

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 992 228**

51 Int. Cl.:

**F22B 1/18** (2006.01)

**C10G 9/24** (2006.01)

**C10G 9/36** (2006.01)

**F01K 13/02** (2006.01)

**C10G 51/02** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.03.2022** **PCT/EP2022/055876**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.09.2022** **WO22189422**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.03.2022** **E 22709760 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2024** **EP 4305343**

54 Título: **Método y sistema para craqueo a vapor**

30 Prioridad:

**10.03.2021 EP 21161749**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**10.12.2024**

73 Titular/es:

**LINDE GMBH (100.0%)**  
**Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14**  
**82049 Pullach, DE**

72 Inventor/es:

**ZELLHUBER, MATHIEU;**  
**HÖRENZ, MICHAEL;**  
**SINN, TOBIAS y**  
**MAYER, SEBASTIAN**

74 Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

ES 2 992 228 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

Método y sistema para craqueo a vapor

- 5 La presente invención se refiere a un método y a un sistema para realizar craqueo a vapor según los preámbulos de las reivindicaciones independientes.

**Antecedentes de la invención**

- 10 La presente invención se basa en la tecnología de craqueo a vapor para la producción de olefinas y otros productos químicos básicos, tal como se describe, por ejemplo, en el artículo "Ethylene" en la Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, publicación en línea del 15 de abril de 2009, DOI: 10.1002/14356007.a10\_045.pub2.

- 15 En la actualidad, la energía térmica requerida para iniciar y mantener las reacciones de craqueo endotérmico en el craqueo a vapor se proporciona mediante la combustión del gas combustible en un horno refractario. El gas de procedimiento que contiene inicialmente vapor y los hidrocarburos que van a craquearse pasa a través de los denominados serpentines de craqueo colocados dentro de la caja refractaria, también denominada zona o sección radiante. En esta trayectoria de flujo, el gas de procedimiento se calienta continuamente, lo que permite que las reacciones de craqueo deseadas tengan lugar dentro de los serpentines de craqueo y, por lo tanto, el gas de procedimiento se enriquece continuamente en los productos de craqueo. Las temperaturas de entrada típicas para el gas de procedimiento en los serpentines de craqueo están entre 550 y 750 °C, las temperaturas de salida están normalmente en el intervalo entre 800 y 900 °C.

- 25 Además de la zona radiante, los hornos de craqueo por inyección comprenden una denominada zona o sección de convección y una denominada zona o sección de extinción. La zona de convección generalmente se coloca por encima de la zona radiante y se compone de diversos haces de tubos que atraviesan el conducto de gases de combustión desde la zona radiante. Su función principal es recuperar la mayor cantidad de energía posible del gas de combustión caliente que sale de la zona radiante. De hecho, solo del 35 al 50 % de la carga total de ignición se transfiere normalmente dentro de la zona radiante al gas de procedimiento que pasa a través de los serpentines de craqueo. Por lo tanto, la zona de convección desempeña un papel central en la gestión de la energía en el craqueo a vapor, ya que es responsable del uso beneficioso de aproximadamente del 40 al 60 % del aporte de calor a un horno (es decir, de la carga de ignición). De hecho, si se combinan la zona radiante y la de convección, las modernas plantas de craqueo a vapor utilizan del 90 al 95 % de la carga total de inyección (basándose en el poder calorífico o potencia calorífica neta inferiores del combustible). En la sección de convección, el gas de combustión se enfría hasta niveles de temperatura entre 60 y 140 °C antes de salir de la sección de convección y liberarse a la atmósfera a través de una chimenea.

- 40 El calor del gas de combustión recuperado en la zona de convección se usa normalmente para cargas de procedimiento tales como el precalentamiento del agua de alimentación a la caldera y/o las alimentaciones de hidrocarburos, la vaporización (parcial) de las alimentaciones de hidrocarburos líquidos (con o sin inyección previa de vapor de procedimiento) y el sobrecalentamiento del vapor de procedimiento y del vapor a alta presión.

