

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 650 840**

21 Número de solicitud: 201600616

51 Int. Cl.:

B01D 53/62 (2006.01)

C01D 7/10 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

19.07.2016

43 Fecha de publicación de la solicitud:

22.01.2018

Fecha de la concesión:

07.05.2018

45 Fecha de publicación de la concesión:

14.05.2018

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE SEVILLA (100.0%)
Secretariado de Transferencia del Conocimiento
y Emprendimiento, Paseo de las Delicias s/n
(Pabellón de Brasil)
41013 Sevilla (Sevilla) ES**

72 Inventor/es:

**CHACARTEGUI RAMÍREZ, Ricardo;
BECERRA VILLANUEVA, José Antonio;
VALVERDE MILLÁN, José Manuel y
BONAVENTURA, Davide**

54 Título: **Sistema integrado de captura de CO₂ y producción de bicarbonato de sodio (NaHCO₃) A partir de Trona (Na₂CO₃ - 2H₂O - NaHCO₃)**

57 Resumen:

La presente invención presenta un sistema integrado de producción de Na₂HCO₃ a partir del CO₂ capturado de industrias o plantas de potencia mediante un proceso de carbonato seco partiendo de trona como materia prima (Na₂CO₃ NaHCO₃ 2H₂O) y convirtiéndola en carbonato de sodio (Na₂CO₃).

La integración optimizada del conjunto permite el acoplamiento con energías renovables a media temperatura >220°C, como pueden ser biomas o sistemas de energía solar térmica a media temperatura. El uso de los mismos resulta en un sistema global de casi cero emisiones de CO₂, siendo capaces de satisfacer las necesidades de calor del conjunto integrado, minimizando el consumo energético del sistema de captura de CO₂ y conversión a bicarbonato. Esta integración optimizada reduce la penalización energética y económica de la integración del sistema de captura de CO₂ y conversión a producto químico de valor añadido

ES 2 650 840 B2

DESCRIPCION

Sistema integrado de captura de CO₂ y producción de bicarbonato de sodio (NaHCO₃) a partir de trona (Na₂CO₃ · 2H₂O · NaHCO₃)

5 **SECTOR DE LA TÉCNICA**

La invención se encuadra dentro del sector técnico de la captura y almacenamiento de CO₂ (CCS), específicamente en lo que respecta a la captura de CO₂ en plantas de potencia y procesos industriales y su posterior utilización (CCU) para la producción de productos químicos de interés industrial. Esta invención integra los procesos de
 10 captura de CO₂ y producción de bicarbonato sódico con el apoyo de energías renovables, biomasa o energía solar de media temperatura (<220°C), dando como resultado un sistema global de casi- cero emisiones con una penalización energética reducida a bajo coste.

ESTADO DE LA TÉCNICA

15 La captura y almacenamiento de CO₂ posee un gran potencial de crecimiento a escala global por la urgente necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto con el objeto de mitigar el calentamiento global. Los procesos de captura de CO₂ desarrollados en los últimos años a nivel de investigación y desarrollo (I + D) tienen como principales objetivos la reducción de costos y los requerimientos energéticos de
 20 los mismos, de manera que se reduzca o elimine las penalizaciones energéticas y económicas asociadas a la integración de sistemas de captura de CO₂. En la actualidad, la única tecnología de captura de CO₂ en postcombustión que opera a escala comercial está basada en la absorción química del CO₂ mediante aminas [1].

El proceso de captura de CO₂ mediante carbonato de sodio en seco (proceso de
 25 carbonatación en seco) se basa en la adsorción química del CO₂ en carbonato de sodio. Mediante la adsorción el carbonato de sodio (Na₂CO₃) se convierte en bicarbonato de sodio (NaHCO₃) o una sal intermedia (Na₂CO₃ · 3NaHCO₃) a través de la reacción química con CO₂ y vapor de agua [2]. El sorbente se regenera de nuevo a su forma de carbonato (Na₂CO₃) cuando se calienta, liberando de este modo un flujo
 30 de CO₂ casi puro tras la condensación de vapor. La adsorción del CO₂ se produce a baja temperatura de operación (T <80 ° C) mientras que la regeneración del sorbente se lleva a cabo a temperaturas superiores aunque también a relativamente bajas (T >

100 ° C). Para la regeneración completa del sorbente de manera suficientemente rápida basta con operar con temperaturas del orden de 200 ° C.

Diferentes patentes describen procesos y mejoras para optimizar la carbonatación de Na_2CO_3 , que es exotérmica [3,4]. La gestión de este calor liberado en el reactor resulta
5 fundamental para implementar de manera eficaz el proceso en un sistema comercial minimizando la penalización energética del proceso en el que se integre.

Por otro lado, existen diferentes procesos de producción de bicarbonato sódico, solvente intermedio en el proceso de carbonatado seco. La patente de SOLVAY para producción de bicarbonato sódico ES2409084 (A1) [5], describe un procedimiento para
10 producir bicarbonato sódico a partir de una corriente que lleva carbonato sódico, una parte de la cual es generada por un cristizador, donde dicha corriente lleva carbonato sódico (A) con al menos 2% en peso de cloruro sódico y/o sulfato sódico. El proceso comprende un proceso de disolución acuosa, generación de cristales de bicarbonato sódico y separación de los mismos. En la patente US2015175434 (A1) [6] se describe
15 un proceso para la producción conjunta de bicarbonato de sodio y otros compuestos alcalinos en los que se genera CO_2 como producto intermedio que puede ser usado para realimentar la fase de producción de bicarbonato sódico.

El Na_2CO_3 puede obtenerse a partir de la descomposición del mineral natural trona ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), compuesto de carbonato de sodio (Na_2CO_3) en
20 aproximadamente un 46% y bicarbonato de sodio (NaHCO_3) en un 35% en peso y disponible en abundancia. La región del mundo con mayor producción de este mineral es Wyoming (Estados Unidos) cuyas minas produjeron más de 17 millones de toneladas de trona. El Servicio Geológico de EE.UU. en 1997 estimó que la reserva total de trona es 127 millones de toneladas, aunque sólo 40 millones de toneladas son
25 recuperables [7]. La Trona es estable hasta 57 ° C en seco, y crea compuestos intermedios tales como wegschiderita ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{NaHCO}_3$) y monohidrato de sodio ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) entre 57 ° C y 160 ° C [8]. Por encima de 160 ° C, la trona se descompone a Na_2CO_3 [9].

Un reto tecnológico relevante es el desarrollo de un método para la conversión de la
30 fracción de Na_2CO_3 en la trona en un producto comercial con valor añadido como el bicarbonato de sodio (NaHCO_3) que sea rentable.

La generación de bicarbonato de sodio a partir de trona está descrita en diferentes patentes [10-11]. En la patente US2013095011 (A1) [12] se describe un proceso para la producción de carbonato de sodio y bicarbonato de sodio a partir de trona. Incluye la

molienda de la trona y su disolución en una solución con carbonato sódico y un aditivo que genere partículas sólidas suspendidas en la solución acuosa y que pueden ser separadas.

