipo R2:  $\text{BaSO}_4 (\text{s}) + 4 \text{CO} (\text{g}) \rightarrow \text{BaS} (\text{s}) + 4 \text{CO}_2 (\text{g})$  del subsistema de carga/descarga y el receptor solar-reactor (11') donde se da la reacción de tipo R3:  $2\text{Mn}_3\text{O}_4 (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g}) \rightarrow 3 \text{Mn}_2\text{O}_3 (\text{s}) + \text{CO} (\text{g})$  están conectados a través de las líneas de conexión (12) que a su vez permiten el transporte de reactivos/productos.

45 En la planta presentada en la figura, la conexión entre el reactor exotérmico-intercambiador (6) donde se da la reacción de tipo R2:  $\text{BaSO}_4 (\text{s}) + 4 \text{CO} (\text{g}) \rightarrow \text{BaS} (\text{s}) + 4 \text{CO}_2 (\text{g})$  del subsistema de carga/descarga y el receptor solar-reactor (11') donde se da la reacción de tipo R3:  $2\text{Mn}_3\text{O}_4 (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g}) \rightarrow 3 \text{Mn}_2\text{O}_3 (\text{s}) + \text{CO} (\text{g})$  se realiza a través de un tanque de almacenamiento (5) configurado para almacenar CO y  $\text{CO}_2$ .

50

Preferiblemente se plantea trabajar en continuo con las reacciones de reducción del BaSO<sub>4</sub> y de conversión del CO<sub>2</sub> a CO, de manera que el CO<sub>2</sub> producido en el ciclo de carga/descarga según la reacción de tipo R2 se consuma al mismo tiempo en la reacción de conversión al CO en el ciclo de regeneración según la reacción de tipo R3. Esto hace más atractivo este ciclo de reacciones consecutivas, ya que se puede prescindir de una instalación compleja de almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

El modo de funcionamiento de la planta así configurada es el siguiente, teniendo en cuenta que el ciclo de reacciones de carga/descarga es el siguiente:



En esta planta el receptor (1) mediante aporte solar calienta el reactivo BaSO<sub>4</sub> (C) que se almacena en un tanque de alta temperatura (3). Desde el tanque de almacenamiento de alta temperatura (3) el reactivo BaSO<sub>4</sub> (C) pasa al reactor-intercambiador (6) donde se hace reaccionar con CO (D) que proviene del tanque de almacenamiento (5) para dar BaS (A) y CO<sub>2</sub> (E) siguiendo la siguiente reacción estequiometría: BaSO<sub>4</sub> (s) + 4 CO (g) → BaS (s) + 4 CO<sub>2</sub> (g), esta reacción según el esquema general es R2. Es importante que esta reacción de reducción se lleve a cabo en una atmósfera inerte para evitar la oxidación del material y la conversión del CO (D) a CO<sub>2</sub> (E) antes de que todo el BaSO<sub>4</sub> (C) se haya reducido.

El calor que se desprende de la reacción se emplea para calentar el fluido de trabajo (se presenta con línea de puntos el recorrido del fluido de trabajo) antes de que entre en el bloque de potencia para la generación de electricidad. El CO<sub>2</sub> (E) que se genera en la reacción se almacena en el tanque de almacenamiento (5). El BaS (A) que se produce en el reactor exotérmico-intercambiador (6) se almacena en el tanque de almacenamiento (5') para posteriormente pasar al reactor-intercambiador (4) donde reacciona con O<sub>2</sub> (B) para dar BaSO<sub>4</sub> (C) según la reacción BaS (s) + 2 O<sub>2</sub> (g) → BaSO<sub>4</sub> (s), esta reacción según el esquema general es R1. Esta reacción de oxidación tiene un alto valor exotérmico del orden de 5.900 kJ/kg de BaS consumido. Esta reacción de oxidación del BaS tiene lugar en un reactor en función de la demanda del consumo eléctrico, bien sea durante periodos con o sin radiación solar, lo cual hace que la planta maximice la gestionabilidad.