- 45 La zona de extinción se coloca corriente abajo de la zona radiante a lo largo de la ruta principal del gas de procedimiento. Está compuesto por una o más unidades de intercambiador de calor, que tienen las funciones principales de enfriar rápidamente el gas de procedimiento por debajo de un nivel de temperatura máximo para detener las reacciones de craqueo, enfriar aún más el gas de procedimiento para su tratamiento posterior y recuperar de manera efectiva el calor sensible del gas de procedimiento para un uso energético posterior. Además, puede efectuarse un enfriamiento o extinción adicional mediante la inyección de líquidos, por ejemplo, mediante enfriamiento por extinción con aceite cuando se alimenta líquido de craqueo a vapor.

- 50 El calor del gas de procedimiento recuperado en la sección de extinción se usa normalmente para vaporizar el agua de alimentación a la caldera de alta presión (HP) o superalta presión (SHP) (normalmente en un intervalo de presión entre 30 y 130 bar de presión absoluta) y para precalentar la misma agua de alimentación a la caldera, antes de alimentarla a un tambor de vapor. El vapor saturado de alta presión o superalta presión generado en consecuencia puede sobrecalentarse en la zona de convección (véase más arriba) para formar vapor sobrecalentado de alta presión o superalta presión, y desde allí puede distribuirse al sistema de vapor central de la planta, proporcionando calor y energía para los intercambiadores de calor y las turbinas de vapor u otros equipos rotativos. El grado típico de sobrecalentamiento del vapor alcanzado en las zonas de convección del horno se sitúa entre 150 y 250 K por encima de la temperatura de saturación (margen del punto de rocío). En general, los hornos de craqueo a vapor pueden funcionar con vapor a alta presión (normalmente de 30 a 60 bar) o con vapor a presión superalta (normalmente de 60 a 130 bar). Para mayor claridad de la descripción de la presente invención, se utilizará vapor a alta presión para todo el intervalo de presión entre 30 y 130 bar, pero también más allá de este límite superior, ya que la presente invención incluye el uso de vapor a presiones de hasta 175 bar.

- 65 Una parte importante del tratamiento del gas de procedimiento posterior al enfriamiento por extinción es la compresión, que normalmente se realiza después de un tratamiento adicional, tal como la eliminación de hidrocarburos pesados y

agua de procedimiento, con el fin de acondicionar el gas de procedimiento para la separación. Esta compresión, también denominada compresión de gas craqueado o de procedimiento, se realiza normalmente con compresores de múltiples etapas accionados por turbinas de vapor. En las turbinas de vapor, puede usarse vapor a una presión adecuada procedente del sistema de vapor central de la planta mencionada y, por lo tanto, que comprende el vapor producido usando el calor de la sección de convección y del enfriamiento por extinción. Normalmente, en una planta de craqueo a vapor de la técnica anterior, el calor de los gases de combustión (en la zona de convección) y el calor del gas de procedimiento (en la zona de extinción) están bien equilibrados con la demanda de calor para producir una gran parte de las cantidades de vapor necesarias para calentar y accionar las turbinas de vapor. Dicho de otro modo, el calor residual puede utilizarse más o menos completamente para generar el vapor que se necesita en la planta. Puede proporcionarse calor adicional para la generación de vapor en una caldera de vapor (con ignición).

Como referencia, y para ilustrar mejor los antecedentes de la invención, en la figura 1 se ilustra una disposición de craqueo a vapor por inyección convencional en una representación parcial esquemática muy simplificada y se designa con el número 900.

La disposición de craqueo a vapor 900 ilustrada en la figura 1 comprende, tal como se ilustra con una línea en negrita, uno o más hornos de craqueo 90. Solo por concisión, a continuación se hace referencia a “un” horno de craqueo 90, mientras que las disposiciones de craqueo a vapor 900 típicas pueden comprender una pluralidad de hornos de craqueo 90 que pueden funcionar en condiciones iguales o diferentes. Además, los hornos de craqueo 90 pueden comprender uno o más de los componentes explicados a continuación.