En cuanto a la generación de cristales de bicarbonato sódico a partir de trona en
5 WO2013106294 (A1) [13] se describe un proceso de producción de cristales de
bicarbonato de sodio a partir de trona y agua; en US2011064637 (A1) [14] se describe
un proceso para la producción conjunta de carbonato de sodio y cristales de
bicarbonato sódico a partir de polvo de sesquicarbonato de sodio. En el proceso se
usa una suspensión de agua y un gas conteniendo CO₂. En US2009238740 (A1) [15]
10 se presenta un método de preparación de bicarbonato de sodio a partir de trona
conteniendo fluoruro de sodio como impureza mediante la preparación de una solución
de trona e introduciendo CO₂ hasta que la solución alcanza un pH en el rango de 7.5
to 8.75 precipitando el carbonato sódico en la solución de trona. En US2006182675
(A1) [16] se recoge un proceso para la producción de bicarbonato obtenido a partir de
15 trona incluyendo las etapas de purificación, evaporación-decarbonatación,
cristalización, centrifugado y secado. En US2004057892 (A1)[17] se patenta un
método para producir bicarbonato sódico a partir de mineral de trona. El proceso utiliza
la corriente de agua efluente de la conversión de trona a carbonato sódico como
suministro para la conversión de carbonato sódico a bicarbonato sódico.

20 El estado actual de la técnica para la producción de NaHCO₃ a partir Trona se puede
resumir de la siguiente manera. Un reactor tubular vertical con un fondo perforado que
separa la cámara de fluidización superior de una cámara de remanso inferior se
alimenta de trona natural molido. Una corriente de gas se hace pasar a través de la
cámara de remanso en dirección ascendente a través del fondo perforado hacia la
25 cámara de fluidización a una velocidad suficientemente alta para mantener una
porción de la carga en suspensión, y para arrastrar los gases de descomposición, tales
como vapor de agua y CO₂, que se generan durante la reacción. El reactor de lecho
fluido actúa tanto como calcinador para la trona y como separador de las partículas
finas de trona de la porción gruesa de la carga restante en suspensión en el lecho
30 fluido.

La energía térmica requerida para convertir la materia prima (trona) en carbonato de
sodio en bruto puede ser suministrada mediante el calentamiento del gas de
fluidización o mediante la colocación de dispositivos de calentamiento internos o
alrededor del lecho fluido, preferiblemente en el seno del mismo. La temperatura del

lecho fluido se debe encontrar en el rango de 140 ° - 220 ° C [8]. La reacción que tiene lugar en el reactor de lecho fluido es:



$$\Delta H_{298K} = 133,9 \frac{\text{KJ}}{\text{mol}} [9]$$

5

Para la producción de bicarbonato de sodio la solución de Na_2CO_3 intermedia se centrifuga, para separar el líquido de los cristales. Los cristales son entonces disueltos en una solución de carbonato (una solución de Na_2CO_3) en un dilutor giratorio, convirtiéndose así en una solución saturada. Esta solución se filtra para eliminar cualquier material no soluble y luego es bombeada a través de un tanque de alimentación a la parte superior de una torre de carbonatación. El CO_2 purificado se introduce en la parte inferior de la torre de carbonatación y se mantiene presurizado. A medida que la solución de sodio saturada evoluciona a través del carbonatador, se enfría y reacciona con el CO_2 para formar cristales de bicarbonato de sodio. Estos cristales se recogen en la parte inferior del reactor y se transfirieron a otra centrifugadora, donde la solución en exceso se separa por filtración. A continuación los cristales se lavan en una solución de bicarbonato, formando en el filtrado una sustancia tipo torta lista para el secado. El filtrado que se retira de la centrifugadora se recicla al recipiente de disolución rotatorio, donde es utilizada para saturar más cristales de Na_2CO_3 intermedios. La torta del filtro lavada es secada a continuación, ya sea en un transportador de cinta continua o en un secador de tubos verticales instantáneo (flash dryer).

En la torre de carbonatación, la solución saturada de Na_2CO_3 evoluciona desde la parte superior hacia la inferior. A medida que cae, la solución se enfría y reacciona con el CO_2 para formar cristales de NaHCO_3 . Después de la filtración, lavado y secado, los cristales son ordenados por tamaño de partícula y se empaquetan adecuadamente. La reacción que tiene lugar en la torre de carbonatación es:



$$\Delta H_{298K} = 129,09 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \quad [11]$$

El calor requerido en este proceso endotérmico puede ser suministrado mediante combustibles fósiles o bien se podrían emplear fuentes renovables como por ejemplo energía solar o biomasa. Dado que la temperatura de operación es moderada (200°C) un sistema de cilindro-parabólico (PTC) de bajo coste se podría utilizar para suministrar el calor requerido para las reacciones endotérmicas. El concentrador cilindro-parabólico (PTC) es una tecnología de concentración solar que convierte la radiación solar en energía térmica en el receptor mediante un sistema de enfoque lineal. Las aplicaciones de los sistemas de cilindro parabólico PTC se pueden dividir en dos grupos principales. La primera y más desarrollada está asociada a plantas de energía solar concentrada (CSP) para la generación de electricidad utilizando temperaturas relativamente en torno a 300-400°C. El segundo grupo de aplicaciones se encuentra asociado al suministro de energía térmica en aplicaciones que requieren temperaturas en el rango 85 -250 ° C. Estas aplicaciones, que utilizan principalmente calor de proceso industrial, pueden ser limpieza, secado, evaporación, destilación, pasteurización, esterilización, , entre otros, así como aplicaciones con demanda de calor a baja temperatura y altas tasas de consumo (agua caliente sanitaria, calefacción, piscinas climatizada), así como refrigeración a base de calor [18]. Actualmente el término colectores de media temperatura se utiliza para hacer referencia a los colectores que operan en el rango de 80-250 ° C.

En cuanto a sistemas de captura de CO₂ con producción de bicarbonato de sodio, en US20100028241A1 [20] y WO2009029292A1 [21] se presenta un sistema de reacciones para la captura parcial de carbono (CO₂ y CO) en plantas de carbón y producción de hidrógeno y compuestos hidrogenados a partir de cloruro sódico NaCl, carbón y agua. El hidróxido de sodio generado a partir del cloruro es usado para producir carbonato sódico y bicarbonato. Las reacciones químicas entre los gases, el hidróxido, el carbono o el gas natural producen carbonato sólido e hidrógeno, sustancias con valor que pueden venderse o usarse para generar electricidad. En WO2011075680A1 [22] se describe un proceso mediante el cual el CO₂ es absorbido por una mezcla cáustica acuosa para reaccionar a continuación con un hidróxido y formar carbonato/bicarbonato. Ello implica el uso de un proceso de separación de la mezcla líquida y uso de un proceso de electrolisis. En la patente US20060185985A1 [23] se presenta este mismo proceso de uso de hidróxido y electrolisis para obtener carbonato y bicarbonato a partir de CO₂ capturado por una mezcla acuosa. Estas soluciones acuosas para captura de CO₂ se describen en la patente US20100051859A1 [24] en la cual se procesa agua para generar una solución ácida y otra alcalina que captura el CO₂.

La invención que se presenta en este documento consiste en la integración sinérgica de:
 i) un sistema de captura de CO₂ basado en el uso de trona como precursor de Na₂CO₃
 que será usado como sorbente de CO₂; ii) captura de CO₂ de gases efluentes mediante
 un proceso de captura de carbonato seco (proceso de carbonatación en seco), por tanto
 no basado en soluciones acuosas como las patentes anteriormente citadas; iii) proceso
 de producción de bicarbonato de sodio como producto en parte reutilizado en el proceso
 de captura y en parte destinado a su venta.