El BaSO<sub>4</sub> que se produce en la reacción pasa por un intercambiador de calor (10) donde el BaSO<sub>4</sub> se enfría a medida que calienta el fluido de trabajo para después almacenarse en un tanque de almacenamiento de baja temperatura (7) de donde se redirigirá de nuevo al receptor solar (1) para comenzar de nuevo el ciclo. El calor generado en la reacción R1 que se da en el reactor exotérmico-intercambiador (4) calienta el fluido de trabajo que proviene del intercambiador de calor (10).

El fluido de trabajo del bloque de potencia se lleva hasta las condiciones de operación de dos formas diferentes: A partir del calor desprendido en las reacciones exotérmicas o bien a partir del calor sensible de los reactivos o productos involucrados en estas reacciones exotérmicas, por ejemplo con el calor resultante de enfriar el BaSO<sub>4</sub> desde la temperatura de reacción (en un rango de 850°C a 1.200°C) hasta los 250-300°C, en un intercambiador (10).

El principal motivo para trabajar con el ciclo de BaS/BaSO<sub>4</sub> es el bajo coste y alta estabilidad desde el punto de vista térmico y químico, siendo la temperatura de fusión del BaS de 2.229°C y la desproporción del BaSO<sub>4</sub> a 1.580°C, temperaturas lejanas a las planteadas en este ciclo además del alto valor energético que presenta.

5

Con el fin de regenerar el CO (D) empleado en la reacción R2, se lleva a cabo el ciclo regenerativo que consta de dos reacciones: en el reactor solar-receptor (11) se descompone el Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (G) a unos 910°C para dar Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (F) y O<sub>2</sub> siguiendo la siguiente reacción estequiometría: 3 Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (s) → 2 Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (s) + 1/2 O<sub>2</sub> (g), esta reacción según el esquema general es R4. El O<sub>2</sub> generado en esta reacción de desproporción se puede almacenar y utilizar en la reacción de oxidación del ciclo de descarga de tipo R1 o bien se puede liberar directamente a la atmósfera como producto secundario (PS).

10

El Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (F) pasa a un receptor solar-reactor (11') en el que reacciona con CO<sub>2</sub> (E) para dar Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (G) y CO (D) a unos 860°C siguiendo la reacción estequiometría: 2Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (s) + CO<sub>2</sub> (g) → 3Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (s) + CO (g), esta reacción según el esquema general es R3. El Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (G) producido se almacena en un tanque de almacenamiento de alta temperatura (3') donde se redirigirá de nuevo al receptor-reactor (11'). El CO (D) producido se almacenará en el tanque de almacenamiento (5) que conecta el subsistema de carga/descarga con subsistema el de regeneración.

15

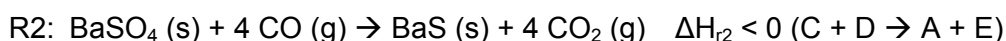
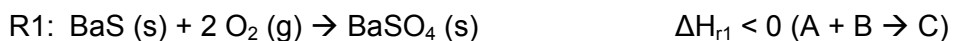
20

En el diagrama de planta que se propone en esta realización se presentan los dos receptores solares-reactores (11 y 11') en una sola torre, sin embargo podrían situarse en dos torres independientes, estando conectadas entre sí.

25

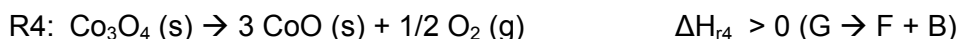
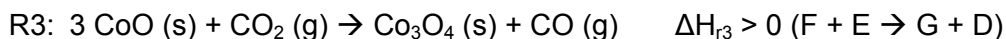
En una segunda realización preferida en el que se mantiene el sistema de carga y descarga descrito en la realización preferida anterior con todas las reacciones:

30



Y la misma disposición de equipos, se plantea un sistema de regeneración de CO (D) a través de las siguientes reacciones:

35



40

Este sistema de regeneración para la obtención de CO está formado por:

- un receptor solar-reactor (11) configurado para llevar a cabo la reacción endotérmica de tipo R4: Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (s) → 3 CoO (s) + 1/2 O<sub>2</sub> (g)

45

- un receptor solar-reactor (11'), conectado con el primer receptor solar-reactor (11), configurado para llevar a cabo la reacción endotérmica de tipo R3: 3 CoO (s) + CO<sub>2</sub> (g) → Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (s) + CO (g)

50

- un tanque de almacenamiento a alta temperatura (3') configurado para almacenar el Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> obtenido.