El horno de craqueo 90 comprende una zona radiante 91 y una zona de convección 92. En otras realizaciones distintas a la mostrada en la figura 1, también varias zonas radiantes 91 pueden estar asociadas a una única zona de convección 92, etc.

En el ejemplo ilustrado, varios intercambiadores de calor 921 a 925 están dispuestos en la zona de convección 92, ya sea en la disposición o secuencia mostrada o en una disposición o secuencia diferente. Estos intercambiadores de calor 921 a 925 se proporcionan normalmente en forma de haces de tubos que pasan a través de la zona de convección 92 y se colocan en la corriente de gas de combustión de la zona radiante 91.

En el ejemplo ilustrado, la zona radiante 91 se calienta por medio de una pluralidad de quemadores 911 dispuestos en los lados del suelo y de la pared de un material refractario que forma la zona radiante 91, que solo están designados parcialmente. En otras realizaciones, los quemadores 911 también pueden proporcionarse únicamente en los lados de la pared o únicamente en el lado del suelo. Este último puede ser preferiblemente el caso, por ejemplo, cuando se usa hidrógeno puro para la ignición.

En el ejemplo ilustrado, se proporciona una corriente de alimentación gaseosa o líquida 901 que contiene hidrocarburos a la disposición de craqueo a vapor 900. También es posible usar varias corrientes de alimentación 901 de la manera mostrada o de una manera diferente. La corriente de alimentación 901 se precalienta en el intercambiador de calor 921 en la zona de convección 92.

Además, una corriente de agua de alimentación a la caldera 902 se hace pasar a través de la zona de convección 92 o, más precisamente, del intercambiador de calor 922, donde se precalienta. La corriente de agua de alimentación a la caldera 902 se introduce después en un tambor de vapor 93. En el intercambiador de calor 923 de la zona de convección 92, una corriente de vapor de procedimiento 903, que normalmente proviene de un sistema de generación de vapor de procedimiento ubicado fuera del sistema de hornos de la disposición de craqueo a vapor 900, se calienta aún más y, en el ejemplo ilustrado en la figura 1, se combina posteriormente con la corriente de alimentación 901.

Una corriente 904 de alimentación y vapor formado en consecuencia pasa a través de otro intercambiador de calor 925 en la zona de convección 92 y, a continuación, pasa a través de la zona radiante 91 en, normalmente, varios serpentines de craqueo 912 para formar una corriente de gas craqueado 905. La ilustración de la figura 1 está muy simplificada. Normalmente, una corriente 904 correspondiente se distribuye uniformemente sobre varios serpentines de craqueo 912 y el gas craqueado formado en ellos se recoge para formar la corriente de gas craqueado 905.

Tal como se ilustra adicionalmente en la figura 1, una corriente de vapor 906 puede extraerse del tambor de vapor 93 y puede (sobrecalentarse) en otro intercambiador de calor 924 en la zona de convección 92, generando una corriente de vapor a alta presión 907. La corriente de vapor a alta presión 907 puede usarse en la disposición de craqueo a vapor 900 en cualquier ubicación adecuada y para cualquier propósito adecuado, tal como no se ilustra específicamente.

La corriente 905 de gas craqueado procedente de la zona radiante 12 o de los serpentines de craqueo 912 pasa a través de una o más líneas de transferencia hasta un intercambiador por extinción 94, donde se enfría rápidamente por los motivos mencionados. El intercambiador por extinción 94 ilustrado en este representa un intercambiador (de calor) por extinción primario. Además de un intercambiador por extinción primario 94 de este tipo, también pueden estar presentes otros intercambiadores por enfriamiento.