Esta integración sinérgica de ambos procesos arroja diversas ventajas como son: i) el
 consumo energético permite la integración con fuentes de calor para la regeneración del
 sorbente basados en energías renovables como son biomasa o energía solar de media
 temperatura (<220°C) ; ii) sorbente: el bicarbonato producido en el proceso a su vez
 permite la regeneración de la materia prima usada en el proceso de captura de CO₂
 mientras que el bicarbonato en exceso producido es un producto de valor económico
 cuya venta reduce la penalización económica de la planta; iii) la integración propuesta
 usando como fuentes de calor energía renovable (solar ,biomasa, eólica) da lugar a
 sistemas globales de cero emisiones de CO₂ con una reducida penalización de
 prestaciones del sistema integrado y baja penalización energética

Referencias

- [1] Spigarelli BP, Kawatra SK. Opportunities and challenges in carbon dioxide capture. *J CO2 Util* 2013;1:69–87. doi:10.1016/j.jccu.2013.03.002.
- [2] Nelson, T. O., Coleman, L. J., Green, D. A., & Gupta, R. P. (2009). The dry carbonate process: carbon dioxide recovery from power plant flue gas. *Energy Procedia*, 1(1), 1305-1311.
- [3] Krieg, J.P., and Winston, A.E. 1984. Dry Carbonation Process. U.S. Patent 4,459,272, assigned to Church & Dwight Co., Inc., filed April 26, 1983, and issued July 10, 1984.
- [4] Falotico, A.J. 1993. Dry Carbonation of Trona. PGT Application No.: PCT/US1992/006321 (WO1993/011070), assigned to Church & Dwight Company, Inc., June 10.
- [5] WALRAVENS HUGO; ALLEN KURT; CHAU THOI-DAI ;VANDENDOREN ALAIN, "PROCEDIMIENTO PARA PRODUCIR BICARBONATO SODICO" Spanish Patent ES2409084 (A1).
- [6] KISIELEWSKI JAMES C; HANSEN DAVID M, PRODUCTION OF CRYSTALLINE SODIUM BICARBONATE USING CO2 RECOVERED FROM ANOTHER ALKALI PRODUCTION PROCESS U.S. Patent No. US2015175434 (A1)
- [7] Harris RE. Fifty Years of Wyoming Trona Mining 1997:177–82.
- [8] Gärtner RS, Witkamp GJ. Wet calcining of trona (sodium sesquicarbonate) and bicarbonate in a mixed solvent. *J Cryst Growth* 2002;237:2199–204. doi:10.1016/S0022-0248(01)02275-8.
- [9] Kim NK, Srivastava R, Lyon J. Simulation of an industrial rotary calciner with trona ore decomposition 2002.

[10] Sproul, Jared Sanford, and Eric Rau. "Process for producing sodium carbonate from trona." U.S. Patent No. 3,869,538. 4 Mar. 1975.

[11] Turner, Allan L. "Process for producing sodium carbonate from trona ore." U.S. Patent No. 6,010,672. 4 Jan. 2000.

5 [12] BRETON CLAUDE; CHAU THOI-DAI; PIET JOFFREY, PROCESS FOR THE JOINT PRODUCTION OF SODIUM CARBONATE AND SODIUM BICARBONATE, U.S. Patent No. US2013095011 (A1)

10 [13] BRACILOVIC DRAGOMIR M; KURTZ ANDREW D; PALUZZI JOSEPH A; SENK ZBIGNIEW M BOUNDARY LAYER CARBONATION OF TRONA, WO Patent No. WO2013106294 (A1)

[14] DAVOINE PERRINE; COUSTRY FRANCIS M; DETOURNAY JEANPAUL; ALLEN KURT, PROCESS FOR THE JOINT PRODUCTION OF SODIUM CARBONATE AND SODIUM BICARBONATE, U.S. Patent No. US2011064637 (A1)

15 [15] SENSARMA SOUMEN; PHADTARE SUMANT; SASTRY MURALI, METHOD OF REMOVING FLUORIDE IMPURITIES FROM TRONA AND PREPARATION OF SODIUM BICARBONATE, U.S. Patent No. US2009238740 (A1)

[16] CEYLAN ISMAIL; UGURELLI ALI; DILEK NOYAN, PROCESS FOR PRODUCTION OF DENSE SODA, LIGHT SODA, SODIUM BICARBONATE AND SODIUM SILICATE FROM SOLUTIONS CONTAINING BICARBONATE, U.S. Patent No. US2006182675 (A1)

20 [17] KURTZ ANDREW D, SODIUM BICARBONATE PRODUCTION METHOD, U.S. Patent No. US2004057892 (A1)

[18] Fernández-García A, Zarza E, Valenzuela L, Pérez M. Parabolic-trough solar collectors and their applications. *Renew Sustain Energy Rev* 2010;14:1695–721.

25 [19] Hal B. H. Cooper Robert E. Tang Donald E. Degling Thomas K. Ewan Sam M. Ewan, Process and apparatus for carbon capture and elimination of multi-pollutants in fuel gas from hydrocarbon fuel sources and recovery of multiple by-products, U.S. Patent No. US20080250715A1

[20] Surendra Saxena, Hydrogen Production and Carbon Sequestration in Coal and Natural Gas-Burning Power Plants, U.S. Patent No. US20100026241A1

30 [21] Surendra Saxena, Hydrogen production with carbon sequestration in coal and/natural gas-burning power plants, WO Patent No. WO2009029292A1

[22] Joe David Jones, Séquestration du dioxyde de carbone par formation de carbonates du groupe 2 et de dioxyde de silicium, WO Patent No. WO2011075680A1

35 [23] Joe Jones, Removing carbon dioxide from waste streams through co-generation of carbonate and/or bicarbonate minerals, U.S. Patent No. US20060185985A1

[24] Kurt Z. House Christopher H. House Michael J. Aziz Daniel Paul Schrag, Carbon Dioxide Capture and Related Processes, U.S. Patent No. US20100051859A1

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1. Representación esquemática de la invención con representación de las diferentes corrientes de sólidos y gases e interacción entre los subsistemas de captura de CO₂ y generación de NaHCO₃.

- 5 Figura 2. Representación esquemática del subsistema de captura y almacenamiento de CO₂ mediante el proceso de carbonatación seca. La figura ilustra una posible configuración para el subsistema de captura de CO₂. Se muestran las diferentes unidades de proceso de reacción, el intercambio de calor, separación y compresión.

Componentes	Significado
1.	Planta de producción de energía eléctrica
2.	Intercambiador de calor agua-humos
3.	Reactor de captura de CO ₂
4.	Separador de sólido-gas
5.	Intercambiador de calor NaHCO ₃ -Na ₂ CO ₃
6.	Regenerador sorbente
7.	Separador de sólido-gas
8.	Enfriador CO ₂ (20°C)
9.	Compresor CO ₂ (1-10 bar)
10.	Enfriador CO ₂ (20°C)
11.	Compresor CO ₂ (10-25 bar)
12.	Enfriador CO ₂ (20°C)
13.	Compresor CO ₂ (25-75 bar)
14.	Enfriador CO ₂ (20°C)
Flujos	Significado
F1.	Humos a la salida de la planta de producción de energía
F2.	Agua para el reactor de captura de CO ₂
F3.	Make-up del sorbente que se necesita cada ciclo
F4.	Producto a la salida del carbonatador
F5.	Humos a la salida del carbonatador
F6.	Sólidos a la salida del carbonatador (60°C)
F7.	Sólidos en entrada al regenerador(140°C)
F8.	CO ₂ recuperado del sistema
F9.	Na ₂ CO ₃ regenerado (80°C)
F10.	Na ₂ CO ₃ regenerado (200°C)
F11.	CO ₂ enviada a Sistema de almacenamiento (20 °C, 75 bar)

10

Figura 3. Representación esquemática del subsistema de producción de bicarbonato de sodio. La figura ilustra una posible configuración para la producción de NaHCO₃. Usnado mineral natural Trona y CO₂ proveniente del subsistema de captura (CO₂ EN). El exceso de Na₂CO₃ se envía al subsistema de captura para makup sorbente. Las

diferentes unidades de proceso de reacción, el intercambio de calor y se muestra la separación de los productos.