El modo de funcionamiento de esta planta no varía en la parte de carga/descarga con respecto a la de la realización preferida anterior. A continuación se describe el modo de funcionamiento de la regeneración del CO (D) empleado en la reacción de carga/descarga R2, el ciclo regenerativo que consta de dos reacciones: en el reactor solar-receptor (11) se descompone el  $\text{Co}_3\text{O}_4$  (G) a unos  $910^\circ\text{C}$  para dar  $\text{CoO}$  (F) y  $\text{O}_2$  siguiendo la siguiente reacción estequiometría:  $\text{Co}_3\text{O}_4(\text{s}) \rightarrow 3 \text{CoO}(\text{s}) + 1/2 \text{O}_2(\text{g})$ , esta reacción según el esquema general es R4. El  $\text{O}_2$  generado en esta reacción de desproporción se puede almacenar y utilizar en la reacción de oxidación del ciclo de descarga de tipo R1 o bien se puede liberar directamente a la atmósfera como producto secundario (PS) tras un proceso de enfriamiento.

El  $\text{CoO}$  (F) pasa a un receptor solar-reactor (11') en el que reacciona con  $\text{CO}_2$  (E) para dar  $\text{Co}_3\text{O}_4$  (G) y  $\text{CO}$  (D) a unos  $860^\circ\text{C}$  siguiendo la reacción estequiometría:  $3 \text{CoO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Co}_3\text{O}_4(\text{s}) + \text{CO}(\text{g})$ , esta reacción según el esquema general es R3. El  $\text{Co}_3\text{O}_4$  (G) producido se almacena en un tanque de almacenamiento de alta temperatura (3') donde se redirigirá de nuevo al receptor-reactor (11'). El  $\text{CO}$  (D) producido se almacenará en el tanque de almacenamiento (5) que conecta el subsistema de carga/descarga con subsistema el de regeneración.

En el diagrama de planta que se propone en esta realización se presentan los dos receptores solares-reactores (11 y 11') en una sola torre, sin embargo podrían situarse en dos torres independientes, estando conectadas entre sí.

## REIVINDICACIONES

1. Planta de potencia con sistema de almacenamiento termoquímico basado en un ciclo de reacciones que comprende uno o varios elementos de concentración solar, un bloque de potencia (8) configurado para producir electricidad a partir del fluido de trabajo de la planta, un subsistema de carga/descarga y un subsistema de regeneración de reactivos, conectado con el subsistema de carga/descarga **caracterizada** porque el subsistema de carga/descarga comprende al menos los siguientes elementos:
- 5
- 10 - al menos un receptor solar (1) configurado para calentar una sustancia (C),
  - un tanque de almacenamiento a alta temperatura (3) configurado para almacenar la sustancia (C) calentada en el al menos un receptor solar,
  - 15 - un reactor exotérmico-intercambiador (6) configurado para llevar a cabo una primera reacción exotérmica de tipo R2:  $C + D \rightarrow A + E$  a partir de la sustancia (e) procedente del tanque de almacenamiento a alta temperatura (3) y estando configurado dicho reactor exotérmico-intercambiador (6) para transferir el calor producido en la reacción exotérmica al fluido de trabajo de la planta, antes de que éste entre al bloque de potencia (8) para la
  - 20 generación de electricidad,
  - un reactor exotérmico-intercambiador (4) configurado para llevar a cabo una reacción exotérmica de tipo R1:  $A + B \rightarrow C$  a partir de la sustancia (A) obtenida en la reacción exotérmica de tipo R2 y estando configurado dicho reactor exotérmico-intercambiador (4) para transferir el calor producido en la reacción exotérmica al fluido de trabajo de la
  - 25 planta,
  - un tanque de almacenamiento (5') para almacenar la sustancia A, dicho tanque (5') conecta los dos reactores exotérmicos-intercambiadores (4, 6),
  - 30 - un tanque de almacenamiento a baja temperatura (7) para almacenar la sustancia C obtenida en la segunda reacción exotérmica de tipo R1;
- el subsistema de regeneración comprende al menos los siguientes elementos:
- 35
- un receptor solar-reactor (11) configurado para llevar a cabo una primera reacción endotérmica con energía solar del tipo R4:  $G \rightarrow F + B$
  - un receptor solar-reactor (11'), conectado con el anterior receptor solar-reactor, configurado para llevar a cabo una segunda reacción endotérmica con energía solar del tipo R3:  $E + F \rightarrow D + G$ .
  - 40
2. Planta de potencia con sistema de almacenamiento termoquímico, según reivindicación 1, **caracterizada** por que el reactor exotérmico-intercambiador (4) donde se produce la reacción exotérmica del tipo R1 está provisto de una línea de entrada de reactivos secundarios (13) para la introducción del reactivo B.
- 45
3. Planta de potencia con sistema de almacenamiento termoquímico, según reivindicación 1, **caracterizada** por que el subsistema de carga/descarga comprende además un intercambiador de calor (10) configurado para intercambiar calor entre la
- 50

