

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 974 070**

51 Int. Cl.:

C10G 9/18 (2006.01)

C10G 9/20 (2006.01)

C10G 9/36 (2006.01)

F01K 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.04.2021 PCT/EP2021/059324**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.10.2021 WO21205011**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.04.2021 E 21716468 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.12.2023 EP 4133034**

54 Título: **Planta de etileno de ultra bajas emisiones**

30 Prioridad:

09.04.2020 EP 20169114

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

25.06.2024

73 Titular/es:

**TECHNIP ENERGIES FRANCE (100.0%)
2126 Boulevard de la Défense, Immeuble Origine-
CS 10266
92741 Nanterre Cedex, FR**

72 Inventor/es:

OULD, PETER

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 974 070 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Planta de etileno de ultra bajas emisiones

5 La presente invención se refiere a una planta de etileno y a un proceso para producir etileno en dicha planta. La invención se refiere además a un método para el almacenamiento temporal de energía renovable usando la planta de etileno y a un método para la conversión indirecta de hidrógeno en gas rico en metano usando la planta de etileno.

10 Un sistema de horno de craqueo convencional, como se divulga por ejemplo en el documento US 4.479.869, comprende generalmente una sección de convección, en la que la materia prima de hidrocarburos se precalienta y/o se evapora parcialmente y se mezcla con vapor de dilución para proporcionar una mezcla de materia prima-vapor de dilución. El sistema también comprende una sección radiante, que incluye al menos un serpentín radiante en un fogón, en el que la mezcla de vapor de dilución de materia prima de la sección de convección se convierte en componentes de productos y subproductos a alta temperatura por pirólisis. El sistema comprende además una sección de enfriamiento que incluye al menos un intercambiador de enfriamiento, por ejemplo un intercambiador de líneas de transferencia, configurado para enfriar rápidamente el producto o gas craqueado que sale de la sección radiante para detener las reacciones secundarias de pirólisis, y preservar el equilibrio de las reacciones en favor de los productos. El calor del intercambiador de líneas de transferencia puede recuperarse en forma de vapor a alta presión.

20 Un inconveniente de tales sistemas convencionales es que es necesario suministrar mucho combustible para la reacción de pirólisis. Para reducir este consumo de combustible, se puede aumentar significativamente la eficiencia de la cámara de combustión, el porcentaje del calor liberado en la cámara de combustión que se absorbe por la bobina radiante. Sin embargo, el esquema de recuperación de calor en la sección de convección de un sistema de horno de craqueo convencional con mayor eficiencia de la cámara de combustión sólo tiene capacidades limitadas para calentar la materia prima de hidrocarburos para alcanzar la temperatura óptima para entrar en la sección radiante. Como resultado, reducir el consumo de combustible y, por tanto, reducir la emisión de CO₂, es difícilmente posible dentro de un sistema de horno de craqueo convencional.

30 El documento WO2018/229267 aborda este problema y mejora significativamente la eficiencia de la cámara de combustión de los hornos de craqueo y reduce las emisiones de CO₂ de los hornos de craqueo. Sin embargo, un horno de craqueo de alta eficiencia como el que se describe en ese documento también puede reducir significativamente la generación de vapor a alta presión, útil para accionar máquinas, tales como compresores y/o bombas de plantas de etileno, como compresores de gas craqueado, compresores de refrigeración de propileno, compresores de refrigeración de etileno, directamente o después de usar el vapor para la generación de energía eléctrica. Por ejemplo, basándose en una investigación interna realizada por el presente inventor, aumentar la eficiencia del horno de craqueo desde aproximadamente el 40 % hasta aproximadamente el 54 % puede conducir a una reducción de la generación de vapor de aproximadamente 2/3. Como resultado, como efecto secundario de la reducción de emisión de CO₂, no había suficiente vapor disponible para accionar todos estos compresores.

40 El presente inventor inventó recientemente un método y un sistema mejorados para accionar máquinas en una planta de etileno que aborda un inconveniente del documento WO2018/229267, que puede reducir la huella de carbono de la energía producida, es decir, la cantidad de CO₂ emitido por kw de energía producida (véase la solicitud de patente europea no publicada previamente número 19178729.0). En la presente memoria se describe un sistema de central eléctrica y planta de etileno integrado, en donde se puede compensar la menor producción de vapor a alta presión de los hornos y que el exceso de gas combustible producido en el horno de craqueo se usa para generar significativamente más energía.

50 El documento US 2006/116543 A1 divulga una unidad de craqueo al vapor que produce corrientes de producto de etileno y metano. Dicho metano se alimenta en parte a un sistema de cogeneración con una turbina de gas que produce electricidad para calentar una bobina de inducción para el craqueo. El gas de escape de la turbina se utiliza en una cámara de precalentamiento para precalentar la alimentación de hidrocarburos.

55 Sigue existiendo la necesidad de encontrar una forma adicional de mejorar la eficiencia energética de las plantas de etileno y/o reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, que pueda usarse como alternativa o además de los medios conocidos para lograr esto. Además, sería deseable proporcionar una planta de etileno de bajas emisiones, energéticamente eficiente que fuera robusta en el sentido de que fuera capaz de equilibrar las fluctuaciones en la capacidad de energía eléctrica de los sistemas de energía eléctrica renovable.

60 Ahora se ha descubierto que es posible abordar una o más de estas necesidades proporcionando una planta de etileno que recibe al menos una parte de sus necesidades de energía eléctrica de una fuente de energía eléctrica renovable, en donde fracciones de combustible específicas se dirigen al interior de la planta de etileno de una manera específica.

65 En particular, el inventor se dio cuenta de que a medida que aumenta la eficiencia energética, más combustible excedente sale del horno de craqueo como parte de la corriente de gas de hidrocarburo craqueado. Normalmente, este combustible no sólo contiene una cantidad sustancial de metano, sino también una cantidad sustancial de hidrógeno. El hidrógeno es un producto útil en otros procesos químicos, en particular la hidrogenación, pero el metano

tiene poco uso en la economía actual aparte de quemarlo. Esto liberará finalmente CO₂ a la atmósfera. El inventor se dio cuenta además de que sería ventajoso separar el gas craqueado no sólo en una o más fracciones enriquecidas en una o más olefinas (incluyendo una fracción enriquecida en etileno), sino también en al menos dos fracciones diferentes enriquecidas en un gas que sirven como combustibles dentro de la planta de etileno, a saber, una fracción de combustible enriquecido en hidrógeno y una fracción de combustible enriquecido en metano del gas craqueado.

Por consiguiente, la presente invención se refiere a una planta de etileno, que comprende

- un horno de craqueo para convertir una materia prima de hidrocarburos en una corriente de gas craqueado;
- una sección de separación configurada para proporcionar al menos una corriente de producto enriquecido en etileno, una corriente de combustible enriquecido en hidrógeno y una corriente de combustible enriquecido en metano a partir de la corriente de gas craqueado;

- un conducto para alimentar al menos parte del combustible enriquecido en hidrógeno desde la sección de separación a un quemador del horno de craqueo y/o un conducto para alimentar al menos parte del combustible enriquecido en hidrógeno desde la sección de separación a un quemador de una caldera de recuperación de calor residual de una central eléctrica con turbina de gas de ciclo combinado (CCGT);

- un almacenamiento de metano configurado para almacenar combustible enriquecido en metano y un conducto para alimentar al menos parte del combustible enriquecido en metano desde la sección de separación al almacenamiento;

- la CCGT, que comprende una turbina de gas - la turbina de gas que comprende una cámara de combustión - y un conducto para alimentar al menos parte del combustible enriquecido en metano desde el almacenamiento a la cámara de combustión de la turbina de gas de la CCGT, CCGT que está configurada para generar energía eléctrica y/o para generar vapor a alta presión para accionar una turbina de vapor que forma parte de un circuito de generación de vapor de la planta de etileno; y

- una conexión de energía eléctrica configurada para proporcionar parte de la energía para operar la planta, que es una conexión a un sistema de energía eléctrica para producir energía eléctrica a partir de una fuente renovable.

Habitualmente, la planta de etileno según la invención comprende

- un horno de craqueo para convertir una materia prima de hidrocarburos en una corriente de gas craqueado, comprendiendo dicha corriente de gas craqueado etileno, hidrógeno y metano;

- una sección de separación, configurada para separar la corriente de gas craqueado para proporcionar al menos una corriente de producto enriquecido en etileno, una corriente de combustible enriquecido en hidrógeno y una corriente de combustible enriquecido en metano;

- un conducto para alimentar al menos parte del combustible enriquecido en hidrógeno desde la sección de separación a un quemador del horno de craqueo y/o un conducto para alimentar al menos parte del combustible enriquecido en hidrógeno desde la sección de separación a un quemador de una caldera de recuperación de calor residual de una central eléctrica con turbina de gas de ciclo combinado (CCGT);

- un almacenamiento de metano configurado para almacenar combustible enriquecido en metano licuado obtenido directamente de la sección de separación o después de licuar una corriente de combustible enriquecido en metano gaseoso de la sección de separación - y un conducto para alimentar al menos parte del combustible enriquecido en metano licuado desde la sección de separación al almacenamiento;

- una turbina de gas de ciclo combinado (CCGT), que comprende una turbina de gas - comprendiendo la turbina de gas una cámara de combustión - y un conducto para alimentar al menos parte del combustible enriquecido en metano licuado desde el almacenamiento a la cámara de combustión de la turbina de gas de la CCGT a través de una unidad evaporadora configurada para convertir al menos parte del combustible enriquecido en metano licuado en un combustible enriquecido en metano gaseoso, CCGT que está configurada para generar energía eléctrica y/o generar vapor a alta presión para accionar una turbina de vapor que forma parte de una circuito de generación de vapor de la planta de etileno; y

- una conexión de energía eléctrica configurada para proporcionar parte de la energía necesaria para operar la planta de etileno, conexión de energía que es una conexión a un sistema de energía eléctrica configurado para producir energía eléctrica a partir de una fuente renovable.

La invención se refiere además a un proceso para producir etileno a partir de una alimentación de hidrocarburos, que comprende el uso de una planta de etileno según la invención.

Generalmente, el proceso para producir etileno a partir de una alimentación de hidrocarburos según la invención comprende,

- 5 - craquear el hidrocarburo en un horno de craqueo de una planta de etileno según cualquiera de las reivindicaciones anteriores para producir un gas que contiene hidrocarburos craqueados, que comprende etileno, hidrógeno y metano;
- 10 - separar al menos parte del gas que contiene hidrocarburos craqueados al menos en un producto enriquecido en etileno, un combustible enriquecido en hidrógeno y un combustible enriquecido en metano;
- 15 - alimentar al menos parte del combustible enriquecido en hidrógeno desde la sección de separación a un quemador del horno de craqueo y/o alimentar al menos parte del combustible enriquecido en hidrógeno desde la sección de separación a un quemador de una caldera de recuperación de calor residual de una central eléctrica con turbina de gas de ciclo combinado (CCGT);
- 20 - alimentar al menos parte del combustible enriquecido en metano, obtenido directamente de la sección de separación como líquido o después de licuar una corriente de combustible enriquecido en metano gaseoso de la sección de separación, a un almacenamiento de metano;
- 25 - alimentar al menos parte del combustible enriquecido en metano desde el almacenamiento a la cámara de combustión de la CCGT, en donde dicho combustible enriquecido en metano desde el almacenamiento se vaporiza antes de alimentarse a la cámara de combustión; y
- someter el combustible enriquecido en metano vaporizado alimentado a la cámara de combustión de la CCGT a combustión en la CCGT, generando así energía eléctrica y/o generando así vapor (a alta presión) para accionar una turbina de vapor que forma parte de un circuito de generación de vapor de la planta de etileno,

en donde al menos una parte de la energía es energía eléctrica producida a partir de una fuente renovable.

30 Las plantas de etileno que comprenden un horno de craqueo provisto de uno o más quemadores (configurados para quemar un combustible), es decir, un horno de craqueo caldeado, normalmente en una cámara de combustión, se benefician en particular enormemente del diseño proporcionado por la presente invención. Sin embargo, en otra realización ventajosa, en la planta de etileno está presente otro tipo de horno configurado para el craqueo térmico de un hidrocarburo. Una alternativa particularmente adecuada para un horno de craqueo caldeado es un reactor de pirólisis rotodinámico (también conocido como RDR). Dichos hornos de craqueo son bien conocidos en la técnica, por ejemplo de Coolbrook (Helsinki, Finlandia; Geleen, Países Bajos), véase, por ejemplo, <https://coolbrook.com/technology/>. En aún otra realización ventajosa, la planta de etileno comprende un horno de craqueo calentado eléctricamente. En una realización específica, la planta de etileno comprende dos o más tipos de horno de craqueo.

40 La siguiente descripción se centrará en una planta con un horno de craqueo caldeado, a menos que se especifique lo contrario, pero se pueden aplicar los principios descritos, *mutatis mutandis*, a plantas que comprenden otro tipo de horno de craqueo, por ejemplo un horno de craqueo rotodinámico o un horno de craqueo calentado eléctricamente. El experto podrá realizar modificaciones a los esquemas de las Figuras basándose en la presente descripción. Por ejemplo, como entenderá el experto, un reactor rotodinámico (RDR) o un horno de craqueo calentado eléctricamente no requerirá un quemador para calentar la materia prima. En lugar de calentar la mezcla de materia prima desde fuera de la zona de reacción con calor del combustible (a base de carbono) quemado, las palas del rotor de alta velocidad del RDR crean energía térmica para calentar la mezcla dentro de la zona de reacción - de forma rápida y mucho más eficiente. Los motores de RDR pueden accionarse con energía eléctrica. En ausencia de un quemador en el RDR, una planta de etileno provista de un RDR comprenderá un conducto para alimentar al menos parte del combustible enriquecido en hidrógeno desde la sección de separación a un quemador de una caldera de recuperación de calor residual de la CCGT. De manera análoga, en ausencia de un quemador en el horno de craqueo calentado eléctricamente, una planta de etileno provista de un horno de craqueo calentado eléctricamente comprenderá un conducto para alimentar al menos parte del combustible enriquecido en hidrógeno desde la sección de separación a un quemador de una caldera de recuperación de calor residual de la CCGT.

55 La presente invención permite el uso de un gran consumidor de combustible (y/u otra fuente de energía) y productor de combustible - concretamente la planta de etileno - para proporcionar un medio para almacenar temporalmente energía en forma de combustible rico en metano para superar las oscilaciones de energía relacionadas con fuentes de energía renovables. Además, al sustituir el gas rico en metano por hidrógeno (formado en la planta de etileno durante el craqueo) como principal suministro de calor para el horno de craqueo, se vuelve disponible el combustible rico en metano en lugar de hidrógeno como fuente de energía para generar energía que pueda usarse en otros lugares. Este combustible proporciona un gas combustible más adecuado para hacer funcionar turbinas de gas que el hidrógeno y es más fácil de almacenar. Esta invención ofrece un método para la introducción a gran escala de energía renovable en la red, resolviendo en gran medida los problemas relacionados con las grandes fluctuaciones de la energía de estas fuentes renovables. Utilizando el (probablemente) mayor consumidor y productor de combustible de

la industria petroquímica, la planta de etileno, como batería, el almacenamiento de energía durante los períodos pico se puede organizar en forma de almacenamiento de gas rico en metano licuado. Durante los períodos en que la disponibilidad de energía renovable es baja o incluso inexistente, el gas rico en metano almacenado se puede utilizar para suministrar energía usando un sistema de turbina de gas de ciclo combinado (CCGT) para la generación de energía.

Por tanto, la invención se refiere además a un método para almacenar temporalmente energía renovable usando una planta de etileno o un proceso según la invención.

Por tanto, la invención se refiere además a un método para convertir indirectamente hidrógeno en gas rico en metano usando una planta de etileno o un proceso según la invención.

La presente invención traspasa los límites de la reducción de emisiones de CO₂ específicas aún más, en comparación con los documentos citados anteriormente. En particular, la presente invención proporciona una forma práctica de utilizar eficazmente energía eléctrica de fuentes renovables en la planta de etileno, también cuando la disponibilidad de energía de fuentes renovables no es suficiente en todo momento, por ejemplo debido a cambios en el clima (por ejemplo, solar, eólica), debido al ciclo día-noche (solar), debido a fluctuaciones en el suministro de la fuente de energía renovable necesaria (hidroeléctrica, biomasa), debido a picos en la demanda de energía eléctrica que exceden la disponibilidad de energía renovable, o debido a una caída imprevista en la capacidad de energía renovable (por ejemplo, mal funcionamiento de la planta de energía renovable o perturbación en el conducto del suministro de energía eléctrica), como se detallará más adelante.

Así, la presente invención combina energía eléctrica de fuentes renovables con energía eléctrica y/o vapor generado por la planta de etileno, de la cual la CCGT es parte integral. La producción total de energía combinada se puede equilibrar (por ejemplo, sintonizar o estabilizar) en respuesta a la producción fluctuante de la energía eléctrica renovable o en respuesta a la demanda fluctuante ajustando la energía generada por la CCGT. Esto requiere la introducción de un almacenamiento de combustible para almacenar el exceso de gas combustible de la planta de etileno, durante un período en el que la energía renovable esté disponible en exceso. Durante un período en donde hay un déficit de energía renovable, el nivel de energía se puede mantener utilizando la central eléctrica con CCGT. En esta situación, la CCGT funciona con el exceso de gas combustible procedente directamente de la planta de etileno y/o además con gas combustible almacenado. De esta forma, la energía eléctrica puede utilizarse dentro de la planta y/o suministrarse a la red de forma más fiable y continua. Según la invención es factible reducir la emisión de CO₂ específica por tonelada de etileno producida en al menos aproximadamente un 30 %, en comparación con una planta de etileno convencional con un horno de craqueo convencional. Al menos para un horno de craqueo caldeado, esta reducción se logra cuando la eficiencia de la cámara de combustión del horno de craqueo aumenta del 40 % a más del 50 %. En las patentes anteriores mencionadas se ha especificado que un horno de alta eficiencia tiene una eficiencia de cámara de combustión superior al 48 %. Véanse los Ejemplos a continuación.