Componentes	Significado
15.	Intercambiador de calor Trona - Na_2CO_3
16.	Reactor de lecho fluido
17.	Separador de sólido-gas
18.	Intercambiador de calor Agua - Agua+ CO_2
19.	Reactor de captura de CO_2 y producción NaHCO_3
20.	Separador de sólido-líquido
Flujos	Significado
F12.	Trona triturada
F13.	Trona caliente en entrada al reactor de lecho fluido(125°C)
F14.	Producto a la salida del reactor de lecho fluido
F15.	CO_2 y vapor de agua (220°C)
F16.	CO_2 y agua (95 °C)
F17.	Agua (35 °C)
F18.	Vapor de agua sobrecalentado (205°C)
F19.	Na_2CO_3 caliente (220°C)
F20.	Na_2CO_3 enfriado (40 °C)
F3.	Make up del sorbente que se necesita cada ciclo
F21.	Producto en entrada al reactor de producción de NaHCO_3
F11.	CO_2 de sistema de captura
F22.	Producto a la salida del reactor de producción de NaHCO_3
F23.	Agua de proceso
F24.	NaHCO_3 producto del sistema

5

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

- La presente invención se refiere a un sistema integrado de producción de bicarbonato de sodio (Na_2HCO_3) a partir del CO_2 capturado mediante un proceso de carbonatación en seco partiendo de trona ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) como materia prima y convirtiéndola en carbonato de sodio (Na_2CO_3). Parte del Na_2CO_3 se recicla como sorbente en el proceso de captura de CO_2 y el resto se usa junto con parte del CO_2 capturado para la producción de bicarbonato sódico como producto químico de valor comercial.
- 10 La integración optimizada del conjunto permite el acoplamiento de un sistema de aporte de calor a media temperatura, que puede estar basado en energía solar térmica a media temperatura o bien en biomasa, capaz de satisfacer las necesidades de calor del conjunto integrado, minimizando con ello el consumo energético del sistema de

captura de CO₂ y producción de bicarbonato. Esta integración optimizada reduce la penalización energética y sobre todo económica de la captura de CO₂. En función de la configuración adoptada la energía térmica a aportar para la captura de CO₂ es del orden de 915 kWh_{th} por tonelada de CO₂ capturado, mientras que el consumo de energía térmica para la conversión de CO₂ a bicarbonato sodico tendría un consumo de energía térmica del orden de 250 kWh_{th} por tonelada de NaHCO₃ producido. A estos consumos se añade el consumo energético asociado a la compresión de CO₂ para su almacenamiento, que en el caso de un incremento de presión desde presión atmosférica a 75 bar es del orden de 112 kWh_e por tonelada de CO₂.

10 El sistema propuesto está compuesto por dos subsistemas, uno asociado con el proceso de carbonatación seca para la captura de CO₂, basado en el uso de carbonato de sodio como sorbente de CO₂ y otro relacionado con la producción de bicarbonato de sodio a partir de trona.

15 El esquema conceptual del sistema integrado se muestra en la figura 1 donde ilustra la estructura lógica de integración de corrientes entre ambos procesos de captura y generación de bicarbonato sódico con parte del CO₂ capturado. El proceso además permite la regeneración del mismo y el control de la cantidad de CO₂ capturado y Na₂CO₃ recirculado para optimizar el modo de operación, los consumos energéticos y el retorno económico del conjunto del sistema.

20 Las unidades principales del primer subsistema (captura de CO₂) se muestran en la Figura 2 y consisten en un reactor de captura de CO₂ (carbonatador), un reactor de desorción (regenerador), dos unidades de separación, intercambiadores de calor para la recuperación de calor, unidad de condensación de agua en el final del proceso y compresores para el CO₂ puro.

25 Los elementos que componen el segundo subsistema, conversión de CO₂ a bicarbonato sódico utilizan (figura 3) unidades similares: un reactor de lecho fluido para la conversión de trona en carbonato sódico, una torre de carbonatación para la producción de bicarbonato de sodio, dos unidades de separación e intercambiadores de calor para recuperación de calor y optimización energética de los procesos.

30 En el subsistema para la captura de CO₂ (Figura 2), los gases de combustión, procedentes de planta de potencia de combustible fósil o una aplicación industrial, se envían a la torre de carbonatación. En el carbonatador, CO₂, H₂O y Na₂CO₃ reaccionan exotérmicamente para formar NaHCO₃. Este reactor opera a baja temperatura (T = 60 ° C) y presión atmosférica (p = 1 atm), por lo que el calor liberado se puede utilizar para almacenamiento térmico a baja temperatura. El sistema integra
35 un separador que permite dividir la corriente de solución de bicarbonato de la corriente

de gas de combustión residual. Con esta configuración un 90% de CO_2 de entrada puede ser capturado. La corriente de bicarbonato saliente es enviada a un regenerador. En el mismo, la reacción inversa (endotérmica) tiene lugar, conduciendo a la formación de Na_2CO_3 , H_2O y CO_2 a partir de NaHCO_3 . Este calor puede ser
5 suministrado por una fuente a moderada temperatura tanto de origen fósil como renovable. Con objeto de no introducir nuevas emisiones de CO_2 con combustible fósil se puede suministrar calor procedente bien de biomasa o bien de energía solar mediante un sistema basado en cilindros parabólico especialmente apropiados para operar a media temperatura ($200\text{ }^\circ\text{C}$). En el regenerador las corrientes de salida se
10 separan: el Na_2CO_3 se envía de nuevo a la torre de carbonatación, mientras que el CO_2 no empleado en la generación de bicarbonato se envía a una etapa de condensación de agua y posterior compresión para su almacenamiento. Para reducir la potencia de accionamiento de estos compresores es necesaria refrigeración intermedia. El sistema necesitará un cierto aporte de sorbente para reemplazar el
15 Na_2CO_3 desactivado por reacciones irreversibles asociadas a la reacción con SO_2 y HCl que normalmente están presentes en los gases de combustión.

El segundo subsistema (Fig. 2) utiliza una fracción del CO_2 capturado en el primer subsistema y trona para producir NaHCO_3 . El mineral de trona molido es introducido en el reactor de lecho fluido junto con vapor sobrecalentado a $200\text{ }^\circ\text{C}$. El reactor de
20 lecho fluido opera en el rango de $200\text{-}220\text{ }^\circ\text{C}$ y presión atmosférica. Bajo estas condiciones de operación la trona se convierte en Na_2CO_3 . Un flujo adicional de CO_2 y vapor de agua es generado durante la conversión de la trona que es separado del flujo de Na_2CO_3 . Parte del flujo de Na_2CO_3 es enviado al subsistema de captura mediante carbonato seco como sorbente fresco de reposición, mientras que el resto se envía a
25 una torre de carbonatación junto con la corriente de CO_2 y H_2O , y CO_2 puro adicional del subsistema de captura (Fig. 1) con el fin de producir NaHCO_3 , producto con valor añadido para la industria química y adecuado para la venta.

En la invención propuesta el CO_2 procedente bien de plantas de potencia de combustible fósil (carbón, gas natural o fuel oil), o bien procedente de procesos
30 industriales (refinerías, plantas cementeras, industria metalúrgica, etc.) es capturado mediante el proceso de carbonatación seca (dry carbonate) usando como materia prima un mineral abundante en la naturaleza y de relativo bajo coste (mineral de trona).