sustancia (e) resultante de la segunda reacción exotérmica y el fluido de trabajo de la planta.

5 4. Planta de potencia con sistema de almacenamiento termoquímico, según reivindicación 1, **caracterizada** porque comprende unas líneas de transporte (12) de sustancias que conectan el reactor exotérmico-intercambiador (6) del subsistema de carga/descarga con el receptor solar-reactor (11') del subsistema de regeneración.

10 5. Planta de potencia con sistema de almacenamiento termoquímico, según reivindicación 4, **caracterizada** porque la conexión entre el reactor exotérmico-intercambiador (6) del subsistema de carga/descarga y el receptor solar-reactor (11') del subsistema de regeneración se realiza a través de un tanque de almacenamiento (5).

15 6. Planta de potencia con sistema de almacenamiento termoquímico, según reivindicación 1, **caracterizada** por que la sustancia C es BaSO<sub>4</sub>;

la reacción  $C + D \rightarrow A + E$  es la siguiente:  $BaSO_4 (s) + 4 CO (g) \rightarrow BaS (s) + 4 CO_2 (g)$

20 la reacción  $A + B \rightarrow C$  es la siguiente:  $BaS (s) + 2 O_2 (g) \rightarrow BaSO_4 (s)$

la reacción  $G \rightarrow F + B$  es la siguiente:  $3Mn_2O_3 (s) \rightarrow 2 Mn_3O_4 (s) + 1/2 O_2 (g)$

25 y la reacción  $F + E \rightarrow G + D$  es la siguiente:  $2 Mn_3O_4 (s) + CO_2 (g) \rightarrow 3 Mn_2O_3 (s) + CO (g)$ .

7. Planta de potencia con sistema de almacenamiento termoquímico, según reivindicación 1, **caracterizada** por que el componente e es BaSO<sub>4</sub>;

30 la reacción  $C + D \rightarrow A + E$  es la siguiente:  $BaSO_4 (s) + 4 CO (g) \rightarrow BaS (s) + 4 CO_2 (g)$

la reacción  $A + B \rightarrow C$  es la siguiente:  $BaS (s) + 2 O_2 (g) \rightarrow BaSO_4 (s)$

la reacción  $G \rightarrow F + B$  es la siguiente  $Co_3O_4 (s) \rightarrow 3 CoO (s) + 1/2 O_2 (g)$

35 y la reacción  $F + E \rightarrow G + D$  es la siguiente:  $3 CoO (s) + CO_2 (g) \rightarrow Co_3O_4 (s) + Co (g)$

8. Método de funcionamiento de la planta descrita en cualquiera de las reivindicaciones anteriores para la producción de electricidad que comprende al menos las siguientes etapas:

- 40
- dirección de la radiación solar al receptor solar (1),
  - calentamiento de la sustancia C en el receptor solar con la energía solar,
  - 45 • realización de una reacción exotérmica en un reactor exotérmico-intercambiador (6) a partir de la sustancia C calentado previamente, siendo la reacción de tipo R2:  $C + D \rightarrow A + E$
  - 50 • transferencia de la energía producida en la reacción exotérmica de tipo R2 al fluido trabajo de la planta para calentar dicho fluido de trabajo antes de que este entre en el bloque de potencia (8) para la generación de electricidad,