La corriente de gas craqueado enfriado 907 se hace pasar a unidades de procesamiento adicional 95 que se muestran aquí solo de manera muy esquemática. Estas unidades de procedimiento adicional 95 pueden ser, en particular, unidades de procedimiento para lavado químico, compresión y fraccionamiento del gas craqueado, y una disposición de compresores que incluye una turbina de vapor, que puede funcionar utilizando vapor del tambor de vapor 93, que se indica con 96.

En el ejemplo mostrado, el intercambiador por extinción 94 funciona con una corriente de agua 908 desde el tambor de vapor 93. Una corriente de vapor 909 formada en el intercambiador por extinción 94 se devuelve al tambor de vapor 93.

## Objeto de la invención

Los esfuerzos en curso para reducir al menos las emisiones locales de dióxido de carbono de los procedimientos industriales también se extienden al funcionamiento de las plantas de craqueo a vapor. Como en todos los campos de la tecnología, la reducción de las emisiones locales de dióxido de carbono puede efectuarse particularmente mediante la electrificación de una parte o de todas las unidades de procedimiento posibles.

Tal como se describe en el documento EP 3 075 704 A1 en relación con un horno reformador, puede usarse una fuente de tensión además de un quemador, conectándose la fuente de tensión a los tubos del reactor de tal manera que una corriente eléctrica generada de ese modo caliente la materia prima. Las plantas de craqueo a vapor en las que se usan hornos de craqueo a vapor calentados eléctricamente se propusieron, por ejemplo, en los documentos WO 2020/150244 A1, WO 2020/150248 A1 y WO 2020/150249 A1. La tecnología de hornos eléctricos en otros contextos o en contextos más amplios se describe, por ejemplo, en los documentos WO 2020/035575 A1, WO 2015/197181 A1, EP 3 249 028 A1, EP 3 249 027 A1 y WO 2014/090914 A1, o en documentos más antiguos como, por ejemplo, DE 23 62 628 A1 DE 1 615 278 A1, DE 710 185C y DE 33 34 334 A1.

El documento WO 2018/020399 A1 describe un procedimiento para craquear una corriente de hidrocarburos mediante: la combustión de combustible en una turbina de gas en presencia de aire comprimido para producir un gas de combustión, en donde el gas de combustión impulsa una turbina para producir electricidad en un generador acoplado o funciona para alimentar un equipo rotativo acoplado; (a) alimentar una primera porción del gas de combustión a un intercambiador de calor; (b) alimentar aire ambiental al intercambiador de calor para que sea calentado por la primera porción del gas de combustión para proporcionar aire caliente; (c) alimentar un horno con combustible y una mezcla de una segunda porción del gas de combustión y el aire caliente obtenido en las etapas (c) y (d) craquear la corriente de hidrocarburos en el horno.

Según el documento US 4.617.109 A, el aire de combustión para los hornos de craqueo a vapor se precalienta mediante intercambio de calor indirecto con vapor de presión media y baja que se ha expandido a través de turbinas de vapor a partir del vapor a alta presión producido en la sección caliente de una planta de producción de etileno.

Modificar total o parcialmente el concepto de calentamiento de una planta de craqueo a vapor, es decir, utilizar el calor generado por energía eléctrica total o parcialmente en lugar del calor generado al quemar un combustible, es una intervención bastante sustancial. Como alternativa, a menudo se desean opciones de rediseño menos invasivas, especialmente cuando se modernizan las plantas existentes. Estos pueden incluir, por ejemplo, la sustitución de una turbina de vapor utilizada para accionar el compresor de gas de procedimiento o un compresor diferente, al menos parcialmente, por un accionamiento eléctrico. Si bien, como se ha mencionado, una turbina de vapor de este tipo puede funcionar parcialmente con el vapor generado por el calor residual recuperado en la sección de convección de los hornos de craqueo, normalmente deben proporcionarse calderas de vapor con ignición adicionalmente para suministrar cantidades suficientes de vapor. Por lo tanto, la sustitución de una turbina de vapor utilizada para accionar los compresores mencionados, al menos parcialmente, por un accionamiento eléctrico puede ser adecuado para reducir o evitar el funcionamiento de la caldera con ignición y, por lo tanto, reducir las emisiones locales de dióxido de carbono.