La integración optimizada de la captura de CO_2 y producción de bicarbonato sódico da
35 lugar a una configuración sinérgica en cuanto a consumo energético y costes asociados de los procesos de captura de CO_2 y conversión a producto químico de alto

valor añadido (bicarbonato sódico). La integración de ambos presenta una penalización energética de la planta de potencia (o industria emisora de CO_2 a la que se aplique) moderada frente a la que tiene con otros sistemas de captura de CO_2 . Esta penalización energética va asociada a la energía extra consumida en los procesos. El calor suministrado tanto en el regenerador del sorbente en el subsistema de captura de CO_2 como en el reactor de lecho fluido en el subsistema de producción de bicarbonato de sodio puede tener como origen tanto combustible fósil, con la correspondiente penalización en cuanto a emisiones de CO_2 adicionales y coste de operación o bien fuentes renovables que permitan emisiones prácticamente nulas de CO_2 . Esto se puede alcanzar bien mediante el uso de biomasa o bien por energía solar a media temperatura. En ambos casos y gracias a la optimización de la integración de subsistemas realizada en esta invención en cuanto a condiciones de operación y fracción de CO_2 capturado en los gases de escape utilizada para la producción de un producto químico con valor añadido (NaHCO_3). Además el propio proceso genera el sorbente de reposición para el proceso de captura en la planta. Por tanto se tiene una sinergia del conjunto integrado frente al comportamiento de los sistemas aislados. Esto se traduce en un claro beneficio energético, medioambiental y económico de la integración de sistemas no esperable del análisis del comportamiento aislado de los mismos y con clara ventaja frente a otros sistemas de captura (o captura y uso de CO_2).

La captura de CO_2 y el subsistema de almacenamiento mostrado en la Fig. 2 utiliza un intercambiador de calor sólido-sólido (HEATEXCH) entre los dos reactores para reducir la cantidad total de calor requerido en el regenerador. Este intercambiador de calor permite un aumento de las temperaturas en el regenerador, lo que mejora la velocidad de reacción, con un pequeño gasto adicional de energía térmica. En la Figura 3 se muestra el esquema de una posible configuración para producción de bicarbonato de sodio. Antes de entrar en el reactor de lecho fluido, la trona, en condiciones ambiente, pasa a través de un intercambiador de calor sólido - sólido (HEATEXT) donde intercambia calor con la corriente de Na_2CO_3 que sale del reactor de lecho fluido. Otro intercambiador de calor (HEATEXW) es utilizado para calentar el agua que entra en el lecho fluido a partir de los gases salientes del mismo, lo que permite aportar al reactor vapor de agua sobrecalentado.

La sinergia obtenida al integrar ambos sistemas viene reflejada en el diagrama de flujo de la figura 1.

- Para la producción de NaHCO_3 a partir de trona, el CO_2 necesario lo suministra el subsistema de captura de CO_2 ($x^*\text{CO}_2$ del diagrama). Por tanto se da uso a

parte del CO₂ capturado y el resto se almacena, dando lugar a una nueva aplicación de CCUS (captura de dióxido de carbono, utilización y almacenamiento) no identificada hasta la fecha

- 5 • Para la captura de CO₂ en el proceso de carbonato seco hace falta un aporte de Na₂CO₃ fresco, que con la integración propuesta lo suministra el subsistema de producción de Trona (MAKEUP en la figura 1). Esto abarata de modo sustancial el sistema de captura, siendo esto novedoso.

10 Las ventajas que presenta esta tecnología son:

- Tecnología de captura de CO₂ en plantas térmicas de combustible fósil y en plantas industriales con una reducida penalización energética y económica del conjunto.
- 15 - Tecnología de captura de CO₂ y conversión a producto químico con valor añadido, bicarbonato sódico, tanto para plantas térmicas de combustible fósil como para otras plantas industriales emisoras de CO₂ con un importante retorno económico debido a que el efecto de penalización energética es suplido por la venta de NaHCO₃. Además genera la cantidad de sorbente fresco que es necesario reponer debido a su desactivación
- 20 - Una fracción del CO₂ capturado es integrado en la producción de bicarbonato sódico, lo que reduce/elimina requerimientos de almacenamiento del mismo. Ello aumenta la sostenibilidad del proceso de captura de CO₂.
- En el caso de integración de fuente de energía renovable (biomasa o solar de media temperatura) se obtiene un sistema global de casi cero emisiones de CO₂ tanto para plantas de potencia de combustible fósil como para otras plantas industriales. Incluye sectores industriales como el carbón, acerías, cemento.
- 25 - Permite optimizar la configuración de la integración y la fracción de Na₂CO₃ recirculado y CO₂ almacenado en forma de bicarbonato en función de los requerimientos de producción desde el punto de vista medioambiental en función de las características de la integración.
- 30 - Puede ser incorporada en plantas térmicas e industriales existentes sin penalización relevante en las prestaciones de las mismas.

35

MODO DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

A modo de ejemplo de la invención, se muestra el proceso de producción de bicarbonato de sodio utilizando el CO₂ capturado mediante un proceso de carbonatación seca en una central eléctrica de carbón (150 MW_{el}). Los gases de combustión de la planta presentan una concentración de CO₂ (~ 15% vol). Los datos principales de la central de carbón se muestran en la Tabla 1.

Item	Magnitud	Unidades
Consumo de carbón	61	ton/hr
Flujo de Aire	692	ton/hr
Potencia bruta aportada	447	MWth
Potencia neta aportada	397	MWth
Potencia neta producida	150	MW _{el}
Rendimiento neto	33,5	%

10

Tabla 1: Datos del ejemplo de invención. Central térmica de referencia. Planta de carbón de 150 MW_{el}

La Tabla 2 muestra los flujos molares de los gases de combustión tomados para ilustrar la invención.

15

Compuesto de la corriente de salida	Flujo molar(kmol/hr)	Gasto másico(tons/hr)
N ₂	17154,21	529,71
CO ₂	3085,62	135,96
H ₂ O	1471,86	29,4
O ₂	781,8	27,57
CO	140,7	3,93
NO	135,36	4,47
SO ₂	37,53	2,64

Tabla 2: Composición de los gases de escape en la central térmica de carbón de referencia

20

Otros parámetros empleados en el análisis se muestran en la Tabla 3 mientras que en la Tabla 4 se muestran los consumos energéticos asociados a los diferentes componentes.

5

Temperatura del regenerador	200	°C
Temperatura del reactor de lecho fluido	220	°C
Temperatura de Carbonación e	60	°C
Actividad de Na ₂ CO ₃	0.75	
Mínima diferencia de temperatura en intercambiadores	15	°C
Consumo de transporte de sólidos	5,5	kwh _{el} /tn
Horas solares de referencia	12	
Rendimiento isentrópico de compresores	0.9	
Presión de almacenamiento de CO ₂	75	bar

Tabla 3: Parámetros de referencia para el ejemplo de invención

	Potencia generada	Potencia consumida
CFFP	150 MW _{el}	447 MW _{th}
Calor Regenerador		114 MW _{th}
Potencia compresión de CO ₂		13,3 MW _{el}
Potencia Transporte de sólidos		2,47 MW _{el}
Potencia neta	134,23 MW _{net}	
Reactores de lecho fluido		51 MW
Calor total requerido		612 MW _{th}

10 Table 4: Consumo de energía en la planta de referencia del ejemplo de invención con el sistema de captura de CO₂ y producción de NaHCO₃.