- realización de una reacción exotérmica en un reactor exotérmico-intercambiador (4) a partir de una sustancia A obtenido en la primera reacción exotérmica, siendo la reacción de tipo R1:  $A + B \rightarrow C$
- 5
- transferencia de la energía producida en la reacción exotérmica de tipo R1 al fluido de trabajo para calentar dicho fluido de trabajo,
  - realización de una reacción endotérmica con energía solar en un receptor solar-reactor (11), siendo la reacción de tipo R4:  $G \rightarrow F + B$
- 10
- realización de una reacción endotérmica con energía solar en el receptor solar-reactor (11'), siendo la reacción del tipo R3:  $E + F \rightarrow D + G$
9. Método de funcionamiento, según reivindicación 8 **caracterizado** porque la sustancia C obtenida en la reacción exotérmica de tipo R1 se almacena en un tanque a baja temperatura (7) y de ahí se conduce hasta el receptor solar (1) para comenzar de nuevo el ciclo.
- 15
10. Método de funcionamiento, según reivindicación 8 **caracterizado** porque la sustancia E obtenida en la reacción exotérmica de tipo R2 puede conducirse hasta un receptor solar-reactor (11') del subsistema de regeneración para ser utilizado como reactivo de una reacción endotérmica de tipo R3.
- 20
11. Método de funcionamiento, según reivindicación 10 **caracterizado** porque la sustancia E se almacena en un tanque de almacenamiento (5) antes de ser conducido hasta un receptor solar-reactor (11') del subsistema de regeneración.
- 25
12. Método de funcionamiento, según reivindicación 8 **caracterizado** porque la sustancia G obtenido en la reacción endotérmica del tipo R3 es almacenado en un tanque de almacenamiento a alta temperatura (3') y posteriormente se conduce al receptor-solar reactor (11) para iniciar el ciclo.
- 30
13. Método de funcionamiento, según reivindicación 8 **caracterizado** porque la sustancia C es  $BaSO_4$ ;
- 35
- la reacción  $C + D \rightarrow A + E$  es la siguiente:  $BaSO_4 (s) + 4 CO (g) \rightarrow BaS (s) + 4 CO_2 (g)$
- la reacción  $A + B \rightarrow C$  es la siguiente:  $BaS (s) + 2 O_2 (g) \rightarrow BaSO_4 (s)$
- 40
- la reacción  $G \rightarrow F + B$  es la siguiente:  $3Mn_2O_3 (s) \rightarrow 2 Mn_3O_4 (s) + 1/2 O_2 (g)$
- y la reacción  $F + E \rightarrow G + D$  es la siguiente:  $2 Mn_3O_4 (s) + CO_2 (g) \rightarrow 3 Mn_2O_3 (s) + CO (g)$
- 45
14. Método de funcionamiento, según reivindicación 8 **caracterizado** porque la sustancia C es  $BaSO_4$ ;
- la reacción  $C + D \rightarrow A + E$  es la siguiente:  $BaSO_4 (s) + 4 CO (g) \rightarrow BaS (s) + 4 CO_2 (g)$
- 50
- la reacción  $A + B \rightarrow C$  es la siguiente:  $BaS (s) + 2 O_2 (g) \rightarrow BaSO_4 (s)$

la reacción  $G \rightarrow F + B$  es la siguiente:  $\text{Co}_3\text{O}_4 (\text{s}) \rightarrow \text{CoO} (\text{s}) + 1/2 \text{O}_2 (\text{g})$

y la reacción  $F + E \rightarrow G + D$  es la siguiente:  $3 \text{CoO} (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{Co}_3\text{O}_4 (\text{s}) + \text{CO} (\text{g})$





- ②<sup>1</sup> N.º solicitud: 201401011  
 ②<sup>2</sup> Fecha de presentación de la solicitud: 15.12.2014  
 ③<sup>2</sup> Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤<sup>1</sup> Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ <sup>6</sup> Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 2010263832 A1 (DALLA BETTA RALPH A) 21.10.2010, todo el documento.	1,8
A	CN 103352814 A (INST ENG THERMOPHYSICS CAS) 16.10.2013, resumen de la base de datos EPODOC. Recuperado de EPOQUE; figuras.	1,8
A	US 2014298822 A1 (MA ZHIWEN) 09.10.2014, todo el documento.	1,8
A	ES 2363959 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD) 22.08.2011, todo el documento.	1,8
A	LOVEGROVE K et al. A solar-driven ammonia-based thermochemical energy storage system. SOLAR ENERGY, 19990101 PERGAMON PRESS. OXFORD, GB 01.01.1999 VOL: 67 No: 4-6 Págs: 309-316 ISSN 0038-092X Doi: doi:10.1016/S0038-092X(00)00074-8.	1,8
A	FR 2361148 A1 (BATTELLE MEMORIAL INSTITUTE) 10.03.1978, todo el documento.	1,8