Esto se logra quemando preferiblemente el exceso de gas combustible rico en hidrógeno para calentar el horno de craqueo junto con al menos parte del gas rico en metano. El exceso de gas rico en metano, que se produce debido a la presencia de un horno de craqueo de alta eficiencia, puede usarse para el almacenamiento durante los picos de carga y puede estar disponible durante períodos de disponibilidad insuficiente de energía renovable. Puede alimentarse a la cámara de combustión de la turbina de gas o puede usarse para la combustión complementaria en la caldera de recuperación de calor residual de la CCGT.

El inventor se dio cuenta de que existe una ventaja al utilizar específicamente la corriente enriquecida en metano para este propósito, que incluso puede afectar a las emisiones de CO₂ positivamente: en particular, el almacenamiento de hidrógeno es más complicado que el almacenamiento de metano, ya que requiere presiones más altas y/o temperaturas más bajas, lo que podría costar energía adicional para almacenar reservas equivalentes.

Además, si bien los hornos de craqueo generalmente están diseñados para manejar combustibles que contienen una cantidad sustancial de hidrógeno, las turbinas de gas no. Cuando se introduce hidrógeno en la cámara de combustión de una turbina de gas, la correspondiente temperatura de llama relativamente alta puede provocar un sobrecalentamiento de la turbina de gas. Por lo tanto, la elección de utilizar un combustible enriquecido en metano como amortiguador puede ofrecer ventajas prácticas en términos de simplicidad de diseño del sistema, así como una reducción de la huella de CO₂.

La Figura 1 muestra esquemáticamente una planta de etileno/proceso de la invención, de los cuales la CCGT normalmente forma parte integral, incorporando energía de una fuente de energía renovable y proporcionando almacenamiento para el exceso de combustible enriquecido en metano resultante.

La Figura 2 muestra esquemáticamente un esquema de flujo para una planta/proceso en donde se proporciona un electrolizador, que indica las direcciones del flujo de energía eléctrica y combustible enriquecido en metano.

La Figura 3 muestra los resultados de una disposición de planta de etileno con un horno de craqueo convencional (es decir, no de baja emisión)

La Figura 4 muestra los resultados de la energía total suministrada/generada en una planta de etileno de referencia de bajas emisiones, sin almacenamiento de metano (Ejemplo 1).

5 La Figura 5 muestra los resultados de la energía total suministrada/generada en una planta de etileno según la invención según el Ejemplo 2, sin electrolizador.

La Figura 6 muestra los resultados de la energía suministrada/generada según el Ejemplo 2, mientras está disponible la energía renovable.

10 La Figura 7 muestra los resultados de la energía suministrada/generada según el Ejemplo 2, mientras no está disponible la energía renovable.

15 La Figura 8 muestra los resultados de la energía total suministrada/generada en una planta de etileno según la invención según el Ejemplo 3, con electrolizador.

La Figura 9 muestra los resultados de la energía suministrada/generada según el Ejemplo 3, mientras está disponible la energía renovable.

20 La Figura 10 muestra los resultados de la energía suministrada/generada según el Ejemplo 3, mientras no está disponible la energía renovable.

25 La Figura 11 muestra esquemáticamente una planta de etileno/proceso según la invención, en donde se proporciona un electrolizador. Éste incorpora energía de una fuente de energía renovable y proporciona almacenamiento para el exceso de combustible enriquecido en metano resultante.

30 En las Figuras, las líneas continuas entre las unidades representan generalmente un conducto para (o corriente de) un fluido (gaseoso, líquido); las líneas de puntos (...), por ejemplo entre las unidades 31, 41, 42 y 43, representan una señal de comunicación/regulación y las líneas discontinuas (_ _ _), en particular entre las unidades 10, 15, 16, 31-33 y 61, representan energía eléctrica. Además, se utilizan cuadros formados por líneas continuas en negrita (en particular, cuadros 51, 52, 139, 141, 142) para mostrar lo que pertenece a la planta de etileno (y central eléctrica) (integrada de bajas emisiones) en las realizaciones ilustrativas que se muestran en las figuras.

35 El experto podrá diseñar y operar unidades operativas adecuadas de la planta de etileno, tales como el horno de craqueo, la sección de separación, medios para licuar el combustible enriquecido en metano (tal como el tren de enfriamiento de una planta de etileno), el almacenamiento de metano, la CCGT, el sistema de energía eléctrica renovable, equipos opcionales, como un electrolizador (que se analiza más adelante), etc. utilizando la presente descripción en combinación con el conocimiento general común y opcionalmente uno o más de los documentos citados en la presente memoria.

40 La Figura 1 muestra esquemáticamente una central eléctrica y planta de etileno de bajas emisiones integrada con importación (51) de energía renovable según la invención. En uso, la materia prima de hidrocarburos (21) se alimenta al horno de craqueo (1), que se calienta con combustible, normalmente con combustible rico en metano y/o combustible rico en hidrógeno. Los elementos 23a-23c son corrientes de combustible enriquecido en hidrógeno; los elementos 24a-24j son corrientes de combustible enriquecido en metano.

45 El gas craqueado (22) se separa en al menos una corriente (25) de producto enriquecido en etileno, una corriente de combustible (23a) enriquecido en hidrógeno y al menos una corriente (24a) de combustible enriquecido en metano en la sección de separación (2). La corriente de combustible enriquecido en metano se puede obtener como una corriente licuada en la sección de separación (2) o como un gas del cual al menos una parte se somete a licuefacción. También es posible obtener tanto una corriente enriquecida en metano licuada como una corriente enriquecida en metano gaseosa en la sección de separación (2). Normalmente, en una planta que comprende un horno de craqueo caldeado, el combustible enriquecido en hidrógeno o parte del mismo se devuelve a un quemador del horno de craqueo (1) - por ejemplo como se muestra en la Figura 1 (elemento 23c) - aunque alternativamente o además también puede proporcionarse (elemento 23b) un conducto para alimentar al menos parte del combustible enriquecido en hidrógeno desde la sección de separación a un quemador de una caldera (8) de recuperación de calor residual de la CCGT. Un conducto de combustible enriquecido en metano desde la sección de separación (2) de regreso a un quemador del horno de craqueo (por ejemplo, a través de líneas de combustible 24g+24j) y/o un conducto de combustible enriquecido en metano desde la sección de separación (2) a la cámara de combustión de turbina de gas (5) también puede proporcionarse (por ejemplo, a través de líneas de combustible 24g+24i). Se proporciona un conducto (24a) para alimentar una corriente de combustible enriquecido en metano al almacenamiento de metano (3), en donde el combustible normalmente se almacenará en estado licuado, hasta su uso posterior. Se proporciona un conducto (24b) para alimentar al menos parte del combustible enriquecido en metano licuado desde el almacenamiento (3) a un evaporador (4) para proporcionar combustible enriquecido en metano gaseoso desde el mismo, que luego puede alimentarse a una cámara de combustión (5) de una unidad del circuito de turbina de gas de ciclo combinado. En la Figura 1, se muestra una línea de combustible (24c, 24e) hacia una cámara de combustión (5) de la turbina de gas (6)

de la CCGT, que también comprende un compresor (7) de aire de combustión. Este compresor proporciona el aire (26) necesario para la combustión. Este compresor de aire de combustión puede estar integrado con la turbina de gas (6), por ejemplo como se muestra, pero también puede ser accionado por otros medios, como una turbina de vapor o un motor eléctrico. La turbina de gas (6) está configurada para accionar la unidad 15, que es un generador de energía eléctrica de central eléctrica o un compresor de planta de etileno. En el caso de que la turbina de gas accione un generador de energía eléctrica, la energía normalmente se envía a la red eléctrica interna (31), como se muestra en la Figura 1. Esta última conexión eléctrica no es necesaria cuando la turbina de gas acciona un compresor de planta de etileno.

10 Puede proporcionarse un conducto desde el evaporador (4) hasta el horno de craqueo (1) (líneas 24c, 24f).

También se puede proporcionar un conducto para el combustible hacia una caldera (8) de recuperación de calor residual, por ejemplo, a través de la línea de combustible 23b y/o a través de las líneas de combustible 24g+24 h desde la sección de separación 2; y/o línea 24d desde el evaporador 4 y línea 24c. En uso, se puede generar energía y/o se puede suministrar vapor (29) a alta presión a una planta de etileno mediante la CCGT. Se proporciona un conducto para el gas de escape (27) desde la turbina de gas (6) a una caldera (8) de recuperación de calor residual, que genera vapor a (muy) alta presión utilizado para operar una turbina de vapor (9) configurada para generar energía eléctrica, mediante el accionamiento de un generador (10) de energía eléctrica y/o para operar una turbina de vapor (11) configurada para accionar un compresor y/o bomba (16) de una planta de etileno. En el caso de que el compresor o la bomba de una planta de etileno no se accionen por la turbina de vapor, se puede utilizar un electromotor para accionar una máquina de la planta de etileno, utilizando una conexión de energía eléctrica conectada a la red interna (31). De esta manera, se puede proporcionar energía a partir de una fuente renovable. Aguas abajo de la(s) turbina(s) de vapor (9, 11) se proporciona un condensador (12, 13) de superficie para condensar el vapor que sale de la(s) turbina(s) de vapor. El agua condensada puede luego devolverse a la caldera (8) de recuperación de calor residual a través de una bomba (14), como agua (28) de alimentación de caldera. La planta comprende además una red eléctrica interna (31), desde la cual las unidades de la planta pueden recibir energía eléctrica cuando sea necesario y a la que se puede suministrar energía eléctrica generada en el circuito de turbina de gas de ciclo combinado. La planta está conectada a la red (32) eléctrica externa a través de la red eléctrica interna (31). En la Figura 1, la fuente de energía renovable (33) está ventajosamente conectada a la planta a través de la red interna, pero también es posible obtener energía renovable solo a través de la red externa o a través de tanto la red externa como la red interna. La Figura 1 muestra además un sistema de control de producción de energía (41), un sistema de control de combustión (42) y varias válvulas (43) de control para regular la distribución de corrientes de combustible al horno de craqueo (1), la cámara de combustión (5) y la caldera (8) de recuperación de calor residual.

35 La Figura 11 se parece en gran medida a la Figura 1. La planta de la Figura 11 comprende además un electrolizador (61) configurado para usar energía eléctrica para convertir agua (62) en hidrógeno (63) y oxígeno (64). La presencia de un electrolizador para convertir agua en hidrógeno para su uso como combustible en los hornos de craqueo, con el fin de producir más combustible excedente, proporcionando así un método para el almacenamiento temporal de energía renovable junto con una planta de etileno según la invención, como se define en las reivindicaciones 7-17 y 22-24, y se describe con más detalle en la descripción puede considerarse como una invención en sí misma. El hidrógeno producido en el electrolizador se utiliza como combustible en una instalación según la invención. Así, la Figura 11 muestra una central eléctrica y planta de etileno de bajas emisiones integrada (52) con importación de energía renovable y electrolizador. Al menos parte de la energía eléctrica utilizada por el electrolizador es energía renovable (de la fuente de energía renovable 33). También es posible utilizar energía de la red interna (31), por ejemplo desde el generador 10, para electrolizar agua en el electrolizador. Se puede proporcionar un conducto para alimentar el hidrógeno generado desde el electrolizador a un quemador del horno de craqueo (63a) y/o se puede proporcionar un conducto para alimentar el hidrógeno generado desde el electrolizador a un quemador de la caldera de recuperación de calor residual de la CCGT (63b). Véase la descripción de la Figura 1 para una discusión de los otros elementos.

50 En principio, el horno de craqueo puede basarse en hornos de craqueo convencionales conocidos, por ejemplo en el documento US 4.479.869.

Para un uso especialmente ventajoso de la invención como almacenamiento temporal de energía y/o una reducción en particular ventajosa de emisiones de CO₂, el horno de craqueo es preferiblemente un horno de alta eficiencia. Una mayor eficiencia del horno de craqueo puede hacer que una gran cantidad de gas combustible rico en metano esté disponible para el almacenamiento temporal y puede minimizar la combustión de hidrógeno relativamente costoso.

60 En particular, el horno de craqueo de alta eficiencia puede basarse en el documento WO 2018/229267 o en la solicitud EP no publicada previamente número 19198787.4, en particular las reivindicaciones, figuras y descripciones de las figuras. Estos dos documentos describen - entre otras cosas - disposiciones ventajosas para proporcionar una alta eficiencia (en términos de unidad de energía requerida por unidad de producto craqueado) con respecto a un intercambiador de líneas de transferencia (TLE) de alimentación/efluente y una bobina de caldera o una bobina de alta temperatura en serie con el TLE de alimentación/efluente.

65 Preferiblemente, el horno de craqueo (de alta eficiencia) de una planta de etileno de la invención está configurado para llevar a cabo un método para craquear materia prima de hidrocarburos, que comprende una primera etapa de

precalentamiento de materia prima y una segunda etapa de precalentamiento de materia prima, en donde la primera etapa de precalentamiento de materia prima comprende precalentar materia prima de hidrocarburos mediante gases de combustión calientes de un sistema de horno de craqueo,

5 en donde la segunda etapa de precalentamiento de materia prima comprende un precalentamiento adicional de la materia prima mediante el calor residual del gas craqueado del sistema de horno de craqueo antes de la entrada de la materia prima a una sección radiante del sistema de horno de craqueo. Dicho método se divulga, por ejemplo, en el documento WO 2018/229267, pero un sistema de horno de craqueo como se describe en la solicitud EP no publicada previamente número 19198787.4 también se puede configurar ventajosamente para llevar a cabo dicho método. Dicho método que comprende la primera etapa de precalentamiento de materia prima y la segunda etapa de precalentamiento de materia prima comprende además preferiblemente uno o más de los siguientes:

15 - dicha segunda etapa de precalentamiento de materia prima se realiza utilizando un intercambiador de líneas de transferencia;

15 - el agua de la caldera se alimenta desde un tambor de vapor del sistema de horno de craqueo a una bobina de la caldera en la sección de convección del sistema de horno de craqueo, en donde dicha agua de la caldera se calienta, preferiblemente se evapora, mediante gases de combustión calientes, y en donde una mezcla de agua y vapor se devuelve a dicho tambor de vapor;

20 - la materia prima de hidrocarburos se mezcla con un diluyente, tal como vapor de dilución, para proporcionar una mezcla de materia prima-diluyente antes de la segunda etapa de precalentamiento de materia prima;

25 - se genera vapor a alta presión mediante el calor residual del gas craqueado del sistema de horno de craqueo, utilizando un intercambiador de líneas de transferencia secundario ubicado aguas abajo del intercambiador de líneas de transferencia;

30 - el agua de alimentación de caldera se precalienta mediante gases de combustión calientes antes de entrar en un tambor de vapor del sistema de horno de craqueo;

30 - se eleva una temperatura de llama adiabática en la sección radiante mediante la introducción de un oxidante, preferiblemente oxígeno puro, directamente en la sección radiante del sistema de horno de craqueo;

35 - se eleva una temperatura de llama adiabática en la sección radiante mediante la introducción de aire de combustión como oxidante principal y oxígeno como oxidante secundario, preferiblemente oxígeno muy empobrecido en nitrógeno, directamente en la sección radiante del sistema de horno de craqueo en ausencia de un circuito de recirculación de gases de combustión;

40 - el oxidante, tal como aire de combustión y/u oxígeno, se precalienta antes de su introducción en la sección radiante;

40 - el oxidante se precalienta mediante los gases de combustión del sistema de horno de craqueo;

45 - se controla una temperatura de llama adiabática en la sección radiante del sistema de horno de craqueo mediante recirculación de al menos parte del gas de combustión;

45 - el oxígeno se mezcla con el gas de combustión recirculado antes de su entrada a la cámara de combustión del horno;

50 - el agua de alimentación de caldera se precalienta antes de entrar en un tambor de vapor del horno de craqueo mediante un circuito de bomba de calor;

55 - el líquido orgánico se calienta mediante los gases de combustión calientes del sistema de horno de craqueo y se devuelve a un dispositivo separador de vapor-líquido del circuito de la bomba de calor;

55 - el calor del vapor a alta presión se transfiere al agua de alimentación de caldera mediante un condensador del circuito de la bomba de calor;

60 - el calor de un líquido condensado generado en un disipador de calor del circuito de la bomba de calor se transfiere mediante un intercambiador de efluente de alimentación al vapor saturado generado en una fuente de calor del sistema de la bomba de calor.

En una realización ventajosa, el horno de craqueo comprende una sección de convección, una sección radiante y una sección de enfriamiento,

65

en donde la sección de convección incluye una pluralidad de bancos de convección configurados para recibir y precalentar materia prima de hidrocarburos,

5 en donde la sección radiante incluye una cámara de combustión que comprende al menos una bobina radiante configurada para calentar la materia prima hasta una temperatura que permita una reacción de pirólisis, en donde la sección de enfriamiento incluye al menos un intercambiador de líneas de transferencia,

10 en donde el horno de craqueo está configurado para precalentar la materia prima mediante el intercambiador de líneas de transferencia antes de la entrada a la sección radiante.