El subsistema de captura tiene un rendimiento del 90%. Para ello utiliza 430 ton / hr de Na₂CO₃ como sorbente para eliminar 125 ton/ hr de CO₂ en un ciclo continuo. El flujo de sorbente de reposición es cercano a 3 ton / hr. Como se muestra en la Tabla 4, el calor necesario para la regeneración del sorbente después de la captura de CO₂ es 114 MW_{th}. El consumo de energía para la compresión de CO₂ y de transporte de sólidos asciende a 16 MW_{el}. El rendimiento total de la planta integrada (planta de combustión de carbón + captura) considerando el aporte de calor requerido la potencia consumida se reduce de 33,5% a 24%. Considerando sólo el efecto de la potencia 15 requerida para la compresión y transporte, para este ejemplo la reducción en la 20

energía eléctrica disponible es del 10% lo cual supone un efecto sobre el rendimiento global del 3%. Teniendo en consideración que las temperaturas en los reactores permiten la integración de aporte de energía solar, el conjunto del sistema podría operar con una penalización sobre el rendimiento económico (energía disponible/energía comprada) inferior al 3% consiguiendo casi cero emisiones.

En el subsistema de producción de NaHCO_3 (Fig 3), el calor requerido en el reactor de lecho fluido para descomponer 192 ton / hr (53,3 kg / seg) de trona es 51 MW_t a $T = 220^\circ \text{C}$ para producir 135,5 ton / hr de Na_2CO_3 (además de 18,5 ton / hr de CO_2 y 40 ton / h de agua). 3 tn / h de Na_2CO_3 se destinan como sorbente de reposición para el proceso de captura de CO_2 . El resto (132,5 ton / hr) se envía a la torre de carbonatación donde reacciona con 37,5 ton / hr de CO_2 procedentes del sistema de captura de CO_2 (además de CO_2 efluente del lecho fluido) para producir NaHCO_3 . De la reacción $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{NaHCO}_3$ resulta que 207,5 ton / hr de NaHCO_3 se producen con un caudal total de aproximadamente $95 \text{ m}^3 / \text{hr}$. De esta manera, se obtiene un producto químico de alto valor económico (NaHCO_3) a partir de una materia prima como la trona, abundante y de relativo bajo coste y de parte del CO_2 capturado (de centrales térmicas o procesos industriales). Este proceso integrado de captura y conversión a NaHCO_3 reduce (y elimina en función del modo de operación elegido) la necesidad de almacenamiento total de CO_2 , con los requerimientos de sistema de compresión y penalización energética que conlleva.

El rendimiento global del sistema, y la energía eléctrica disponible/requerida se reduce por la integración de la producción de bicarbonato de sodio, que a su vez captura CO_2 que no necesita ser comprimido. El ingreso económico asociado al nuevo producto compensa la penalización asociada a este proceso. Las necesidades totales de calor se incrementan teniendo en cuenta los 51 MW térmicos requeridos en el reactor de lecho fluido.

REIVINDICACIONES

1. Sistema integrado de captura de CO₂ y producción de bicarbonato de sodio (Na₂HCO₃) caracterizado porque comprende:
 - 5 a. Captura de CO₂ mediante un proceso de carbonatación en seco
 - b. Conversión de trona (Na₂CO₃ · NaHCO₃ · 2H₂O) en carbonato de sodio (Na₂CO₃)
 - c. Generación de bicarbonato sódico a partir del Na₂CO₃ generado y del CO₂ capturado.
- 10 2. Sistema integrado de captura de CO₂ y generación de NaHCO₃ según reivindicación 1 caracterizado porque se integra en la corriente de salida de plantas térmicas de combustible fósil y en instalaciones industriales emisoras de CO₂.
3. Sistema integrado de captura de CO₂ y generación de NaHCO₃ según
 15 reivindicación 1 caracterizado porque el subsistema de captura de CO₂ es mediante el proceso de carbonatación seca.
4. Sistema integrado según las reivindicaciones 1 a 3 caracterizado por el aporte de calor a temperatura media (140 -230 ° C) para la regeneración del sorbente y
 20 disociación de la trona en el proceso de captura de CO₂ es a partir de energías renovables, tecnología solar térmica de media temperatura o biomasa.
5. Sistema integrado de captura de CO₂ y generación de NaHCO₃ según
 25 reivindicaciones 1 a 4 caracterizado porque permite generar sistemas de casi-cero emisiones de CO₂, con una eficiencia de captura >90%, en tecnologías basadas en combustible fósil mediante el soporte de energías renovables que para plantas de carbón es del orden del 10% del calor total aportado en el conjunto.
6. Sistema integrado de captura de CO₂ y generación de NaHCO₃ según
 30 reivindicaciones 1 a 5 caracterizado porque para la producción de NaHCO₃ a partir de Trona, el CO₂ necesario es suministrado por el subsistema de captura de CO₂.
7. Sistema integrado de captura de CO₂ y generación de NaHCO₃ según
 35 reivindicación 6 caracterizado porque el CO₂ necesario para la producción de bicarbonato sódico proviene del CO₂ capturado y a su vez la conversión a bicarbonato sódico fija de manera permanente el CO₂ capturado
8. Sistema integrado de captura de CO₂ y generación de NaHCO₃ según
 40 reivindicaciones 1 a 7 caracterizado porque genera internamente el sorbente

fresco (Na_2CO_3) que es necesario reponer para mantener activo el proceso de captura de CO_2 y permite generar el Na_2CO_3 de reposición necesario para el proceso de carbonatación seca a partir de la calcinación de la trona para producción de bicarbonato.

- 5 9. Sistema integrado de captura de CO_2 y generación de NaHCO_3 según reivindicaciones 1 a 8 caracterizado porque permite reducir los requerimientos energéticos del conjunto: composición y temperatura de corrientes en regenerador del carbonato sódico en el proceso de captura de CO_2 y calcinador de la trona (150-220°C), y corrientes en ambas torres de carbonatación (60°C).