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia  
 Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría  
 A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita  
 P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud  
 E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
18.04.2016

Examinador  
E. García Lozano

Página  
1/4

## CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

**F03G6/06** (2006.01)

**F28D20/00** (2006.01)

**F24J2/07** (2006.01)

**B01J19/12** (2006.01)

**F24J1/00** (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

F03G, F28D, F24J, B01J

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 18.04.2016

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-14	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-14	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 2010263832 A1 (DALLA BETTA RALPH A)	21.10.2010
D02	CN 103352814 A (INST ENG THERMOPHYSICS CAS)	16.10.2013
D03	US 2014298822 A1 (MA ZHIWEN)	09.10.2014
D04	ES 2363959 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD)	22.08.2011
D05	LOVEGROVE K et al. A solar-driven ammonia-based thermochemical energy storage system. SOLAR ENERGY, 19990101 PERGAMON PRESS. OXFORD, GB 01.01.1999 VOL: 67 No: 4-6 Págs: 309-316 ISSN 0038-092X Doi: doi:10.1016/S0038-092X(00)00074-8.	01.01.1999
D06	FR 2361148 A1 (BATTELLE MEMORIAL INSTITUTE)	10.03.1978

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

Los documentos citados representan el estado de la técnica de plantas de potencia a partir de energía solar con almacenamiento termoquímico, así como su método de funcionamiento.

El documento D01 divulga un sistema termoquímico con una fuente de energía origen, que es solar, un primer reactor endotérmico que convierte esta energía en energía térmica mediante la descomposición de trióxido de azufre en dióxido de azufre y oxígeno, y un segundo reactor, este exotérmico, que oxida el dióxido de azufre para volver a tener trióxido de azufre y aprovechar la energía obtenida en la generación de electricidad. La salida del primer reactor está unida a la entrada del segundo reactor, y el sistema cuenta con depósitos para almacenar las sustancias necesarias en las reacciones (ver resumen y figuras).

El sistema divulgado en D02 incluye un campo de colectores solares que transfieren la energía captada en un intercambiador (referencias correspondientes a D02) (3) asociado a un reactor endotérmico (5) donde se produce una reacción química. Las sustancias obtenidas en la anterior reacción se transfieren a otro reactor (7) en el que se produce una reacción exotérmica, aprovechándose el calor generado en su intercambiador asociado (8) para cederlo al fluido de trabajo con el que posteriormente se generará energía eléctrica (ver resumen de base de datos EPODOC y figuras).

La mayoría de las plantas de potencia con almacenamiento termoquímico encontradas incluyen un reactor endotérmico y otro exotérmico en un ciclo cerrado. Sin embargo, ninguno divulga ni sugiere un sistema como el de la solicitud, que incorpore un receptor solar, con un tanque de almacenamiento de sustancias a alta temperatura, otro de baja temperatura y otro entre dos reactores, donde estos dos reactores son exotérmicos a la vez que intercambiadores de calor, y donde ambos reactores ceden calor al fluido de trabajo para posteriormente emplearlo en un bloque de potencia y así producir electricidad; y que adicionalmente incorpore un subsistema de regeneración formado por otros dos receptores solares, conectados entre sí, que llevan a cabo sendas reacciones endotérmicas.

Se considera que no resultaría evidente para un experto en la materia, a partir del estado de la técnica indicado, llegar al sistema ni al método propuestos en la solicitud. Por lo tanto, se considera que las reivindicaciones 1 y 8, independientes, son nuevas y cuentan con actividad inventiva (Art. 6 y 8 LP). Las demás reivindicaciones de la solicitud, al ser dependientes de las anteriores, serían igualmente nuevas e inventivas (Art. 6 y 8 LP).