Dicho horno de craqueo, preferiblemente, también comprende uno o más de los siguientes:

15 - la sección de convección comprende una bobina de caldera configurada para generar vapor saturado, en donde dicha bobina de caldera está ubicada preferiblemente en una parte inferior de la sección de convección;

- el sistema de horno de craqueo comprende además un tambor de vapor que está conectado a la bobina de caldera y/o al intercambiador de líneas de transferencia (TLE) secundario, bobina de caldera y/o TLE secundario que están configurados para generar vapor saturado;

20 - la sección de convección también está configurada para mezclar dicha materia prima de hidrocarburos con un diluyente, preferiblemente vapor de dilución, proporcionando una mezcla de materia prima-diluyente, en donde el intercambiador de líneas de transferencia está configurado para precalentar la mezcla de materia prima-diluyente antes de la entrada a la sección radiante;

25 - el sistema de horno de craqueo comprende además un intercambiador de líneas de transferencia secundario, en donde el intercambiador de líneas de transferencia secundario está configurado para generar vapor saturado a alta presión;

30 - la cámara de combustión está configurada de manera que la eficiencia sea superior al 40 %, preferiblemente superior al 45 %, más preferiblemente superior al 48 %;

- la sección de convección comprende un economizador configurado para precalentar el agua de alimentación de caldera para la generación de vapor saturado;

35 - la sección de convección comprende un precalentador de oxidante, preferiblemente ubicado aguas abajo en la sección de convección, configurado para precalentar oxidante, por ejemplo aire de combustión y/u oxígeno, antes de la introducción de dicho aire de combustión en la cámara de combustión;

40 - el sistema de horno de craqueo está configurado para la introducción de oxígeno en la sección radiante, preferiblemente en ausencia de recirculación de gases de combustión externa;

45 - el sistema de horno de craqueo comprende además un circuito de recirculación de gases de combustión externa configurado para recuperar al menos parte del gas de combustión y para recircular dicho gas de combustión a la sección radiante para controlar la temperatura de la llama, comprendiendo preferiblemente el circuito de recirculación de gases de combustión externa un eyector de gases de combustión configurado introducir oxígeno en el gas de combustión recirculado antes de su entrada a la cámara de combustión;

50 - el sistema de horno de craqueo comprende además un circuito de bomba de calor que incluye una bobina evaporadora ubicada en la sección de convección y un condensador, en donde el circuito de bomba de calor está configurado de manera que la bobina evaporadora recupera calor de la sección de convección y el condensador transfiere dicho calor al agua de alimentación de caldera, que normalmente está configurado para precalentar el agua de alimentación de caldera;

55 Véase también el documento WO 2018/229267 para más detalles.

En particular, la utilidad de dicho circuito de bomba de calor para precalentar el agua de alimentación de caldera no se limita al sistema de horno de craqueo del documento WO 2018/229267.

60 Así, en una realización ventajosa, la planta de etileno de la invención comprende un sistema de horno de craqueo provisto de un circuito de bomba de calor para precalentar el agua de alimentación de caldera del sistema de horno de craqueo que incluye una bobina evaporadora dispuesta para recuperar calor del gas de combustión en una sección de convección del sistema de horno de craqueo, y un condensador configurado para transferir dicho calor al agua de alimentación de caldera.

65 Dicho circuito de bomba de calor comprende preferiblemente uno o más de los siguientes:

- comprende un dispositivo separador de vapor-líquido conectado a la bobina evaporadora y dispuesto para separar el vapor de una mezcla de líquido-vapor procedente de dicha bobina evaporadora;

5 - comprende un intercambiador de efluente de alimentación dispuesto para sobrecalentar el vapor generado en una fuente de calor, y para subenfriar el líquido generado en un disipador de calor, del circuito de bomba de calor;

- comprende un compresor dispuesto para elevar la presión de vapor de modo que la temperatura de condensación de dicho vapor exceda la temperatura deseada que va a transferirse al agua de alimentación de caldera.

10 Véase también el documento WO 2018/229267 para más detalles.

En una realización ventajosa adicional, se proporciona un sistema de horno de craqueo que comprende una sección de convección, una sección radiante y una sección de enfriamiento, en donde la sección de convección incluye una pluralidad de bancos de convección, que incluyen una primera bobina de alta temperatura, configurada para recibir y precalentar materia prima de hidrocarburos, en donde la sección radiante incluye una cámara de combustión que comprende al menos una bobina radiante configurada para calentar la materia prima hasta una temperatura que permita una reacción de pirólisis,

20 en donde la sección de enfriamiento incluye al menos un intercambiador de líneas de transferencia,

en donde el sistema está configurado de tal manera que la materia prima se precalienta por el intercambiador de líneas de transferencia antes de entrar en la sección radiante.

Este sistema de horno de craqueo comprende preferiblemente uno o más de los siguientes:

25 - la sección de convección incluye una segunda bobina de alta temperatura configurada para precalentar la materia prima después de la salida de la materia prima del intercambiador de líneas de transferencia y antes de la entrada en la sección radiante;

30 - la segunda bobina de alta temperatura está situada preferiblemente en una parte inferior de la sección de convección;

35 - la sección de convección también está configurada para mezclar dicha materia prima de hidrocarburos con un diluyente, preferiblemente vapor de dilución, proporcionando una mezcla de materia prima-diluyente, en donde el intercambiador de líneas de transferencia está configurado para precalentar la mezcla de materia prima-diluyente antes de la entrada en la sección radiante, y en donde la segunda bobina de alta temperatura está configurada para precalentar la mezcla de materia prima-diluyente después de la salida de la mezcla de materia prima-diluyente del intercambiador de líneas de transferencia y antes de la entrada en la sección radiante;

40 - un tambor de vapor configurado para generar vapor saturado a alta presión, en donde - más preferiblemente - la sección de convección incluye al menos un sobrecalentador de vapor a alta presión configurado para sobrecalentar vapor a alta presión procedente del tambor de vapor;

45 - un intercambiador de líneas de transferencia secundario que está ubicado aguas abajo del intercambiador de líneas de transferencia primario y que está conectado al tambor de vapor, y que está configurado para vaporizar al menos parcialmente el agua de caldera que procede del tambor de vapor.

50 Dicho diseño tiene ventajas comparables al diseño basado en el documento WO2018/229267, como se describe anteriormente, en particular con respecto a la reducción del consumo de combustible, la mejora de la eficiencia de la cámara de combustión y la reducción de emisión de CO₂. Véase también la solicitud EP número 19198787.4 para obtener más detalles.

55 Dicho sistema de horno de craqueo se usa ventajosamente en un método según la invención, en donde el método comprende una primera etapa de precalentamiento de materia prima, una segunda etapa de precalentamiento de materia prima y una tercera etapa de precalentamiento antes de la entrada de la materia prima en una sección radiante del sistema de horno de craqueo,

60 en donde la primera etapa de precalentamiento de materia prima incluye el precalentamiento de la materia prima de hidrocarburos mediante gases de combustión calientes de un sistema de horno de craqueo utilizando una primera bobina de alta temperatura, en donde la segunda etapa de precalentamiento de materia prima incluye un precalentamiento adicional de la materia prima mediante el calor residual del gas craqueado del sistema de horno de craqueo utilizando un intercambiador de líneas de transferencia, en donde la tercera etapa de precalentamiento de materia prima incluye un precalentamiento adicional de la materia prima mediante gases de combustión calientes del sistema de horno de craqueo usando una segunda bobina de alta temperatura. En una realización preferida, la materia prima de hidrocarburos se mezcla con un diluyente, tal como vapor de dilución, para proporcionar una mezcla de materia prima-diluyente antes de la segunda etapa de precalentamiento de materia prima. En una realización preferida,

se genera vapor a alta presión mediante el calor residual del gas craqueado del sistema de horno de craqueo, utilizando un intercambiador de líneas de transferencia secundario ubicado aguas abajo del intercambiador de líneas de transferencia. Véase también la solicitud EP número 19198787.4 para obtener más detalles.

5 Las secciones de separación para separar el gas craqueado en diferentes fracciones son generalmente conocidas en la técnica. Por ejemplo, se puede utilizar la destilación convencional, como la destilación criogénica, para obtener una corriente de producto enriquecido en etileno (en comparación con el gas craqueado), una corriente de combustible enriquecido en hidrógeno (en comparación con el gas craqueado) y una corriente de combustible enriquecido en metano (en comparación con el gas craqueado). También se pueden obtener otras corrientes, como una corriente enriquecida en propileno (en comparación con el gas craqueado) y/o una corriente enriquecida en butadieno (en comparación con el gas craqueado). La corriente de combustible enriquecido en metano se puede obtener en la sección de separación como un combustible licuado o la corriente de combustible enriquecido en metano licuado se puede obtener licuando un combustible enriquecido en metano gaseoso aguas abajo de la sección de separación, haciendo uso preferiblemente de una unidad de enfriamiento de la planta de etileno. Ventajosamente, en la sección de separación se obtienen tanto una corriente de combustible enriquecido en metano gaseoso como una corriente de combustible enriquecido en metano licuado. En una realización preferida, una sección de enfriamiento de la planta de etileno está configurada para condensar progresivamente las fracciones más ligeras del gas craqueado. Para esto se pueden utilizar corrientes de refrigeración ricas en propileno, etileno y/o metano. De esta condensación progresiva se obtiene la corriente de combustible enriquecido en hidrógeno como gas (vapor), mientras que una corriente enriquecida en metano se obtiene como fracción líquida. La fracción líquida enriquecida en metano generalmente se separa en un desmetanizador para producir una fracción rica en etileno como producto de fondo y una fracción rica en metano como producto de cabeza (combustible enriquecido en metano).

25 Cuando se desee, la sección de separación puede comprender una o más unidades para tratar adicionalmente, por ejemplo para aumentar la concentración de un determinado componente o para eliminar componentes no deseados antes de su uso posterior. Si se va a utilizar hidrógeno o metano para un propósito diferente al de la producción de energía en la planta, este hidrógeno o metano se puede obtener a partir de una corriente enriquecida en hidrógeno o una corriente enriquecida en metano después de una separación/purificación adicional. Así, por ejemplo, se puede obtener hidrógeno para su uso en un proceso de hidrogenación.

30 El combustible enriquecido en hidrógeno de la sección de separación o una parte del mismo normalmente se alimenta al horno de craqueo (en el caso de un horno de craqueo caldeado), preferiblemente junto con parte del gas combustible enriquecido en metano, para equilibrar los requisitos de calor despedido del horno de craqueo. Como alternativa, o además, se puede alimentar combustible enriquecido en hidrógeno a la caldera de recuperación de calor residual de la CCGT. Cuando hay un exceso de combustible, el almacenamiento del exceso de combustible enriquecido en metano es ventajoso sobre el almacenamiento de combustible enriquecido en hidrógeno. El exceso de combustible enriquecido en metano que se va a almacenar normalmente se alimenta al almacenamiento de metano en forma licuada y, cuando se retira del almacenamiento, se alimenta a un quemador en forma gaseosa después de evaporarlo con un evaporador. La evaporación se integra preferiblemente con la sección de enfriamiento de la planta de etileno para recuperar el frío al máximo.

45 Es bien conocido el almacenamiento de metano licuado (es decir, gas natural licuado, GNL) a aproximadamente la presión atmosférica a aproximadamente -160 °C. Para la presente invención esto también es posible, aunque el almacenamiento a presión superatmosférica también es una opción. Al menos en algunas realizaciones de la presente invención es ventajoso almacenar el combustible enriquecido en metano a presión elevada, por ejemplo a aproximadamente una presión de suministro del quemador, de aproximadamente 400 kPa (4 barg) o más, o aproximadamente 1000 kPa (10 barg) o más. En la práctica, la presión suele ser de aproximadamente 2000 kPa (20 barg) o menos, en particular de 1500 kPa (15 barg) o menos. El almacenamiento a presión elevada facilita el manejo de las fluctuaciones diarias en los volúmenes producidos y necesarios. También permite alimentar el combustible al quemador sin la ayuda de medios presurizadores, tales como una bomba criogénica, para llevar el combustible a la presión requerida de suministro al quemador. En una realización, en donde es beneficioso para la integración en frío, puede ser ventajoso almacenarlo a una presión incluso mayor que la disponible en su fuente en la planta de etileno. En este caso, el combustible se comprime preferiblemente y posteriormente se enfría contra un disipador de calor adecuado para producir un gas licuado adecuado para almacenamiento, que puede licuarse como un líquido verdadero o como un fluido supercrítico.

60 Almacenar una cantidad de hidrógeno que represente un poder calorífico específico es más complicado que almacenar una cantidad de metano que represente el mismo poder calorífico. El almacenamiento de hidrógeno requiere niveles de compresión más altos y/o temperaturas de almacenamiento más bajas, lo que cuesta energía adicional. Además, se prefiere el combustible enriquecido en metano al hidrógeno para su uso como combustible en otras unidades además del horno de craqueo, como una turbina de gas de una CCGT, debido a la mayor temperatura adiabática de la llama cuando se quema el hidrógeno, que es menos tolerada por tales unidades.

65 El combustible enriquecido en metano obtenido a partir del gas de hidrocarburo craqueado que se almacena, generalmente se almacena en el almacenamiento de metano en forma licuada. El almacenamiento de metano suele estar equipado con un compresor de evaporación y un intercambiador de calor en la descarga del compresor

configurado para rechazar el calor a un disipador de calor adecuado. Por ejemplo, se puede proporcionar un condensador, configurado para recondensar cualquier vapor del almacenamiento. En el caso de que la salida del compresor funcione por encima del punto crítico, este será un enfriador para rechazar el calor requerido.

- 5 Parte del combustible enriquecido en metano obtenido del gas craqueado puede devolverse a un quemador del horno de craqueo (en el caso de un horno de craqueo caldeado). La fracción a devolver puede seleccionarse entre cualquiera de las fracciones enriquecidas en metano obtenidas en un proceso según la invención. En una forma de realización preferida se utiliza para este propósito una fracción de combustible enriquecido en metano gaseoso, preferiblemente sin haberse almacenado. En particular, se puede utilizar combustible enriquecido en metano obtenido como una
- 10 fracción de gas de la sección de enfriamiento y desmetanización, tal como está presente en la sección de enfriamiento de la sección de separación. La sección de enfriamiento puede ser un sistema de condensación progresiva, enfriando el gas craqueado y recalentándolo en varios recipientes de recalentamiento en serie para obtener una corriente (de gas) enriquecida en hidrógeno y varias corrientes líquidas enriquecidas en metano a partir de estos recalentamientos. Estas corrientes enriquecidas en metano pueden enviarse a una sección de desmetanización para producir al menos un producto de cabeza y/o secundario enriquecido en metano, en fase gaseosa y/o en fase líquida, y al menos un producto de fondo pobre en metano, preferiblemente rico en producto de etileno. En este caso, el producto enriquecido en metano gaseoso se puede utilizar directamente. Como alternativa, se puede usar una corriente enriquecida en metano líquida, pero tendría que evaporarse para usarse directamente (sin almacenamiento).
- 15
- 20 Al menos una parte del combustible enriquecido en metano se utiliza para otros fines distintos de la combustión en el horno de craqueo. Al menos una parte del combustible enriquecido en metano que se ha almacenado en el almacenamiento de metano normalmente se quema en la turbina de gas de ciclo combinado para generar electricidad y/o vapor a alta presión, que puede usarse para accionar turbinas de vapor en la planta de etileno. En una realización, parte del combustible enriquecido en metano gaseoso procedente de la sección de separación se alimenta a un quemador de la caldera de recuperación de calor residual de la CCGT.
- 25

Normalmente, la CCGT funciona con un intervalo operativo de relación de aumento/reducción del 20-140 %, preferiblemente del 30-130 %, más preferiblemente del 40 - 120 %.

- 30 El porcentaje de la corriente de combustible enriquecido en metano que se almacena antes de su uso posterior, el porcentaje de la corriente de combustible enriquecido en metano que se devuelve al horno de craqueo (directamente o después del almacenamiento) y el porcentaje de combustible enriquecido en metano que se quema (directa o después del almacenamiento) en la CCGT puede variar ampliamente con el tiempo, dependiendo de la energía disponible de la fuente renovable, la producción requerida de etileno (y opcionalmente otras olefinas) y las variaciones en las condiciones del proceso.
- 35

- En la práctica, el combustible enriquecido en metano licuado procedente del almacenamiento de metano suele evaporarse completamente antes de enviarse al (a los) quemador(es) (de un horno de craqueo caldeado o de una CCGT). Esto se puede hacer usando, por ejemplo, al menos un evaporador de LMG (gas enriquecido en metano
- 40 licuado). Además, también se prefiere elevar la temperatura del gas combustible a un nivel de temperatura cercano a las condiciones ambientales y recuperar (tanto como sea posible) el frío asociado con la evaporación y el sobrecalentamiento del LMG. La mejor manera de lograr esto es integrando la evaporación y el sobrecalentamiento del LMG con el tren de enfriamiento, para reducir la carga en el (los) sistema(s) de refrigeración. Al expandir el combustible enriquecido en metano licuado, convenientemente se recalentará hasta una temperatura muy baja, lo que puede usarse en el tren de enfriamiento para ayudar a alcanzar niveles de temperatura muy bajos. Esto se puede utilizar para minimizar las pérdidas de etileno al gas combustible y recuperar la mayor cantidad de frío posible. Por lo tanto, esta corriente se enviaría preferiblemente al extremo frío del tren de enfriamiento. Cuando se almacena a una presión superatmosférica relativamente baja, tal como de aproximadamente 400 a aproximadamente 500 kPa (de aproximadamente 4 a aproximadamente 5 barg), el recalentamiento será marginal. Sin embargo, seguirá siendo preferible llevar el líquido al extremo frío del tren de enfriamiento por las mismas razones: reducir la pérdida de producto de etileno y aumentar la recuperación de frío.
- 45
- 50

- La unidad de central eléctrica de ciclo combinado con turbina de gas funciona generalmente de la siguiente manera: el gas combustible (combustible enriquecido en metano) se quema en la cámara de combustión de una turbina de gas mediante aire de combustión suministrado a la cámara de combustión por un compresor de aire de combustión. El gas de combustión producido normalmente se baja a través de una turbina de gas para generar energía eléctrica a través de un generador. El compresor de aire de combustión, la cámara de combustión y la turbina de gas suelen estar integrados en la misma máquina. La turbina de gas acciona tanto el compresor de aire de combustión como el generador. El gas de combustión de la turbina de gas se envía a una caldera de recuperación de calor residual con combustión auxiliar para generar vapor a muy alta presión a partir del agua de alimentación de caldera. El vapor a muy alta presión se utiliza ventajosamente para accionar un generador haciéndolo descender en una turbina de vapor de condensación con un condensador de superficie. En el condensador de superficie el vapor se condensa por completo. Excepto por una pequeña purga, prácticamente todo el vapor condensado se recoge y se bombea de regreso a la caldera de recuperación de calor residual como agua de alimentación de caldera para cerrar el circuito.
- 55
- 60
- 65 En la práctica, el condensado generalmente se alimenta primero a un desaireador para mezclarlo con agua de reposición desmineralizada y destilarlo con vapor para eliminar el aire (no se muestra en la Figura 1). En lugar de

accionar un generador, la turbina de gas también se puede usar para accionar uno o más compresores de la planta de etileno (véase también la solicitud EP 19178729.0). Además, se puede exportar vapor a muy alta presión desde la caldera de recuperación de calor residual a una o más turbinas de vapor en la planta de etileno en lugar de usarse para generar energía a través de una turbina de vapor en la central eléctrica (véase también la solicitud EP 19178729.0).