10

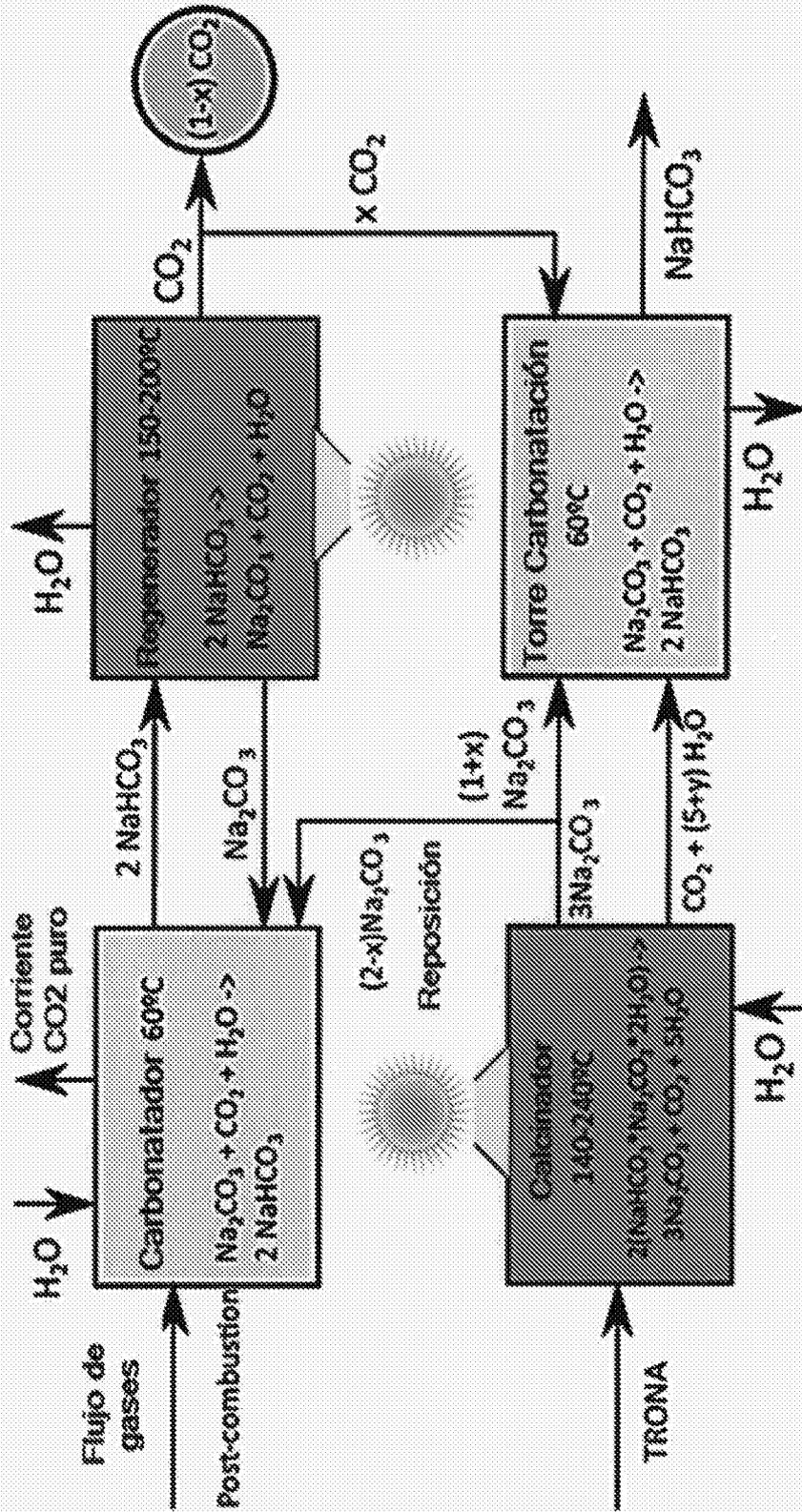


Figura 1

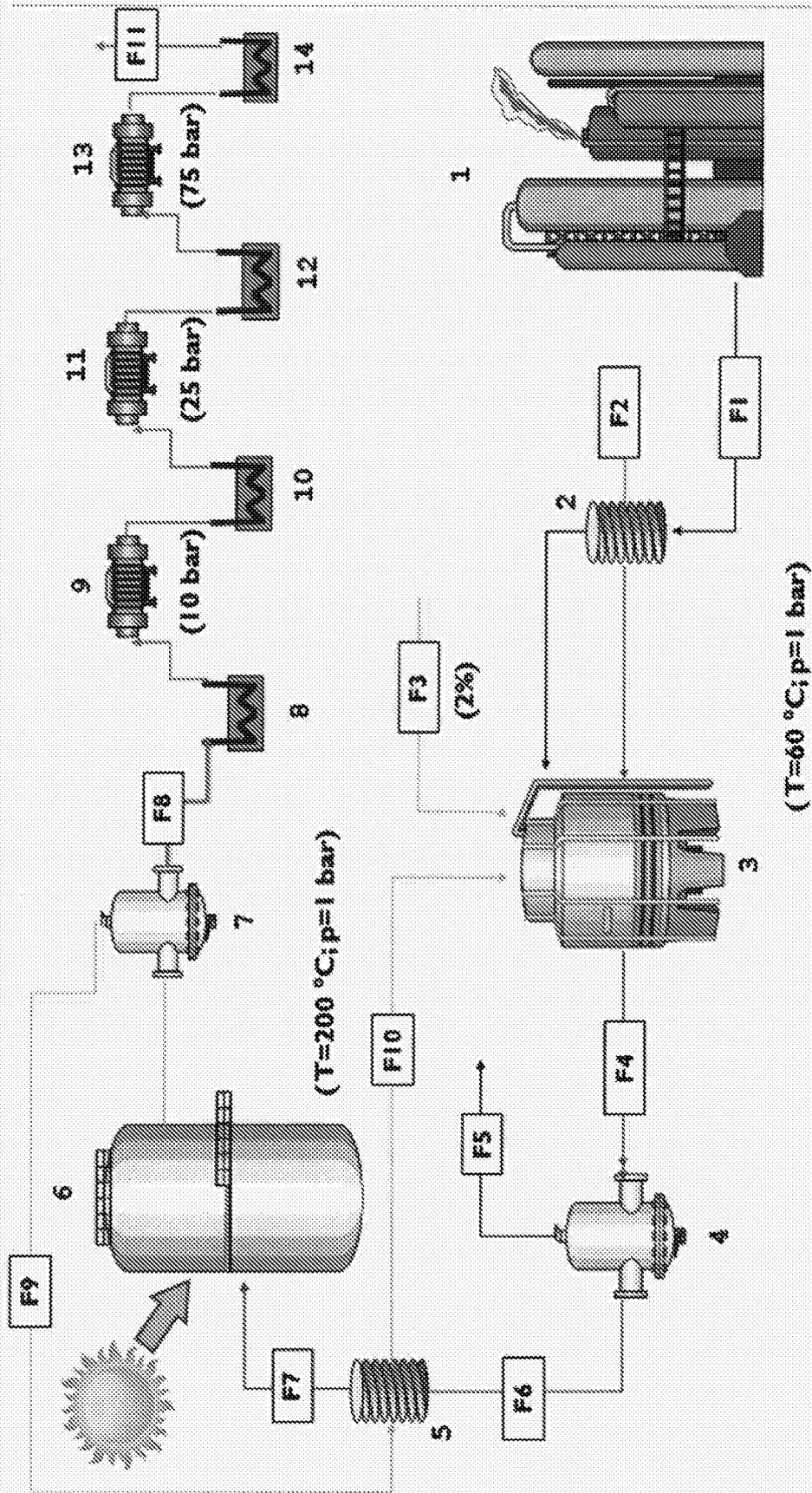


Figura 2

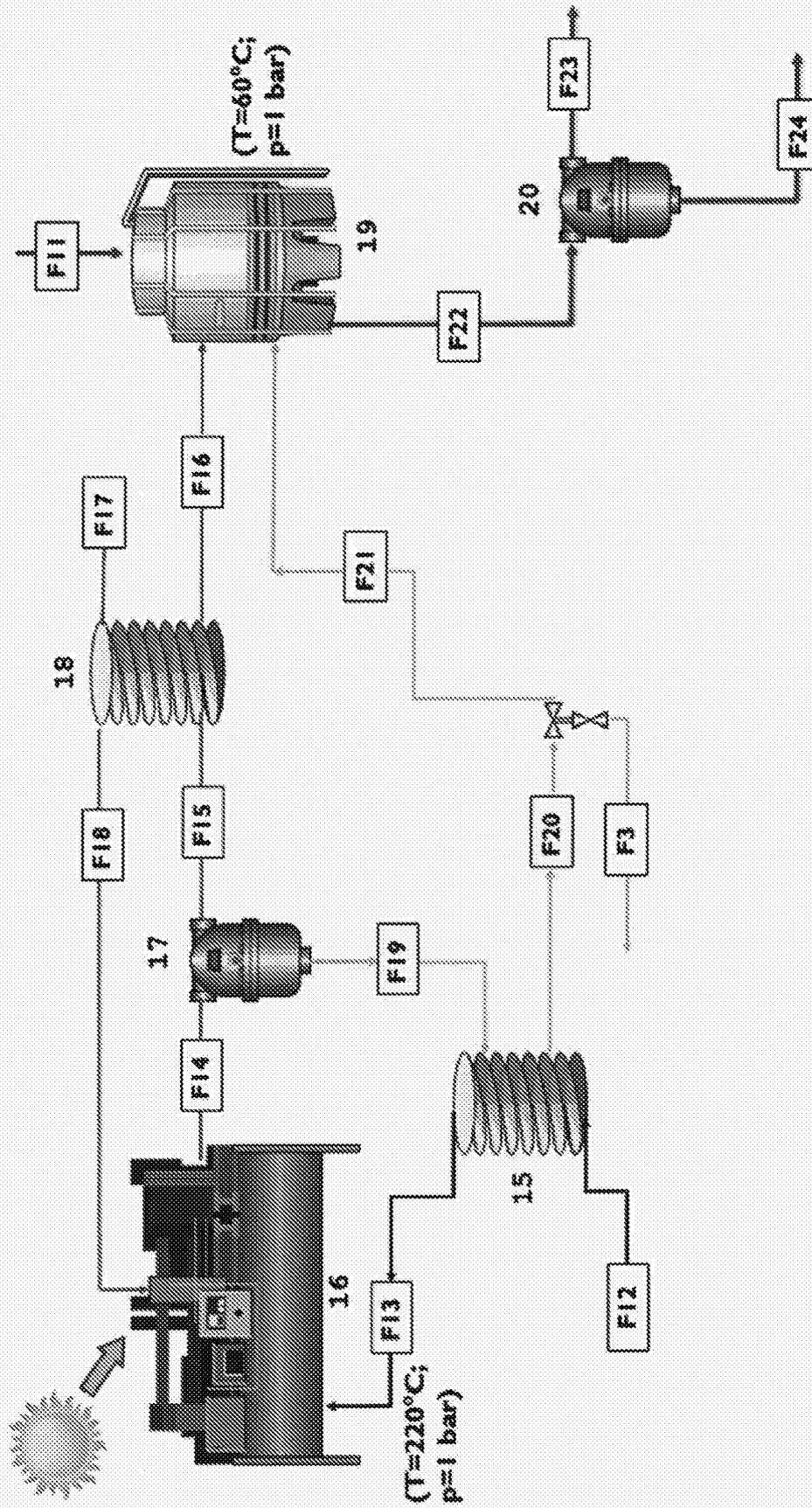


Figura 3



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201600616

②② Fecha de presentación de la solicitud: 19.07.2016

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤ Int. Cl.: **B01D53/62** (2006.01)
C01D7/10 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	NELSON TO et al.: "The Dry Carbonate Process: Carbon dioxide recovery from power plant flue gas", 2009, Energy Procedia, vol. 1, pp.: 1305–1311, todo el documento, doi:10.1016/j.egypro.2009.01.171	1-9
A	WO 2009029292 A1 (SAXENA SURENDRA) 05/03/2009, Todo el documento.	1-9
A	US 2012275987 A1 (HIZA MICHAEL D et al.) 01/11/2012, Todo el documento.	1-9
A	WO 2007003013 A1 (PERMA CARB PTY LTD et al.) 11/01/2007, Todo el documento.	1-9
A	KNUUTILA H et al.: "CO2 capture from coal-fired power plants based on sodium carbonate slurry; a systems feasibility and sensitivity study", 2009, International Journal of Greenhouse Gas Control, vol. 3, pp.: 143 – 151, todo el documento, doi:10.1016/j.ijggc.2008.06.006	1-9

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
17.10.2016

Examinador
A. Maquedano Herrero

Página
1/4

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

B01D, C01D

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

INVENES, EPODOC, WPI, BIOSIS

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 17.10.2016

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-9	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-9	SI
	Reivindicaciones	NO

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	NELSON TO et al.: "The Dry Carbonate Process: Carbon dioxide recovery from power plant flue gas", 2009, Energy Procedia, vol. 1, pp.: 1305–1311, todo el documento, doi:10.1016/j.egypro.2009.01.171	2009
D02	WO 2009029292 A1 (SAXENA SURENDRA)	05.03.2009
D03	US 2012275987 A1 (HIZA MICHAEL D et al.)	01.11.2012
D04	WO 2007003013 A1 (PERMA CARB PTY LTD et al.)	11.01.2007
D05	KNUUTILA H et al.: "CO ₂ capture from coal-fired power plants based on sodium carbonate slurry; a systems feasibility and sensitivity study", 2009, International Journal of Greenhouse gas control, vol. 3, pp.: 143 – 151, todo el documento, doi:10.1016/j.ijggc.2008.06.006	2009

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