La conexión de energía eléctrica es una conexión a un sistema de energía eléctrica configurado para producir energía eléctrica a partir de una fuente renovable. Puede ser una conexión a la red eléctrica interna de la planta de etileno para suministrar al menos parte de la energía necesaria para accionar máquinas, una unidad de central eléctrica que forma parte de la planta de etileno, un complejo industrial más grande del que forma parte la planta de etileno, o a una central eléctrica (remota) externa que está conectada a la misma red eléctrica que la planta de etileno según la invención. Preferiblemente, el sistema de energía eléctrica configurado para producir energía eléctrica a partir de una fuente renovable es una parte integrada de la planta de etileno o una parte integrada de un complejo industrial del cual la planta de etileno es parte y/o el sistema de energía eléctrica está conectado a la planta de etileno a través de una red eléctrica externa.

La conexión eléctrica de la planta de etileno preferiblemente no sólo permite recibir energía eléctrica desde la central eléctrica que proporciona energía eléctrica renovable, sino que también está configurada preferiblemente para permitir el suministro de energía excedente fuera de la planta de etileno, por ejemplo a otra instalación fuera de la planta de etileno dentro del mismo complejo industrial o a la red eléctrica. Por lo tanto, en una realización preferida, tanto la energía renovable como la energía producida por la CCGT están conectadas a una red interna de la planta y además está presente una conexión a la red externa. Esta conexión externa proporciona una corriente de energía bien equilibrada a la red.

El sistema de energía eléctrica que proporciona electricidad a partir de una fuente renovable comprende normalmente uno o más sistemas de energía seleccionados del grupo que consiste en sistemas de energía eólica, sistemas de energía solar, sistemas de energía hidroeléctrica, sistemas de energía geotérmica y sistemas de energía osmótica (también conocida como energía azul). Como alternativa, o además, se puede hacer uso de uno o más sistemas configurados para generar electricidad a partir de biomasa y/o uno o más sistemas configurados para generar electricidad a partir de un combustible biorrenovable, por ejemplo, bioetanol o biodiésel.

En una realización ventajosa, la planta de etileno tiene un circuito de generación de vapor de planta de etileno y un circuito de central eléctrica como se describe en la solicitud EP no publicada previamente número 19178729.0.

Así, en una realización ventajosa, está presente un circuito de generación de vapor de planta de etileno, que comprende:

- el horno de craqueo para convertir una materia prima de hidrocarburos en gas craqueado, en donde el horno de craqueo está configurado para generar vapor a alta presión, en particular vapor a muy alta presión, a partir del agua de alimentación de caldera;
- una turbina de vapor configurada para accionarse por dicho vapor a (muy) alta presión;
- un compresor de proceso configurado para ser accionado por al menos una turbina de vapor;
- un condensador configurado para condensar al menos parte del vapor a (muy) alta presión;
- una bomba configurada para bombear el vapor condensado al horno de craqueo como agua de alimentación de caldera;
- comprendiendo el circuito de la central eléctrica una caldera de recuperación de calor residual configurada para recuperar calor como vapor a (muy) alta presión,

en donde el sistema comprende además una primera conexión entre el circuito de generación de vapor de la planta de etileno y el circuito de la central eléctrica configurada para conducir al menos parte del vapor a alta presión desde la caldera de recuperación de calor residual hasta la al menos una turbina de vapor del circuito de generación de vapor de la planta de etileno para accionar dicha al menos una turbina de vapor.

Tal sistema es particularmente adecuado para accionar máquinas, por ejemplo compresores de proceso, en un circuito de generación de vapor de una planta de etileno. En el accionamiento de máquinas, esto incluye en particular las siguientes etapas:

- recuperar calor como vapor de alta presión desde un horno de craqueo;
- proporcionar dicho vapor a alta presión a al menos una turbina de vapor, en donde la turbina de vapor está configurada para accionar una máquina, tal como un compresor de proceso;

- condensar al menos parte del vapor a alta presión en un condensador;
- bombear vapor condensado como agua de alimentación de caldera de vuelta al horno de craqueo;

5

en donde el método también incluye la etapa de:

- recuperar calor como vapor a alta presión de una caldera de recuperación de calor residual de un circuito de la central eléctrica;
- proporcionar al menos parte del vapor a alta presión del circuito de la central eléctrica a la al menos una turbina de vapor del circuito de generación de vapor de la planta de etileno.

10

15

Tal sistema es, por ejemplo, adecuado para su uso en un proceso según la invención, en donde el exceso de combustible del horno de craqueo del circuito de generación de vapor de la planta de etileno se proporciona a la caldera de recuperación de calor residual del circuito de la central eléctrica para la combustión auxiliar. Además, o como alternativa, en tal proceso, ventajosamente, la caldera de recuperación de calor residual recibe gas de escape de al menos una turbina de gas del circuito de la central eléctrica; en particular, el exceso de combustible del horno de craqueo del circuito de generación de vapor de la planta de etileno puede proporcionarse entonces a la turbina de gas del circuito de la central eléctrica para combustión. Entonces, dicha turbina de gas puede configurarse ventajosamente para accionar una máquina, tal como un compresor de proceso, del circuito de generación de vapor de la planta de etileno. Tal realización incluye preferiblemente las etapas de:

20

25

- proporcionar al menos parte del vapor a alta presión de la caldera de recuperación de calor residual del circuito de la central eléctrica a al menos una turbina de vapor del circuito de la central eléctrica, en donde la turbina de vapor está configurada para accionar un generador para generar energía;

30

- condensar al menos parte del vapor a alta presión en un condensador del circuito de la central eléctrica;

- bombear dicho vapor condensado como agua de alimentación de caldera de vuelta a la caldera de recuperación de calor residual.

35

En una realización ventajosa, en donde está presente un circuito de generación de vapor de la planta de etileno (según la solicitud EP número 19178729.0), y que puede usarse para accionar una máquina, la planta de etileno preferiblemente comprende además una segunda conexión entre el circuito de generación de vapor de la planta de etileno y el circuito de la central eléctrica configurada para conducir el exceso de una corriente de gas enriquecido en hidrógeno, el exceso de una corriente de gas enriquecido en metano o ambas desde la sección de separación a un quemador de la caldera de recuperación de calor residual.

40

45

El circuito de la central eléctrica de la planta de etileno que tiene un circuito de generación de vapor de la planta de etileno y un circuito de la central eléctrica puede incluir además al menos una turbina de gas, en donde la al menos una turbina de gas está conectada a la caldera de recuperación de calor residual de modo que el gas de escape de la al menos una turbina de gas se recupera por la caldera de recuperación de calor residual. En tal realización, preferiblemente está presente una conexión adicional entre el circuito de generación de vapor de la planta de etileno y el circuito de la central eléctrica configurada para conducir al menos parte del exceso de la corriente de gas enriquecido en hidrógeno, el exceso de la corriente de gas enriquecido en metano o ambas desde el circuito de generación de vapor de la planta de etileno a la al menos una turbina de gas para la combustión.

50

El circuito de generación de vapor de la planta de etileno incluye preferiblemente además un compresor de proceso que está configurado para ser accionado directamente por la turbina de gas del circuito de la central eléctrica.

55

El circuito de la central eléctrica de la planta de etileno incluye preferiblemente al menos una turbina de vapor y al menos un generador, en donde el circuito está configurado para proporcionar al menos parte del vapor a alta presión de la caldera de recuperación de calor residual a la al menos una turbina de vapor del circuito de la central eléctrica, en donde la al menos una turbina de vapor está configurada para accionar el al menos un generador para generar energía.

60

El circuito de la central eléctrica incluye además un condensador configurado para condensar al menos parte del vapor a alta presión y una bomba configurada para bombear dicho vapor condensado como agua de alimentación de caldera de vuelta a la caldera de recuperación de calor residual.

65

En una realización ventajosa particular, la planta de etileno es un sistema de central eléctrica y de planta de etileno integrado, en donde el horno de craqueo es un horno de craqueo de alta eficiencia que incluye una sección radiante, una sección de convección y una sección de enfriamiento, en donde la sección de enfriamiento incluye al menos un intercambiador de líneas de transferencia configurado para precalentar la materia prima antes de entrar en la sección radiante y en donde una sección de convección comprende una bobina de caldera configurada para generar vapor

saturado del gas de combustión, estando ubicada dicha bobina de caldera preferiblemente en la parte inferior de la sección de convección.

5 En una realización ventajosa particular, la planta de etileno es un sistema de central eléctrica y de planta de etileno integrado, en donde el horno de craqueo es un horno de craqueo de alta eficiencia que incluye una sección radiante, una sección de convección y una sección de enfriamiento, en donde la sección de enfriamiento incluye al menos un intercambiador de líneas de transferencia configurado para precalentar la materia prima antes de la entrada a la sección radiante, y en donde una sección de convección comprende una segunda bobina de alta temperatura configurada para precalentar la materia prima después de la salida de la materia prima del intercambiador de líneas de transferencia y antes de la entrada a la sección radiante, estando ubicada dicha segunda bobina de alta temperatura preferiblemente en una parte inferior de la sección de convección.

10 En una realización, la planta de etileno comprende una máquina, tal como un compresor y/o una bomba, configurada para ser accionada por energía eléctrica de la CCGT y por energía eléctrica del sistema de energía eléctrica configurado para producir energía eléctrica a partir de una fuente renovable.

15 Ventajosamente, la planta de etileno comprende una unidad controladora automatizada, configurada para regular los parámetros del proceso, en particular seleccionados del grupo que consiste en caudales de combustible y presiones de combustible, para compensar las fluctuaciones en la energía eléctrica proporcionada a través de la conexión de energía eléctrica renovable. La unidad controladora suele ser un instrumento configurado para comparar automáticamente los puntos de ajuste con los puntos operativos y minimizar la diferencia, por ejemplo utilizando algoritmos PID. Por consiguiente, es particularmente adecuado un controlador PID. Normalmente, la compensación en las fluctuaciones de energía eléctrica se logra regulando un caudal de combustible y/o presión en uno o más de los conductos de la planta de etileno para combustibles enriquecidos en hidrógeno y/o enriquecidos en metano, en respuesta a las fluctuaciones (existentes o esperadas), aumentando así la producción de energía eléctrica de la CCGT cuando la energía eléctrica proporcionada por dicha conexión de energía eléctrica disminuye (o se espera que disminuya) y disminuyendo la producción de energía eléctrica de la CCGT cuando la energía eléctrica proporcionada por dicha conexión de energía eléctrica aumenta (o se espera que aumente).

20 En una realización ventajosa, la planta de etileno según la invención comprende un electrolizador, en donde la conexión de energía eléctrica que proporciona energía eléctrica procedente de una fuente renovable está conectada al electrolizador (mostrado esquemáticamente en las Figuras 2 y 8-11). Este electrolizador está configurado para utilizar al menos parte de la energía eléctrica procedente de la fuente renovable y opcionalmente para utilizar al menos parte de la energía eléctrica generada por la CCGT para generar hidrógeno mediante electrólisis, normalmente mediante electrólisis de agua. Además, en esta realización se proporciona un conducto para alimentar hidrógeno generado desde el electrolizador a un quemador del horno de craqueo, un conducto a un quemador de la caldera de recuperación de calor residual de la CCGT, o ambos.

25 El oxígeno, también producido por electrólisis del agua, puede venderse o utilizarse para quemar combustible, en particular un combustible rico en metano, por ejemplo en una caldera de recuperación de calor residual de la planta de etileno para quemar el metano con una mayor concentración de oxígeno y así obtener una mezcla de CO₂ más rica para la futura captura de carbono. Al utilizar energía eléctrica renovable para generar combustible de hidrógeno que se quema en el horno de craqueo, es posible reducir aún más el CO₂ específico; permite exportar más exceso de gas combustible enriquecido en metano a la CCGT para generar energía eléctrica y/o vapor a (muy) alta presión, en lugar de quemarlo en el horno de craqueo. Al introducir hidrógeno en el horno de craqueo, se puede reducir la emisión específica del horno y al mismo tiempo se puede quemar más exceso de combustible rico en metano de la planta de etileno en la central eléctrica con la CCGT en una relación de calor-energía más alta que en el circuito de generación de energía del horno de craqueo. Teniendo en cuenta que una planta de etileno puede tener una pluralidad de hornos de craqueo, esta es una solución muy práctica para la reducción de las emisiones de CO₂, al contrario de aplicar la captura de carbono en muchas fuentes de emisión individuales para reducir estas emisiones.

30 Además, cualquier combustible rico en metano que no se quema directamente en la CCGT se puede almacenar para su uso posterior. Incluso es posible utilizar esta realización en momentos de sobreproducción de energía renovable (por ejemplo, durante los días soleados para la energía solar y durante períodos de fuertes vientos para la energía eólica), ya que entonces se puede aumentar la producción de hidrógeno, lo que permite una mayor reducción de metano necesario para la combustión en el horno de craqueo y/o en la caldera de recuperación de calor residual de la central eléctrica con CCGT.

35 El combustible rico en metano es considerablemente más fácil de almacenar que el hidrógeno producido por el electrolizador (que puede utilizarse directamente sin almacenamiento). Las emisiones de CO₂ asociadas con la compresión del hidrógeno a alta presión para su almacenamiento para usos en coches pueden evitarse en este caso. La compresión/almacenamiento de hidrógeno en lugar de combustible enriquecido en metano reduciría la eficiencia hasta aproximadamente un 25 %. En una realización, este sistema permite reducir las emisiones específicas por tonelada de etileno producida en más del 55 % con una disponibilidad de la energía renovable del 33 % de su capacidad máxima por día. Equilibrando el almacenamiento de combustible la fluctuante producción de energía renovable, se puede suministrar energía confiable y estable a la red. Como regla general, con la adición del

electrolizador se puede generar tres veces más energía renovable que en el esquema de la Figura 1. El electrolizador está conectado a la fuente de energía renovable y se proporciona un conducto para alimentar el hidrógeno generado en el electrolizador a un quemador en la planta de etileno, generalmente un quemador de un horno de craqueo. La Figura 1 se basa en gran medida en la solicitud de patente europea 19178729.0, pero con la adición del almacenamiento de metano y el uso de combustible enriquecido en hidrógeno y combustible enriquecido en metano a partir del gas craqueado como se ha descrito anteriormente. Además, en una realización que hace uso del electrolizador, es más fácil operar la CCGT cerca de su punto de producción óptimo, de modo que la eficiencia de conversión de calor a energía sea la más alta y las emisiones de CO₂ sean las más bajas, al ajustar el flujo de combustible a éste desde el almacenamiento de combustible. Por ejemplo, si la producción de energía a partir de fuentes renovables es alta, la correspondiente producción de hidrógeno también lo será, lo que permitirá la producción de grandes cantidades de combustible rico en metano a partir de la planta de etileno. La sobreproducción de combustible de metano, que da como resultado que la CCGT funcione por encima del punto de producción óptimo, puede almacenarse posteriormente durante períodos de subproducción para evitar en la medida de lo posible el funcionamiento de la CCGT por debajo del punto de producción óptimo. Cabe señalar en este caso que la CCGT funcionará en su punto óptimo de eficiencia si esto también satisface la demanda de energía por parte del usuario. Si el suministro de energías renovables es bajo (es decir, bajo H₂) se genera menos combustible rico en metano. Se puede agregar desde el almacenamiento el combustible rico en metano adicional necesario para operar la CCGT en el punto óptimo (véase la Figura 2).

Tal como se utilizan en la presente memoria, las formas singulares “un”, “uno, una” y “el, la” pretenden incluir también las formas plurales, por ejemplo “un horno de craqueo” incluye “hornos de craqueo”; “un quemador” incluye “una pluralidad de quemadores”, etc., a menos que el contexto indique claramente lo contrario. El término “o” incluye todas y cada una de las combinaciones de uno o más de los elementos enumerados asociados, a menos que el contexto indique claramente lo contrario (por ejemplo, si se utiliza una construcción “o bien...o”). Se entenderá que los términos “comprende” y “que comprende” especifican la presencia de características indicadas pero no excluyen la presencia o adición de una o más características diferentes. Se entenderá además que cuando se hace referencia a una etapa particular de un método como posterior a otra etapa, puede seguir directamente a dicha otra etapa o se pueden llevar a cabo una o más etapas intermedias antes de llevar a cabo la etapa particular, a menos que se especifique lo contrario. Asimismo, se entenderá que cuando se describa una conexión entre estructuras o componentes, esta conexión podrá establecerse directamente o a través de estructuras o componentes intermedios a menos que se especifique lo contrario.

En el contexto de esta solicitud, el término “aproximadamente” incluye en particular una desviación del 10 % o menos del valor dado, más en particular del 5 %, más en particular del 3 % o menos.

El término “vapor a alta presión” (vapor HP) es bien conocido en la técnica. Como regla general, la presión del vapor HP suele ser al menos de aproximadamente 4000 kPa (40 barg). Para vapor HP que tiene una presión de 8000 kPa (80 barg) o más, en particular de aproximadamente 10000 kPa (100 barg) a aproximadamente 13000 kPa (130 barg), se utiliza en la presente memoria el término vapor a muy alta presión (vapor VHP). Cuando se hace referencia a “enriquecido”, significa enriquecido en comparación con el gas craqueado que sale del horno de craqueo. La corriente de combustible enriquecido en hidrógeno tendrá generalmente un contenido de hidrógeno de más del 50 % en mol, normalmente de aproximadamente el 80-100 % en mol. Una corriente enriquecida en metano obtenida a partir de la corriente de gas craqueado tendrá generalmente un contenido de metano de más del 50 % en mol, normalmente del 60-100 % en mol. Como se describió anteriormente, en una primera etapa de separación, la corriente de gas craqueado se puede separar en una corriente (de gas) enriquecida en hidrógeno y una corriente (líquida) enriquecida en metano (en la sección de enfriamiento y desmetanización), fracción líquida enriquecida en metano que se somete posteriormente a un nuevo fraccionamiento (en una sección de desmetanización), del que se recuperan una fracción rica en etileno y un combustible enriquecido en metano; la fracción líquida enriquecida en metano de la sección de enfriamiento antes de la desmetanización normalmente tendrá un contenido de metano más bajo, por ejemplo del 60-70 % en mol que el combustible enriquecido en metano que se va a almacenar/alimentar a un quemador, combustible que normalmente tiene un contenido de metano del 80 % en mol o más, normalmente entre aproximadamente el 90 % en mol y aproximadamente el 100 % en mol.

La invención se describe más detalladamente en la presente memoria con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran realizaciones de la invención. En los dibujos, los tamaños absolutos y relativos de sistemas, componentes, capas y regiones pueden estar exagerados para la claridad. Las realizaciones se pueden describir con referencia a ilustraciones esquemáticas y/o en sección transversal de realizaciones posiblemente idealizadas y estructuras intermedias de la invención. En la descripción y los dibujos, los números similares se refieren a elementos similares en todas partes. Se debe interpretar que los términos relativos, así como sus derivados, se refieren a la orientación tal como se describe a continuación o como se muestra en el dibujo que se analiza. Estos términos relativos son para facilitar la descripción y no requieren que el sistema se construya u opere en una orientación particular a menos que se indique lo contrario.

Con fines de claridad y descripción concisa, las características se describen en la presente memoria como parte de la misma realización o de realizaciones separadas; sin embargo, se apreciará que el alcance de la invención puede incluir realizaciones que tengan combinaciones de todas o algunas de las características descritas.

A continuación, la invención se ilustra mediante los siguientes ejemplos.

Ejemplos

5 Ejemplo 1 (Referencia)

10 Se proporciona una disposición de planta de etileno que tiene un horno de craqueo de bajas emisiones según el documento WO2018/229267, adaptada según el número de solicitud EP 19178729.0 para incluir una central eléctrica integrada, y se compara con una disposición de planta de etileno con un horno de craqueo convencional (es decir, no de bajas emisiones).

15 Al utilizar esta disposición, al tener un horno de craqueo de bajas emisiones en el corazón de la planta, el calor despedido se reduce en un 31,87 % desde 120 MW (para un horno convencional, véase la Figura 3) hasta 82 MW y la energía generada dentro de la planta de etileno se reduce desde 18,5 MW hasta 6,5 MW. Esto se muestra comparando las cifras de generación y consumo de combustible y energía de la Figura 3 con las de la Figura 4, para el circuito de planta de etileno convencional y para una disposición de planta de etileno que tiene un horno de craqueo de bajas emisiones, respectivamente. Esto se logra aumentando la eficiencia de la cámara de combustión del horno de craqueo del 40 % al 53 %. Esto significa que a la planta de etileno le faltan 12 MW de energía y un exceso de producción de gas combustible del 32 %, ya que este gas combustible se quemaba anteriormente en el horno de craqueo.

20 Mediante la integración del horno de craqueo con la central eléctrica, es posible convertir este exceso de gas combustible en energía en la central eléctrica con CCGT con una eficiencia de calor a energía del 50 % en lugar del 32 %, que es la eficiencia de calor a energía en la planta de etileno como se explica a continuación. El combustible ahorrado asciende a 38 MW de calor (120-82 MW), en comparación con un sistema de planta de etileno convencional, donde la eficiencia de la cámara de combustión del horno de craqueo es del 40 %. En esta última situación, esto se convierte en 12 MW de energía. Esto corresponde a una conversión de calor en energía de un sistema de planta de etileno convencional de $12/38 = 31,6\%$. Es posible convertir este exceso de gas combustible en la CCGT con una eficiencia del 50 %, lo que da como resultado $0,5 \cdot 38$ MW de calor = 19 MW de energía, de los cuales 12 MW se entregan a la planta de etileno para compensar la escasez comentada anteriormente y 7 MW de energía está disponible para exportación. Estos 12 MW pueden entregarse a la planta de etileno como energía eléctrica directamente a un electromotor para accionar una máquina, pero también pueden suministrarse como vapor a alta presión para accionar una máquina a través de una turbina de vapor y suministrar esta energía en la forma de energía del eje.

25 A medida que la energía generada aumenta desde 18,5 MW hasta 25,5 MW gracias a los 7 MW adicionales recaudados en la CCGT, se genera un 37 % más de generación de energía (deber) por la misma cantidad de CO₂ producida, la reducción de la emisión específica de CO₂ es del 27 %. Esto es un 27 % menos de CO₂ por MW de energía producida. Estos 7 MW adicionales de energía pueden entregarse como corriente continua a la red externa.

Ejemplo 2 (almacenamiento de combustible enriquecido en metano)

30 La disposición del Ejemplo 1 se modifica incluyendo un almacenamiento de metano licuado, como se muestra esquemáticamente en las Figuras 1 y 5, para el exceso de combustible enriquecido en metano separado del gas craqueado (la Figura 5 muestra cifras promedio diarias de generación y consumo de combustible y energía).

35 Al almacenar el exceso de combustible, la planta de etileno puede utilizarse para ayudar a la introducción de energías renovables en la red eléctrica. Una de las principales cuestiones que hay que abordar es la dificultad de gestionar las fluctuaciones de energía asociadas a las fuentes de energía renovables. Esta invención resuelve ese problema utilizando el exceso de producción de combustible de la planta de etileno como respaldo y convirtiéndolo en energía de alta eficiencia en una CCGT durante los períodos en los que hay un déficit de energía renovable.

40 Con un suministro promedio de 3,5 MW de energía eléctrica renovable, un suministro pico de 10,5 MW y una disponibilidad de energía renovable durante 8 horas por día a la planta de etileno integrada de bajas emisiones (la CCGT tiene una capacidad pico de 22,5 MW y una capacidad base de 19 MW) y con una capacidad de almacenamiento de combustible equivalente a 7 MW de energía eléctrica (véanse 7 MW de energía eléctrica disponibles para exportación en el Ejemplo 1), las siguientes mejoras son factibles:

- 45 - un aumento adicional de la energía generada a 29 MW (debido a los 3,5 MW adicionales de energía renovable) (véanse 25,5 MW para la disposición integrada del Ejemplo 1);
- 50 - un aumento del 50 % de la energía disponible para la exportación hasta 10,5 MW de forma continua (véanse 7 MW en el acuerdo integrado del ejemplo 1);

65

- hasta un 57 % más de generación de energía (deber) para la misma cantidad de CO₂ producido (véanse 37 % en la disposición integrada del ejemplo 1);

5 - hasta un 36 % de reducción de la emisión de CO₂ específica (véase 27 % de reducción en la planta integrada del Ejemplo 1).

En comparación con el sistema integrado del Ejemplo 1, es factible un aumento continuo de hasta el 50 % en la energía exportada. Las fluctuaciones de las energías renovables se gestionan por la CCGT y el almacenamiento de combustible. El desplazamiento de carga de la CCGT es del 40 % al 120 %, suponiendo una carga base de 19 MW.

10 En la práctica, puede operarse lejos del punto de operación óptimo, por lo que la CCGT no funcionará con una eficiencia de calor a energía del 50 %. Entonces, la producción de energía será menor de lo esperado sobre la base de una eficiencia de calor a energía del 50 %. Entonces, el aumento de la energía en un 57 % será menor y la reducción asociada de emisiones de CO₂ también serán inferiores al 36 %, por ejemplo aproximadamente del 30 % o menos, por ejemplo a aproximadamente el mismo nivel que el sistema integrado del Ejemplo 1. También en una realización en donde no hay reducción adicional de emisiones de CO₂ en comparación con el sistema integrado del Ejemplo 1, todavía habrá una reducción de emisiones de CO₂ en comparación con un sistema de planta de etileno convencional, sin almacenamiento de metano y una CCGT para la generación de energía, donde la eficiencia de la cámara de combustión del horno de craqueo es del 40 %, como se presenta en la Figura 3.

20 Aparte de los beneficios en la reducción de emisiones de CO₂, una ventaja importante de la planta de etileno según la invención es poder proporcionar una producción estable de energía a la red interna y externa a esencialmente el mismo nivel de capacidad que la capacidad máxima de la fuente de energía renovable, incluso con un factor de disponibilidad deficiente de la fuente de energía renovable de sólo el 33 % (8 horas de 24 horas), como se ha tomado en este ejemplo.

30 Como se mencionó anteriormente y se muestra en la Figura 6, la disposición está configurada para una carga máxima de energía renovable de 10,5 MW. Con una capacidad de almacenamiento de metano es posible almacenar la producción total del exceso de combustible durante 8 horas a una tasa de 7 MW de equivalentes de energía. Durante este tiempo, la central eléctrica con CCGT puede funcionar con una carga mínima de 12 MW para producir la energía necesaria para operar la propia planta de etileno. Por lo tanto, la demanda de energía de la planta de etileno limita la reducción de la central eléctrica con CCGT. El hecho de que la CCGT pueda funcionar en todo momento con una carga razonable es otro aspecto positivo de la invención.

35 Cuando no hay suministro de energía eléctrica renovable (Figura 7), el exceso de gas combustible de almacenamiento está disponible para ser entregado a la CCGT durante 16 horas a una tasa de 3,5 MW de equivalentes de energía, la mitad de su capacidad total durante un período dos veces más largo. Durante este tiempo, la central eléctrica con CCGT puede suministrar los 10,5 MW a la red externa y al mismo tiempo producir los 12 MW necesarios para operar la planta de etileno, cuando funciona a una carga máxima de 22,5 MW (19 MW del exceso de gas combustible directamente y 3,5 MW del gas combustible del área de almacenamiento).

Ejemplo 3 (electrolizador para convertir energía renovable en combustible rico en hidrógeno)

45 La disposición del Ejemplo 2 está adaptada para incluir un electrolizador configurado para producir hidrógeno (y oxígeno) a partir de agua y utilizando energía renovable (la Figura 8 muestra cifras promedio diarias de generación y consumo de combustible y energía).

50 El electrolizador requiere casi 1,5 MW de energía eléctrica para generar 1,0 MW de equivalentes de hidrógeno en términos de calor despedido.

55 Cuando se opera durante 8 horas con carga máxima y 16 horas sin carga, la carga máxima debería ser suficiente para reemplazar todo el gas combustible utilizado originalmente para el horno de craqueo de alta eficiencia/baja emisión por hidrógeno: La cantidad necesaria es de 82 MW en términos de calor despedido. La energía eléctrica renovable requerida es $82 \cdot 1,49 = 122,5$ MW. En el momento de carga máxima, todo el exceso de gas combustible (incluso el 10 % en volumen de hidrógeno ya presente en este gas combustible, para simplificar) puede así almacenarse y/o utilizarse para la generación de energía. Esto eleva el almacenamiento/disponibilidad de gas combustible para la generación de energía con 82 MW de calor a 120 MW de calor, la misma cantidad que utiliza el horno de craqueo antes de la modificación a un horno de bajas emisiones (véase la Figura 4). Con una eficiencia calor a energía de la CCGT del 50 %, estos 82 MW de calor se pueden convertir en 41 MW de energía. Esto además de los 19 MW de energía proporcionados en la disposición integrada del Ejemplo 1. En este caso, la producción completa de combustible de 120 MW de calor se puede convertir potencialmente en 60 MW de energía en la CCGT ($41 + 19 = 60$).

65 Durante la carga máxima, la planta puede entregar 20,7 MW de energía, como se muestra en la Figura 9. Durante este tiempo, parte de la producción de gas combustible en exceso se puede almacenar durante 8 horas con una tasa de 27,4 MW de equivalentes de energía. Durante este tiempo, la central eléctrica con CCGT suministra 20,7 MW a la red externa y al mismo tiempo produce los 12 MW necesarios para operar la planta de etileno. Para lograr esto, en la

carga máxima, el electrolizador debe suministrar 82 MW de calor despedido equivalente a los hornos. Esto corresponde a una energía eléctrica de aproximadamente 122,5 MW.

5 Cuando no hay energía eléctrica renovable disponible (16 h por día en este ejemplo), no se proporciona energía eléctrica ni hidrógeno (directamente) a partir de fuentes renovables (Figura 10).

10 Durante este tiempo, el exceso de gas combustible almacenado se puede entregar a al CCGT durante 16 horas a una tasa de 13,7 MW de equivalentes de energía, la mitad de la capacidad máxima de almacenamiento de 27,4 MW de equivalentes de energía durante un período dos veces más largo. Durante este tiempo, la central eléctrica con CCGT produce los 12 MW necesarios para operar la planta de etileno y genera un excedente de 20,7 MW que se exporta a la red externa. Debido al almacenamiento, la central eléctrica con CCGT funciona con la misma carga que durante los períodos en donde la energía renovable está disponible en carga máxima: 32,7 MW (19 MW del exceso de gas combustible directamente y 13,7 MW del gas combustible procedente del almacenamiento de metano).

15 En comparación con el sistema integrado del Ejemplo 2, es factible un aumento continuo del 100 % de la energía exportada. Las fluctuaciones de las energías renovables se gestionan por la CCGT y el almacenamiento de combustible. La CCGT puede funcionar de forma continua en su punto óptimo de diseño de 32,7 MW. Esta operación permite que la CCGT funcione esencialmente a tiempo completo con una eficiencia óptima de calor a energía (50 %).

20 Una ventaja importante de esta realización es poder proporcionar una producción estable de energía a la red externa en o cerca de su punto de diseño óptimo. Esto significa que el nivel específico de emisiones de CO₂ se puede reducir en más del 53 %, sin necesidad de capturar carbono, incluso con una escasa disponibilidad de energía renovable del 33 % (8 horas por día).

25 En comparación con la realización del Ejemplo 2 (almacenamiento de metano, pero sin electrolizador), la energía continua producida a partir de fuentes renovables de 20,7 MW es casi la mitad de la capacidad promedio de la energía renovable producida de 40,8 MW; la razón principal es que la producción de 1 MW de hidrógeno en términos de calor despedido requiere el suministro de casi 1,5 MW de energía eléctrica. Esto tiene que ver con el hecho de que el hidrógeno y el oxígeno producidos están en fase gaseosa, mientras que el agua está en fase líquida. En otras palabras, además de dividir la molécula, también se debe aportar calor latente. El gas de combustión producido por la combustión del hidrógeno no se condensa, por lo que no se recupera el calor latente. Por otro lado, el suministro de hidrógeno para su uso en vehículos tendría asociado 0,4 MW adicionales. Sin embargo, esto encarece los afines de hidrógeno y su aplicación económica dependerá del valor de los créditos de CO₂ y el porcentaje de retorno de la inversión (ROI) que es aceptable para estas grandes inversiones a largo plazo asociadas con las energías renovables, los electrolizadores y el almacenamiento de metano. Teniendo en cuenta la vida útil de las plantas de etileno, los inventores esperan que porcentajes de ROI más bajos sean aceptables cuando estos elementos de equipo adicionales (central eléctrica de energía renovable y electrolizador) se implementen según la invención.

40 **Agradecimientos:**

El trabajo que conduce a esta invención ha recibido financiamiento del Programa de la Unión Europea Horizon H2020 (H2020-SPIRE-04-2016) bajo el acuerdo de concesión n. ° 723706.