La solicitud reivindica un procedimiento de producción de bicarbonato de sodio (Na₂HCO₃) a partir del dióxido de carbono (CO₂) procedente de las emisiones producidas en plantas térmicas de combustible fósil o en instalaciones industriales emisoras de este compuesto, capturado mediante un proceso de carbonatación en seco partiendo de trona (Na₂CO₃·NaHCO₃·2H₂O) como materia prima y convirtiéndola en carbonato de sodio (Na₂CO₃). Parte del carbonato se recicla como sorbente en un proceso de captura de CO₂ y el resto se usa junto con parte del CO₂ capturado para la producción de bicarbonato sódico como producto químico de valor comercial.

Este procedimiento integra los procesos de captura de CO₂ y de producción de bicarbonato sódico con el apoyo de energías renovables, biomasa o energía solar de media temperatura (<220°C), dando como resultado un sistema global de casi-cero emisiones con una penalización energética reducida a bajo coste.

D01-D05 representan el estado de la técnica anterior. De ellos se considera a D01 como el más cercano a la invención. No se ha encontrado un procedimiento que incluya todas y cada una de las etapas reivindicadas en la solicitud.

D01 describe un procedimiento (conocido como carbonatación en seco RTI) para fijar CO₂ procedente de industrias que vierten dicho gas a la atmósfera como producto de desecho. Básicamente este procedimiento es idéntico al descrito en la solicitud para capturar el CO₂ mediante un proceso de carbonatación en seco:



Las condiciones de temperatura y presión en que se lleva a cabo son idénticas a las de la invención.

Lo que la solicitud aporta al estado de la técnica revelado en D01 es el acoplamiento de otro proceso para optimizar la fijación de CO₂ y la producción simultánea de bicarbonato sódico. La invención añade el proceso en el que en un calcinador a una temperatura de 140-240°C se descompone la trona para formar carbonato sódico. Este carbonato pasará en parte al carbonatador en el que se captura el CO₂ para producir bicarbonato a partir de carbonato sódico.

Lo que la invención obtiene a diferencia de D01 es la integración sinérgica de la captura de CO₂ de gases efluentes, mediante carbonatación en seco, utilizando trona como precursor de carbonato sódico y la producción de bicarbonato de sodio como producto, en parte reutilizado en el proceso de captura de CO₂ y en parte destinado a su venta.

Esta aportación de la solicitud que se diferencia claramente el estado de la técnica conocido, representado por D01 conlleva un esfuerzo inventivo, ya que un experto en la materia no llegaría de forma obvia a la combinación de ambos procesos.

Por todo ello, se considera que las reivindicaciones 1-9 de la solicitud cumplen los requisitos de novedad en el sentido del artículo 6.1 de la Ley 11/1986 y de actividad inventiva en el sentido del artículo 8.1 de la Ley 11/1986.