Leyenda de figuras

	1.	Horno de craqueo
5	2.	Sección de separación
	3.	Almacenamiento de metano
	4.	Evaporador de metano
10	5.	Cámara de combustión de turbina de gas
	6.	Turbina de gas
15	7.	Compresor de aire de combustión
	8.	Caldera de recuperación de calor residual
	9.	Turbina de vapor de central eléctrica
20	10	Generador de energía eléctrica
	11.	Turbina de vapor de planta de etileno
25	12.	Condensador de superficie de central eléctrica
	13.	Condensador de superficie de planta de etileno
	14	Bomba de agua de alimentación de caldera
30	15.	Generador de energía eléctrica de central eléctrica o compresor de planta de etileno
	16.	Compresor y/o bomba de planta de etileno
35	21.	Materia prima de hidrocarburos
	22.	Gas craqueado
	23a-23c.	Combustible enriquecido en hidrógeno
40	24a-24j.	Combustible enriquecido en metano
	25.	Producto enriquecido en etileno
45	26.	Aire
	27.	Gas de escape
	28.	Agua de alimentación de caldera
50	29.	Vapor a alta presión
	31.	Red eléctrica interna
55	32.	Red eléctrica externa
	33.	Fuente de energía renovable
	41.	Sistema de control de producción de energía
60	42.	Sistema de control de combustión
	43.	Válvula de control
65	51.	Central eléctrica y planta de etileno de bajas emisiones integrada con importación de energía renovable

ES 2 974 070 T3

	52.	Central eléctrica y planta de etileno de bajas emisiones integrada con importación de energía renovable y electrolizador	
5	61.	Electrolizador	
	62.	Agua desmineralizada	
	63a-63b.	Combustible de hidrógeno	
10	64.	Oxígeno	
	101.	Horno de craqueo	
15	102.	Generación de energía de planta de etileno	
	103.	Usuarios de energía de planta de etileno	
	104.	Sección de separación	
20	105.	Sistema de turbina de gas de ciclo combinado	
	106.	Red interna	
25	107.	Fuente de energía renovable	
	108.	Almacenamiento de metano	
	109.	Red externa	
30	110.	Electrolizador	
	121.	Combustible	
35	122.	Vapor a alta presión	
	123.	Energía de la planta de etileno	
	124.	Gas craqueado	
40	125.	Exceso de combustible enriquecido en metano a CCGT	
	126.	Energía de CCGT a planta de etileno mediante energía eléctrica o vapor a alta presión	
45	127.	Energía de CCGT a la red interna	
	128.	Energía de fuentes renovables	
	129.	Exceso de combustible enriquecido en metano a almacenamiento	
50	130.	Exceso de combustible enriquecido en metano de almacenamiento	
	131.	Energía a red externa	
55	132.	Combustible de hidrógeno	
	139.	Planta de etileno convencional	
	140.	Central eléctrica y planta de etileno de bajas emisiones integrada	
60	141.	Central eléctrica y planta de etileno de bajas emisiones integrada con importación de energía renovable	
	142.	Central eléctrica y planta de etileno de bajas emisiones integrada con importación de energía renovable y electrolizador	
65			

REIVINDICACIONES

1. Planta de etileno, que comprende
 - 5 - un horno de craqueo (1) para convertir una materia prima de hidrocarburos (21) en una corriente (22) de gas craqueado;
 - una sección de separación (2) configurada para proporcionar al menos una corriente (25) de producto enriquecido en etileno, una corriente (23) de combustible enriquecido en hidrógeno y una corriente (24) de combustible enriquecido en metano a partir de la corriente (22) de gas craqueado;
 - 10 - un conducto (23a, 23c) para alimentar al menos parte del combustible enriquecido en hidrógeno desde la sección de separación (2) a un quemador del horno de craqueo (1) y/o un conducto (23a, 23b) para alimentar al menos parte del combustible enriquecido en hidrógeno desde la sección de separación (2) a un quemador de una caldera (8) de recuperación de calor residual de una central eléctrica con turbina de gas de ciclo combinado (CCGT);
 - 15 - un almacenamiento de metano (3) configurado para almacenar combustible enriquecido en metano y un conducto (24a) para alimentar al menos parte del combustible enriquecido en metano desde la sección de separación (2) al almacenamiento (3);
 - la CCGT, que comprende una turbina de gas (6) - la turbina de gas que comprende una cámara de combustión (5) - y un conducto (24b, 24c, 24e) para alimentar al menos parte del combustible enriquecido en metano desde el almacenamiento (3) a la cámara de combustión (5) de la turbina de gas (6) de la CCGT, CCGT que está configurada para generar energía eléctrica y/o para generar vapor (29) a alta presión para accionar una turbina de vapor (9, 11) que forma parte de un circuito de generación de vapor de la planta de etileno; y
 - 20 - una conexión de energía eléctrica configurada para proporcionar parte de la energía para operar la planta, que es una conexión a un sistema de energía eléctrica para producir energía eléctrica a partir de una fuente renovable.

2. Planta de etileno según la reivindicación 1, en donde
 - 30 el almacenamiento de metano (3) está configurado para almacenar combustible enriquecido en metano licuado, obtenido directamente de la sección de separación (2) o después de licuar una corriente (24a) de combustible enriquecido en metano gaseoso de la sección de separación (2), y el conducto (24b) para alimentar al menos parte del combustible enriquecido en metano desde el almacenamiento (3) a la cámara de combustión (5) de la turbina de gas (6) de la CCGT está configurado para alimentar combustible enriquecido en metano licuado a la cámara de combustión (5) de la turbina de gas (6) de la CCGT a través de una unidad evaporadora (4) configurada para convertir al menos parte del combustible (24b) enriquecido en metano licuado en un combustible (24c) enriquecido en metano gaseoso.

3. Planta de etileno según la reivindicación 1 o 2, en donde la sección de separación (2) está configurada además para separar una corriente (24a) de combustible enriquecido en metano gaseoso del gas craqueado (22), comprendiendo además la planta al menos uno de:
 - 45 - un conducto (24j) para alimentar parte del combustible enriquecido en metano gaseoso desde la sección de separación (2) a un quemador del horno de craqueo (1); y
 - un conducto (24g) para alimentar parte del combustible enriquecido en metano gaseoso desde la sección de separación (2) a un quemador de la caldera (8) de recuperación de calor residual de la CCGT.

4. Planta de etileno según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el conducto (24b, 24c, 24f) para alimentar parte del combustible enriquecido en metano está configurado para alimentar combustible enriquecido en metano licuado desde el almacenamiento (3) a un quemador del horno de craqueo (1).

5. Planta de etileno según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el almacenamiento (3) está configurado para almacenar combustible enriquecido en metano licuado y la planta comprende un conducto (24b, 24c, 24d) para alimentar parte del combustible enriquecido en metano licuado desde el almacenamiento (3) a un quemador de la caldera (8) de recuperación de calor residual de la CCGT a través de una unidad evaporadora (4) configurada para convertir al menos parte del combustible (24b) enriquecido en metano licuado en un combustible (24c) enriquecido en metano gaseoso.

6. Planta de etileno según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un sistema de control (41) configurado para compensar las fluctuaciones en la energía eléctrica proporcionada a través de la conexión de energía eléctrica renovable, en donde un caudal de combustible y/o presión en uno o más de dichos conductos están regulados, en respuesta a las fluctuaciones existentes o esperadas, aumentando así la producción de energía eléctrica de la CCGT cuando la energía eléctrica proporcionada por dicha conexión de energía eléctrica disminuye o se espera que disminuya y disminuyendo la producción de energía eléctrica

de la CCGT cuando la energía eléctrica proporcionada por dicha conexión de energía eléctrica aumenta o se espera que aumente.

- 5 7. Planta de etileno según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el sistema de energía eléctrica comprende un sistema de energía seleccionado del grupo que consiste en sistemas de energía eólica, sistemas de energía solar, sistemas de energía hidroeléctrica, sistemas de energía geotérmica, sistemas de energía osmótica, sistemas configurados para generar electricidad a partir de biomasa y sistemas configurados para generar electricidad a partir de un combustible biorrenovable, p. ej. bioetanol o biodiésel.
- 10 8. Planta de etileno según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un electrolizador (61), en donde la conexión de energía eléctrica está conectada al electrolizador (61), electrolizador (61) que está configurado para usar al menos parte de la energía eléctrica procedente de la fuente renovable (33) y opcionalmente para usar al menos parte de la energía eléctrica generada por la CCGT para generar hidrógeno (63) mediante electrólisis, y que comprende además un conducto (63a) para alimentar hidrógeno generado desde el electrolizador (61) a un quemador del horno de craqueo (1) y/o un conducto (63b) para alimentar hidrógeno generado (63) desde el electrolizador (61) a un quemador de la caldera (8) de recuperación de calor residual de la CCGT.
- 15 9. Planta de etileno según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el sistema de energía eléctrica configurado para producir energía eléctrica a partir de una fuente renovable es una parte integrada de la planta de etileno o una parte integrada de un complejo industrial del cual la planta de etileno es parte y/o en donde el sistema de energía eléctrica está conectado a la planta de etileno a través de una red (32) eléctrica externa, en donde preferiblemente tanto dicho sistema de energía eléctrica configurado para producir energía eléctrica a partir de una fuente renovable como la CCGT tienen una conexión eléctrica a una red interna (31) de la planta de etileno o complejo industrial del cual la planta de etileno es parte y en donde la planta de etileno además tiene una conexión eléctrica, conexión eléctrica que está configurada para permitir recibir energía eléctrica de la planta de energía que proporciona energía eléctrica renovable y para permitir el suministro de excedente de energía fuera de la planta de etileno, por ejemplo a otra instalación fuera de la planta de etileno dentro del mismo complejo industrial o a la red (32) eléctrica externa.
- 20 10. Planta de etileno según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que tiene un circuito de generación de vapor de la planta de etileno y un circuito de la central eléctrica,
- 25 comprendiendo el circuito de generación de vapor de la planta de etileno
- 30 - dicho horno de craqueo, en donde el horno de craqueo está configurado para generar vapor (29) a alta presión del agua (28) de alimentación de caldera;
- 35 - una turbina de vapor (9, 11) configurada para ser accionada por dicho vapor (29) a alta presión;
- 40 - un compresor de proceso (16) configurado para ser accionado por al menos una turbina de vapor (11);
- 45 - un condensador (12, 13) configurado para condensar al menos parte del vapor (29) a alta presión;
- una bomba (14) configurada para bombear el vapor condensado al horno de craqueo como agua (28) de alimentación de caldera;
- comprendiendo el circuito de la central eléctrica una caldera (8) de recuperación de calor residual configurada para recuperar calor como vapor (29) a alta presión,
- 50 en donde el sistema comprende además una primera conexión entre el circuito de generación de vapor de la planta de etileno y el circuito de la central eléctrica configurada para conducir al menos parte del vapor (29) a alta presión desde la caldera (8) de recuperación de calor residual hasta la al menos una turbina de vapor (9, 11) del circuito de generación de vapor de la planta de etileno para accionar dicha al menos una turbina de vapor,
- 55 en donde el circuito de generación de vapor de la planta de etileno incluye preferiblemente un compresor de proceso (15) que está configurado para ser accionado directamente por la turbina de gas (5) del circuito de la central eléctrica.
- 60 11. Planta de etileno según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el horno de craqueo (1) es un horno de craqueo de alta eficiencia.
- 65 12. Planta de etileno según la reivindicación 11, en donde la planta de etileno tiene un sistema de planta de etileno y central eléctrica integrado y el horno de craqueo de alta eficiencia incluye una sección radiante, una sección de convección y una sección de enfriamiento, en donde la sección de enfriamiento incluye al menos un intercambiador de líneas de transferencia configurado para precalentar la materia prima antes de entrar en la sección radiante y en donde una sección de convección comprende una bobina de caldera configurada

para generar vapor saturado del gas de combustión, estando ubicada dicha bobina de caldera preferiblemente en la parte inferior de la sección de convección, en donde preferiblemente

la planta de etileno tiene un sistema de planta de etileno y central eléctrica integrado y el horno de craqueo de alta eficiencia incluye una sección radiante, una sección de convección y una sección de enfriamiento, en donde la sección de enfriamiento incluye al menos un intercambiador de líneas de transferencia configurado para precalentar la materia prima antes de la entrada a la sección radiante, y en donde una sección de convección comprende una segunda bobina de alta temperatura configurada para precalentar la materia prima después de la salida de la materia prima del intercambiador de líneas de transferencia y antes de la entrada a la sección radiante, estando ubicada dicha segunda bobina de alta temperatura preferiblemente en una parte inferior de la sección de convección.

13. Planta de etileno según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho horno de craqueo (1) es un horno de craqueo caldeado.

14. Proceso para producir etileno a partir de una alimentación de hidrocarburos (21), que comprende

- craquear el hidrocarburo (21) en un horno de craqueo (1) de una planta de etileno según cualquiera de las reivindicaciones anteriores para producir un gas (22) que contiene hidrocarburos craqueados, que comprende etileno, hidrógeno y metano;

- separar al menos parte del gas que contiene hidrocarburos craqueados al menos en un producto (25) enriquecido en etileno, un combustible (23) enriquecido en hidrógeno y un combustible enriquecido en metano (24);

- alimentar al menos parte del combustible (23) enriquecido en hidrógeno desde la sección de separación (2) a un quemador del horno de craqueo (1) y/o alimentar al menos parte del combustible enriquecido en hidrógeno desde la sección de separación (2) a un quemador de una caldera (8) de recuperación de calor residual de una central eléctrica con turbina de gas de ciclo combinado (CCGT);

- alimentar al menos parte del combustible enriquecido en metano (24), obtenido directamente de la sección de separación (2) como líquido o después de licuar una corriente de combustible enriquecido en metano gaseoso de la sección de separación (2), a un almacenamiento de metano (3);

- alimentar al menos parte del combustible enriquecido en metano desde el almacenamiento (3) a la cámara de combustión (5) de la CCGT, en donde dicho combustible enriquecido en metano desde el almacenamiento (3) se vaporiza antes de alimentarse a la cámara de combustión (5); y

- someter el combustible (5) enriquecido en metano vaporizado alimentado a la cámara de combustión de la CCGT, a combustión en la CCGT, generando así energía eléctrica y/o generando así vapor a alta presión para accionar una turbina de vapor que forma parte de un circuito de generación de vapor de la planta de etileno,

en donde al menos una parte de la energía es energía eléctrica producida a partir de una fuente renovable.

15. Proceso según la reivindicación 14, en donde a partir del gas craqueado se obtiene además una corriente enriquecida en metano gaseoso y al menos una parte del combustible enriquecido en metano gaseoso se alimenta desde la sección de separación (2) a un quemador del horno de craqueo (1) sin haber sido sometido a una etapa de licuefacción y/o al menos una parte del combustible enriquecido en metano gaseoso se alimenta desde la sección de separación (2) a un quemador de la caldera (8) de recuperación de calor residual de la CCGT sin haber sido sometido a una etapa de licuefacción,

en donde una parte del combustible enriquecido en metano licuado se alimenta desde el almacenamiento de metano (3) a un quemador del horno de craqueo (1), habiéndose vaporizado dicho combustible enriquecido en metano procedente del almacenamiento antes de alimentarse al quemador como gas, en donde preferiblemente

al menos una parte del combustible enriquecido en metano licuado se alimenta desde el almacenamiento de metano (3) a un quemador del horno de craqueo (1) y/o a un quemador de la caldera (8) de recuperación de calor residual de la CCGT, habiéndose vaporizado dicho combustible enriquecido en metano procedente del almacenamiento (3) antes de alimentarse al quemador como gas.

16. Proceso según la reivindicación 14 o 15, en donde las fluctuaciones en la energía eléctrica producida a partir de la fuente renovable proporcionada a través de la conexión de energía eléctrica se compensan aumentando la producción de energía eléctrica de la CCGT cuando la energía eléctrica proporcionada por dicha conexión de energía eléctrica disminuye o se espera que disminuya y disminuyendo la producción de energía eléctrica de la CCGT cuando la energía eléctrica proporcionada por dicha conexión de energía eléctrica aumenta o se espera que aumente.

17. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 14-16, en donde el agua se electroliza para producir hidrógeno mediante un electrolizador (61) como parte de la planta de etileno usando una conexión de energía eléctrica que proporciona energía eléctrica renovable que está conectada al electrolizador (61), y en donde al menos parte de la energía eléctrica renovable y opcionalmente al menos parte de la energía eléctrica generada por la CCGT se usa por el electrolizador (61) para generar dicho hidrógeno (63) mediante electrólisis y al menos parte del hidrógeno (63a, 63b) generado se alimenta desde el electrolizador (61) a un quemador del horno de craqueo (1) y/o al quemador de una caldera (8) de recuperación de calor residual de la CCGT.
- 5
- 10 18. Uso de una planta de etileno según cualquiera de las reivindicaciones 1-13 para el almacenamiento temporal de energía renovable o para la conversión indirecta de hidrógeno en gas rico en metano.

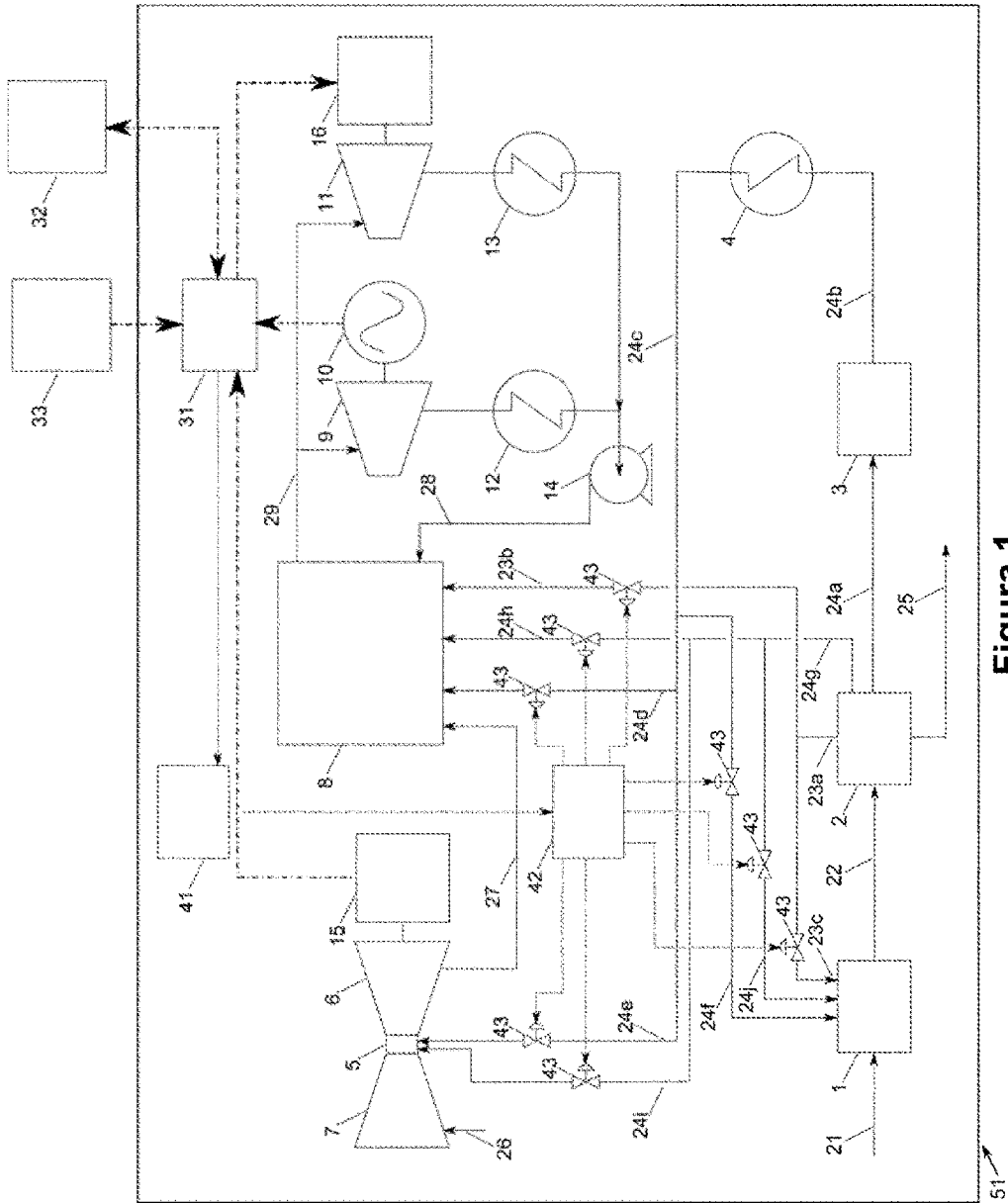


Figura 1

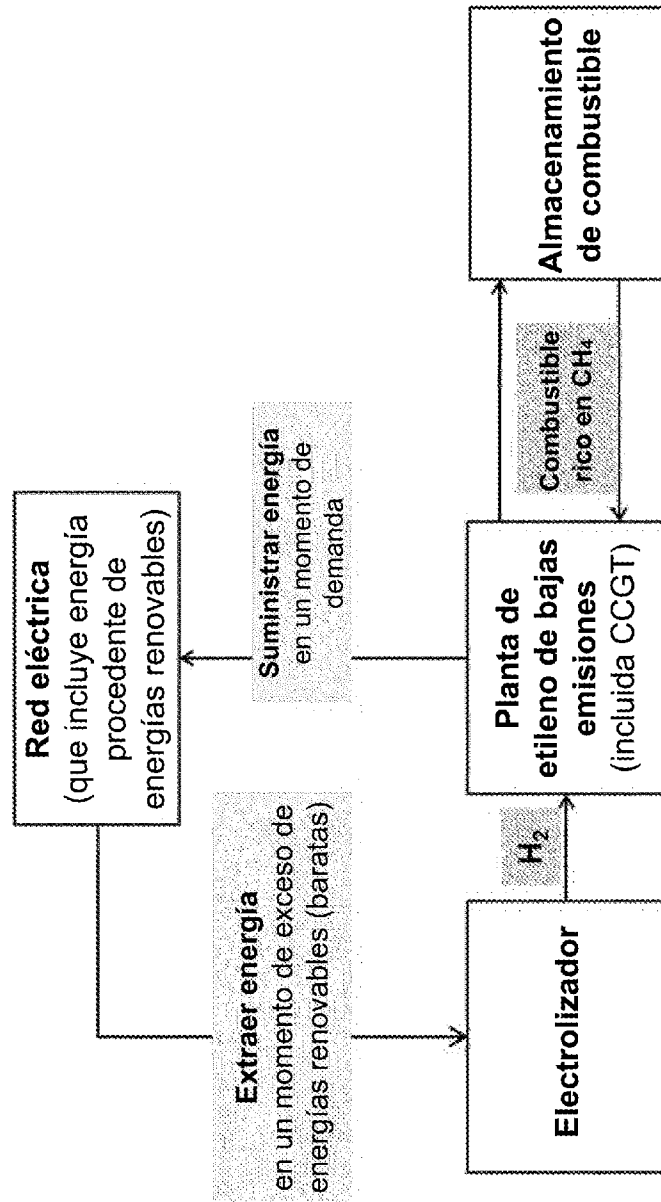


Figura 2

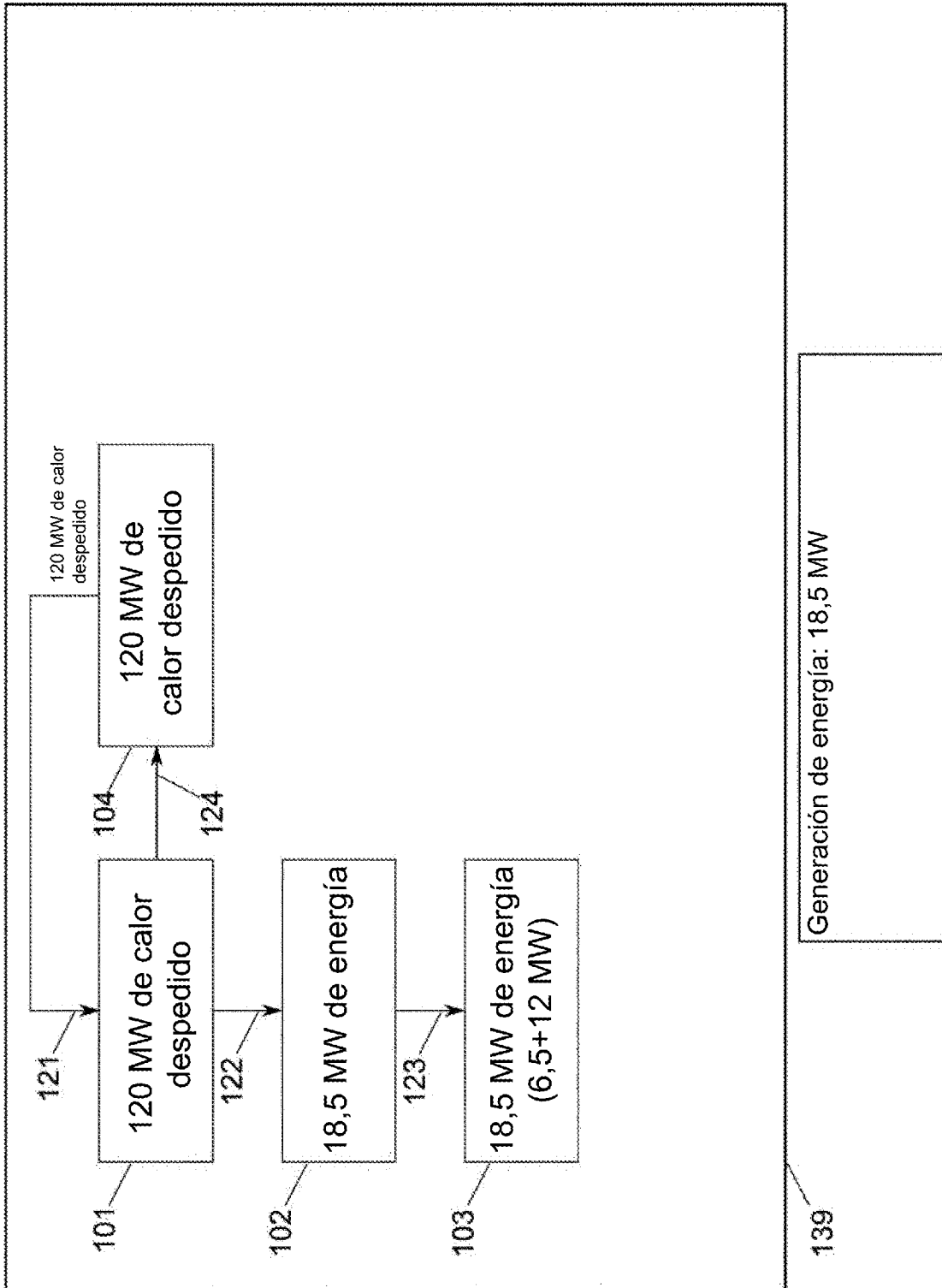


Figura 3

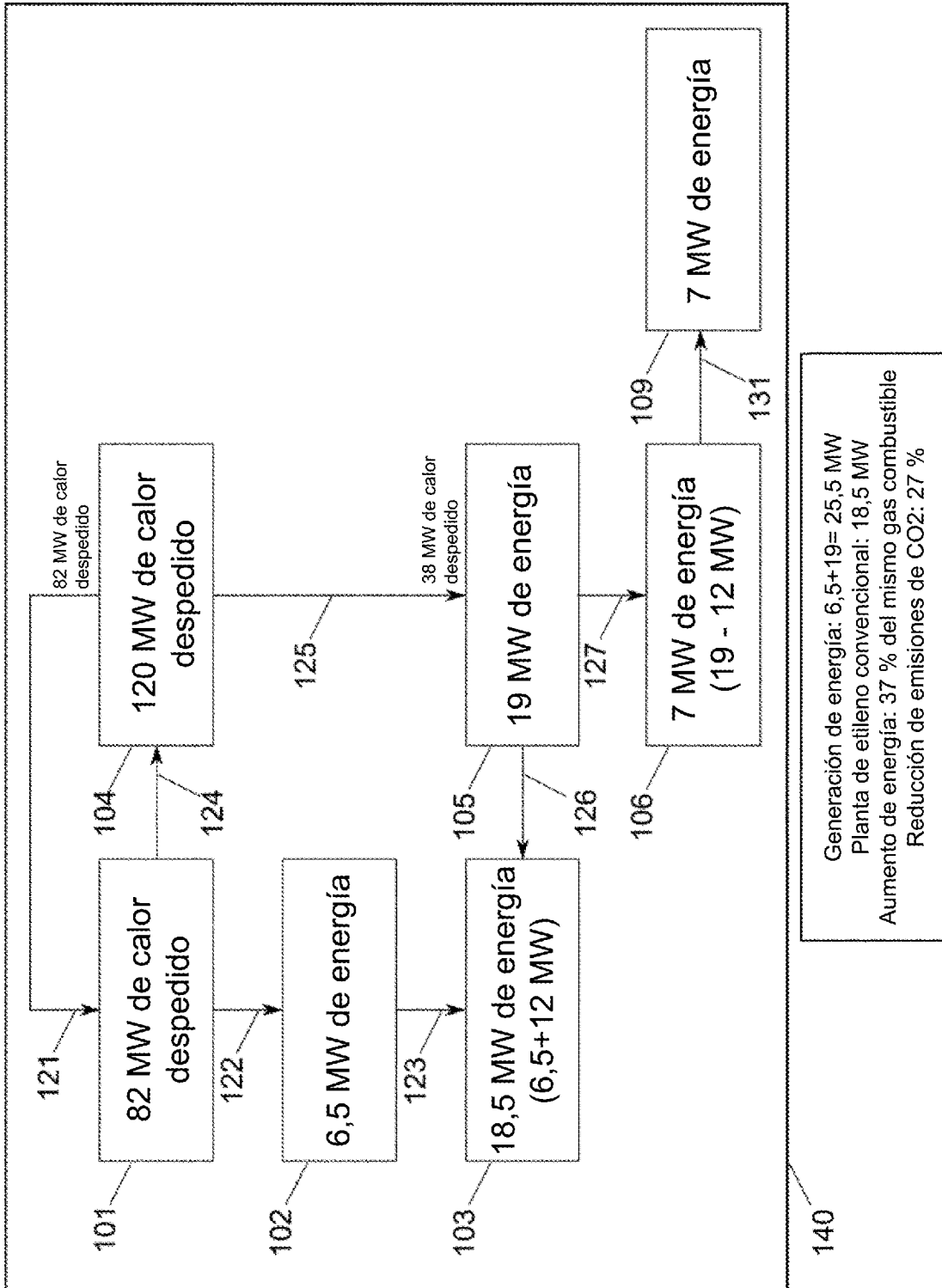


Figura 4

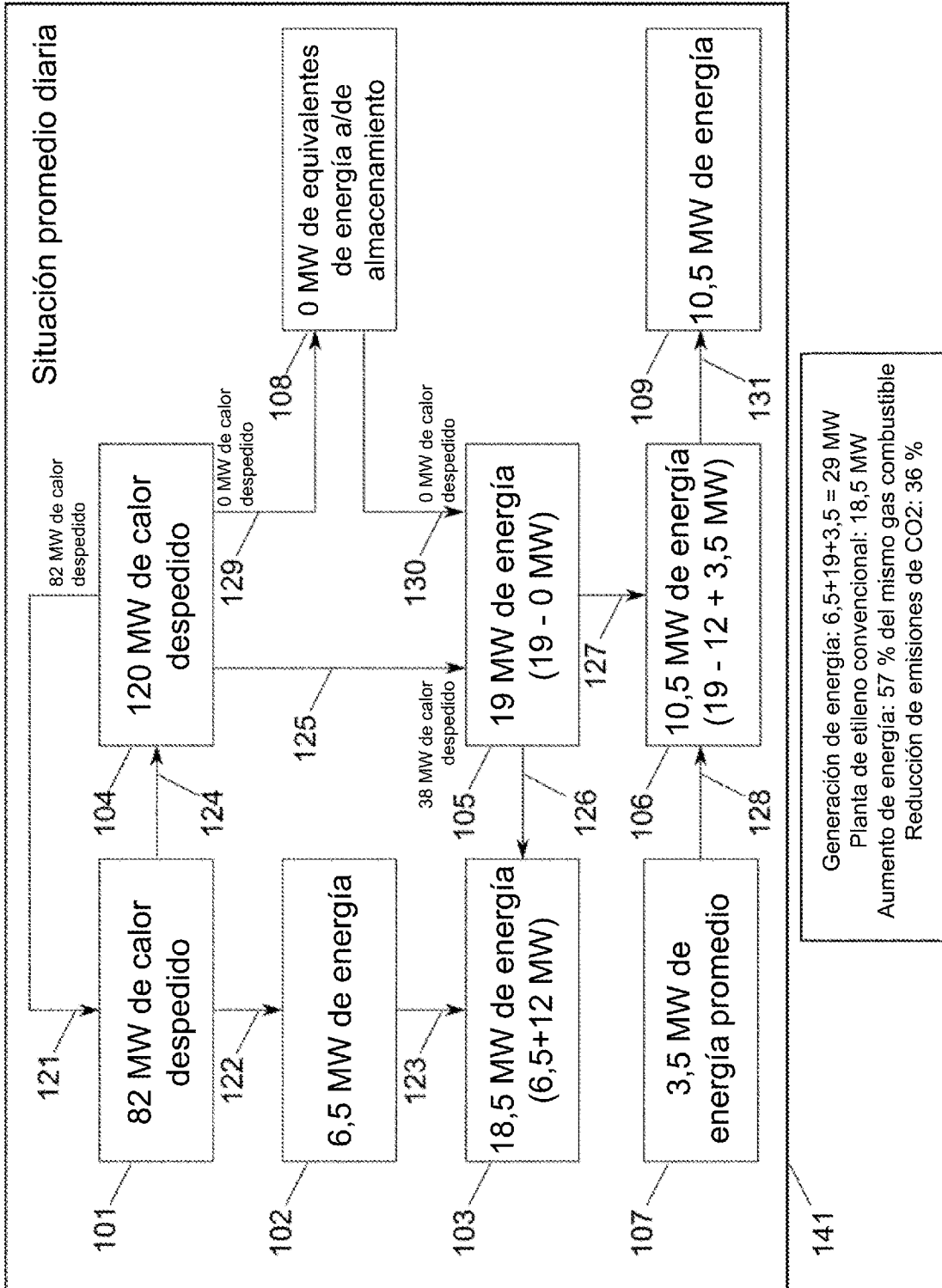


Figura 5

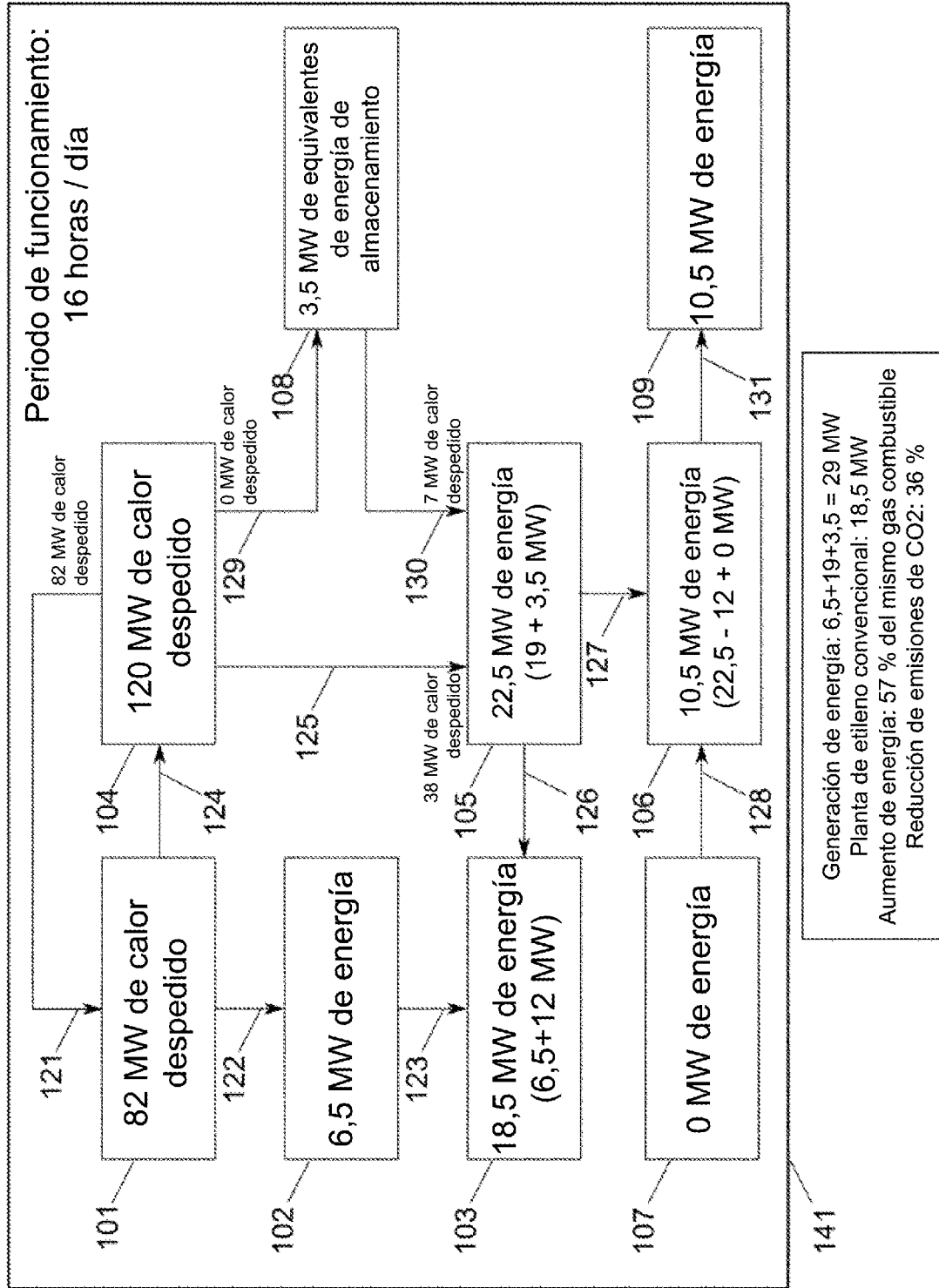


Figura 7

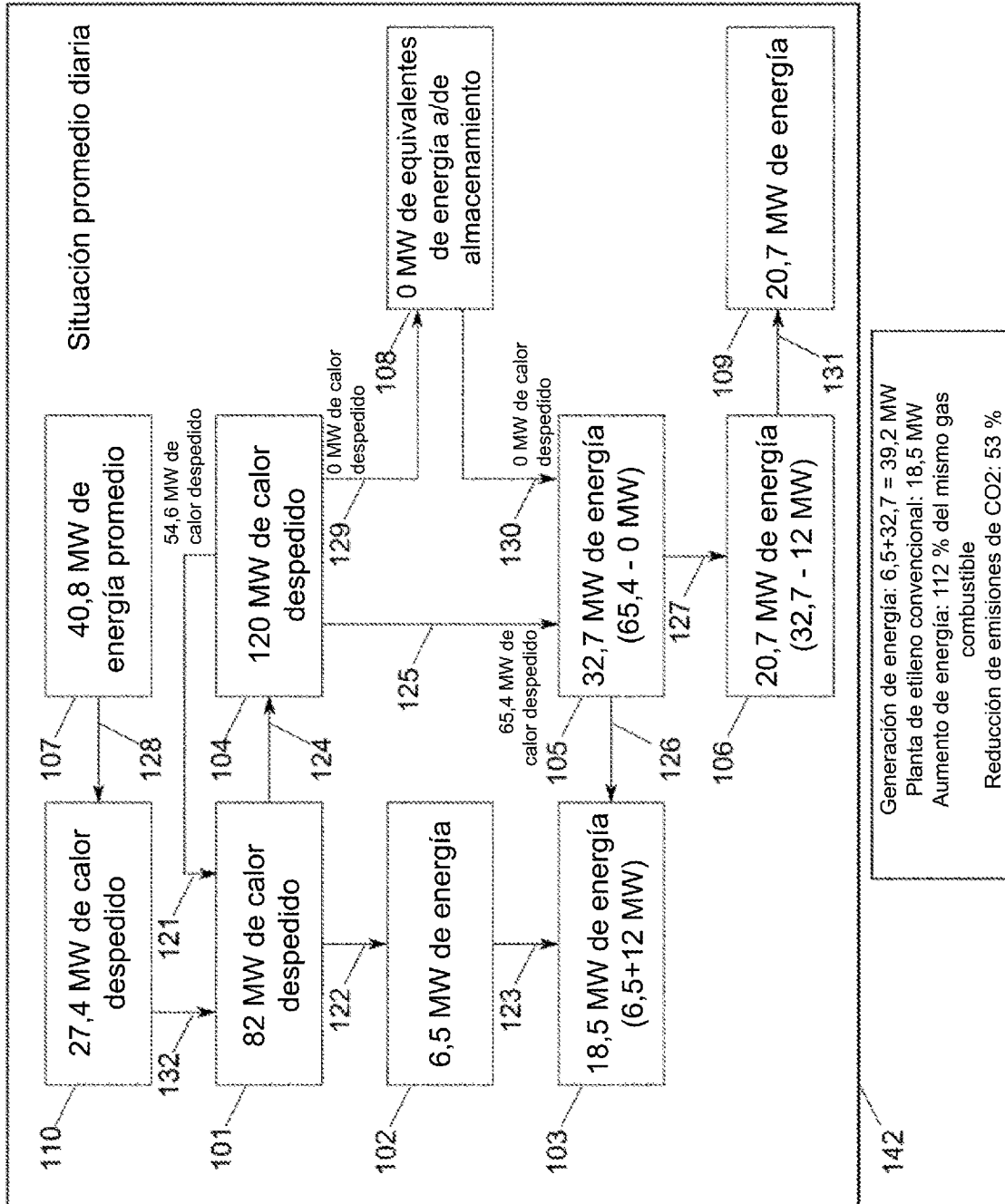


Figura 8

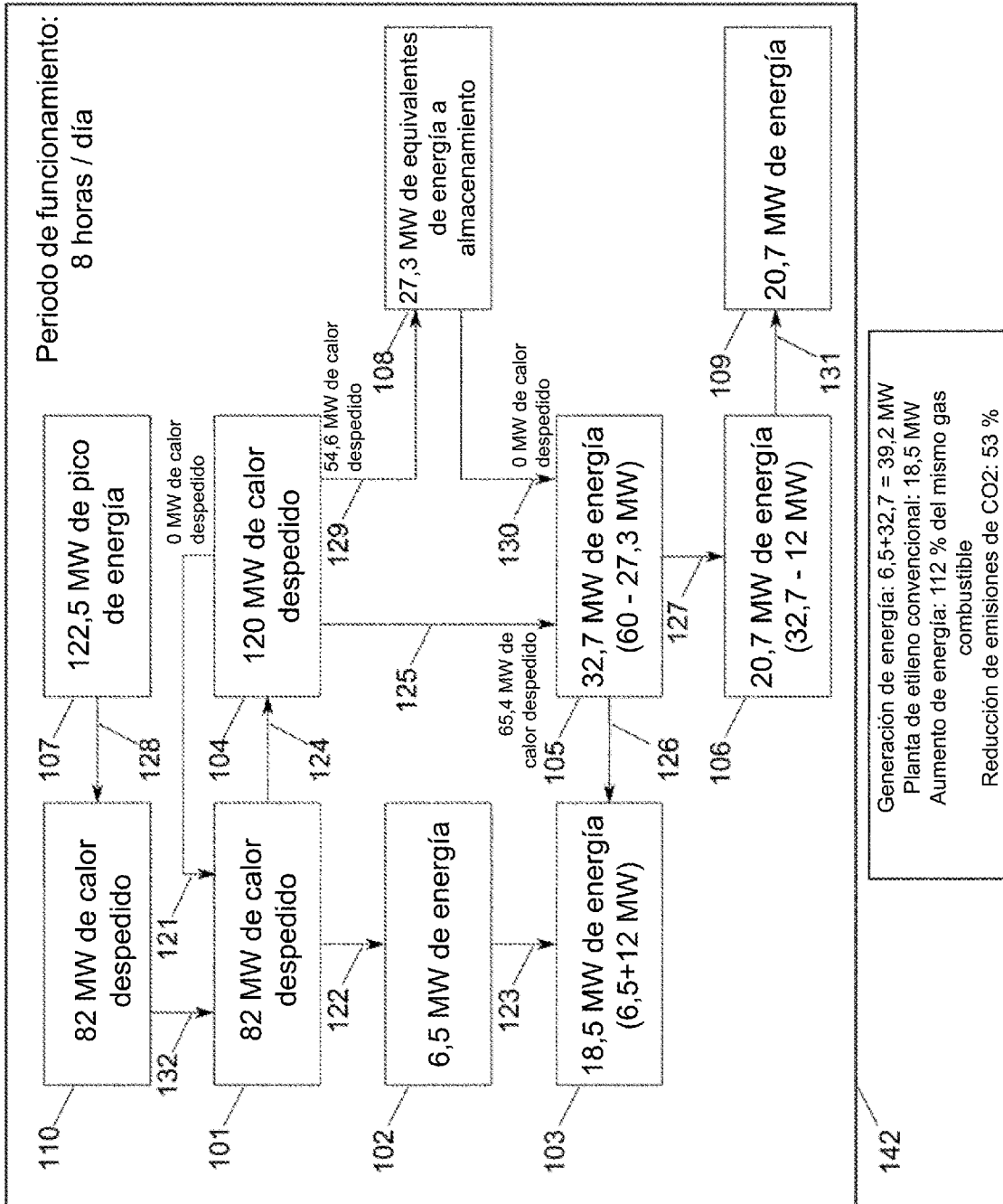


Figura 9

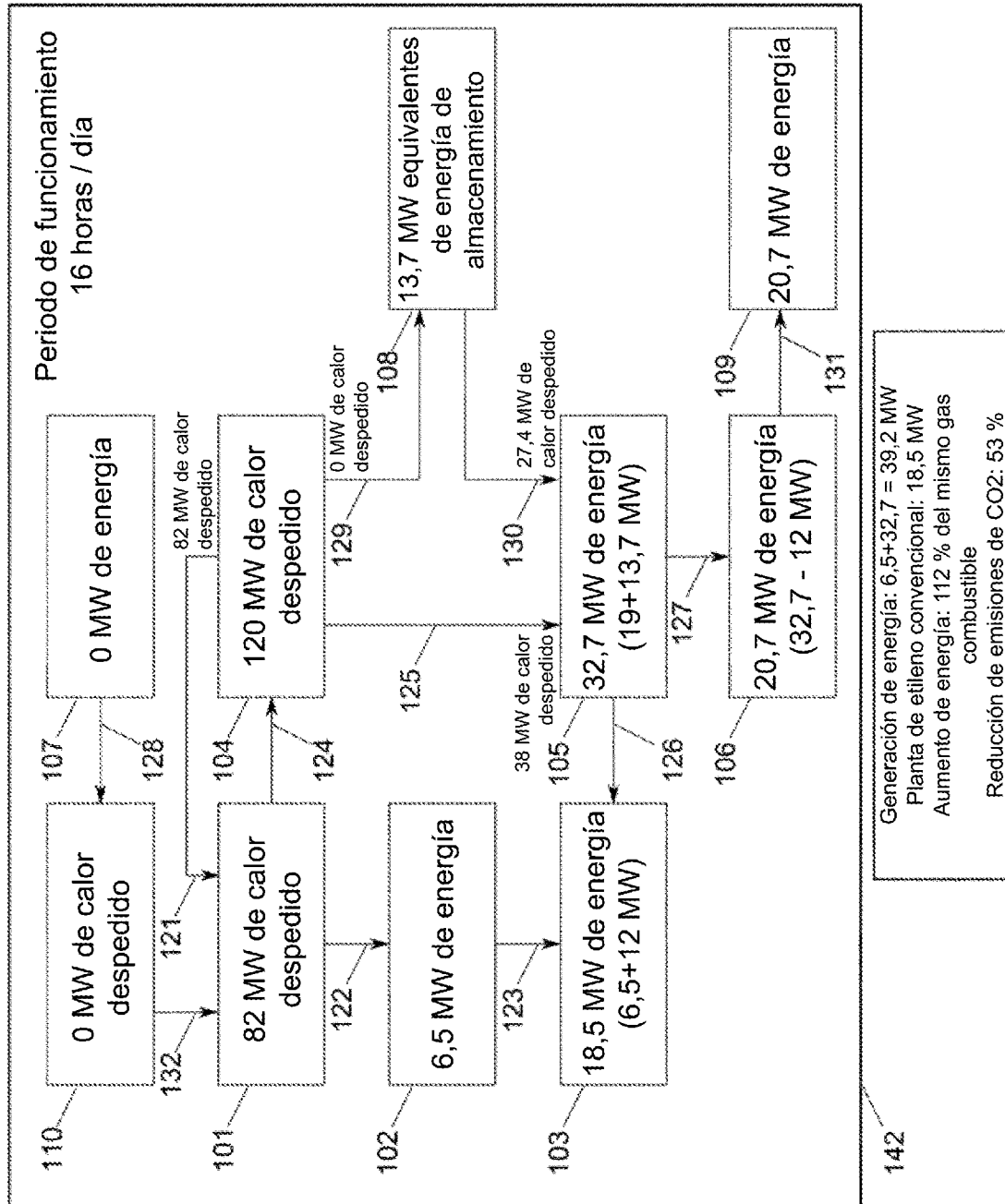


Figura 10

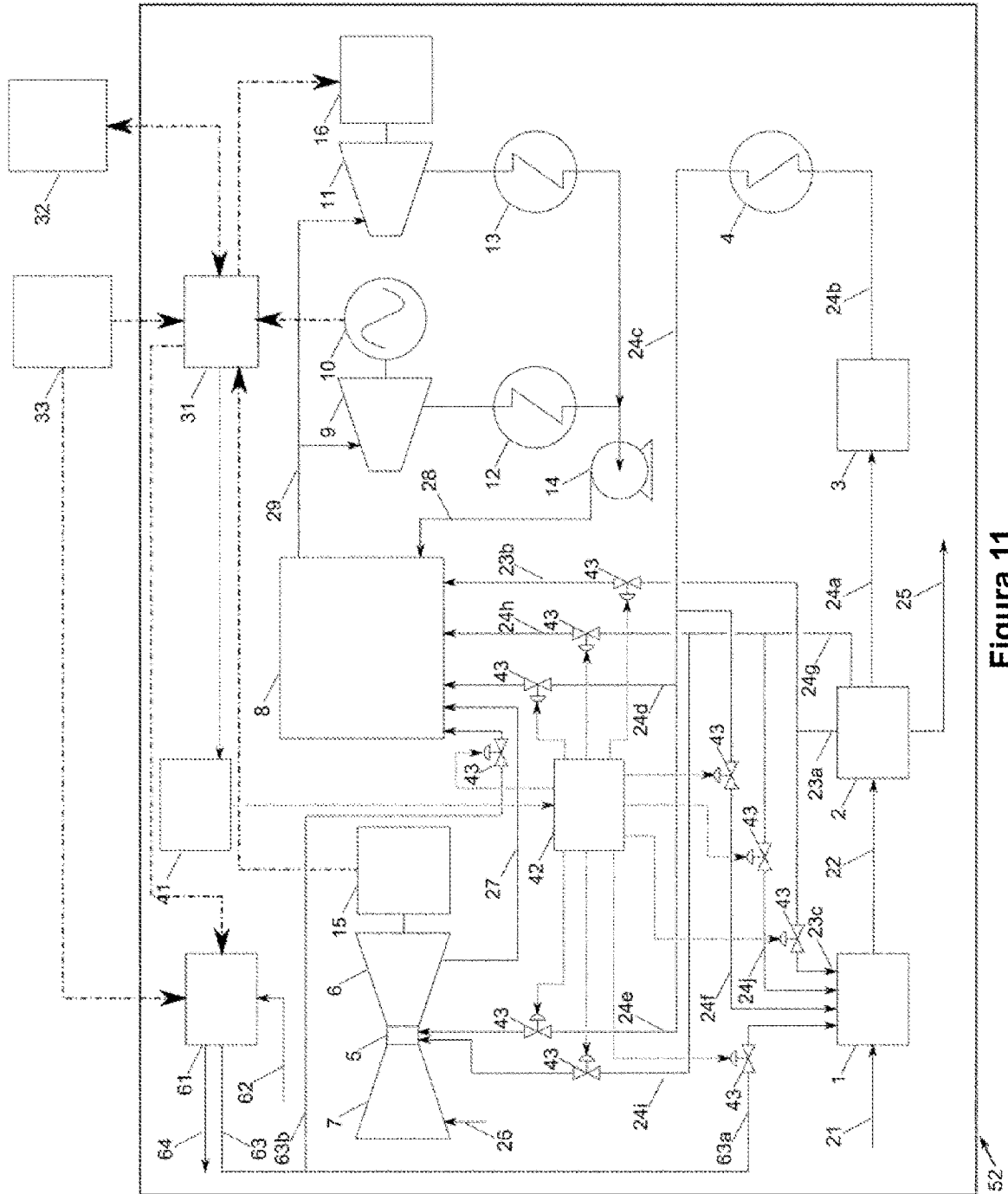


Figura 11