Sin embargo, tal como se explica más adelante, particularmente la electrificación de partes de tales plantas tiene una influencia significativa en el equilibrio térmico de la planta en general. Es decir, si las turbinas de vapor para accionar los compresores se sustituyen por accionamientos eléctricos, el calor residual generado en la planta, que anteriormente se utilizaba para accionar las turbinas de vapor, ya no puede utilizarse por completo. Por otro lado, si los hornos de inyección se sustituyen por hornos eléctricos, ya no estará disponible el calor residual del gas de combustión, que anteriormente se utilizaba para proporcionar vapor, alimentaciones de calentamiento, etc.

Dicho de otro modo, la sustitución de cualquier parte que emita dióxido de carbono de partes del craqueo a vapor tiene una enorme influencia en el funcionamiento general de la planta y no es simplemente una cuestión de intercambiar un componente por otro. Por lo tanto, una integración eficiente y efectiva de dichos componentes en una planta de craqueo a vapor es de suma importancia para el diseño general de la planta, en particular en lo que respecta a la gestión de la energía. Por lo tanto, este es el objeto de la presente invención.

La presente invención se refiere, a este respecto, particularmente a una situación en la que los hornos de craqueo a vapor de inyección se sustituyen en parte por hornos de craqueo a vapor calentados eléctricamente o se proporcionan hornos de craqueo a vapor calentados eléctricamente además de los hornos de craqueo a vapor de inyección, lo que da como resultado que se produzca sustancialmente menos vapor o ninguno y esté disponible en los hornos calentados eléctricamente para los consumidores de vapor, tales como turbinas de vapor u otros equipos rotativos. En el contexto de la presente invención, además, las bombas, compresores u otros equipos rotativos pueden accionarse, al menos parcialmente, mediante energía eléctrica en lugar de utilizar turbinas de vapor. La presente invención se refiere particularmente a una situación en la que la “electrificación total” de una planta de craqueo a vapor se realiza solo en parte, es decir, para los hornos alimentados eléctricamente, mientras que otros hornos solo se “electrifican parcialmente” utilizando un equipo rotativo accionado eléctricamente. En tales situaciones, tal como se ha mencionado, debe encontrarse un modo de funcionamiento adaptado, ya que la situación de producción y consumo de vapor convencionalmente bien equilibrada cambia casi por completo para las partes totalmente electrificadas, pero la situación de producción y consumo de vapor convencionalmente bien equilibrada también se desequilibra en las partes parcialmente electrificadas.

### Descripción de la invención

Con estos antecedentes, la presente invención propone un método y un sistema para realizar un craqueo a vapor con las características de las reivindicaciones independientes. Las realizaciones son el objeto de las reivindicaciones dependientes y de la descripción que sigue.

Antes de describir adicionalmente las características y ventajas de la presente invención, se explicarán con más detalle algunos términos utilizados en la descripción de la misma.

El término “vapor de procedimiento” se referirá al vapor que se añade a una alimentación de hidrocarburos antes de que la alimentación de hidrocarburos se someta a craqueo a vapor. En otra terminología, el vapor de procedimiento es parte de una alimentación correspondiente. Por lo tanto, el vapor de procedimiento participa en las reacciones de craqueo a vapor como se conoce generalmente. El vapor de procedimiento puede incluir particularmente el vapor generado por la vaporización del “agua de procedimiento”, es decir, agua que se separó previamente de una corriente mixta de hidrocarburos/agua, por ejemplo, del gas de procedimiento extraído de los hornos de craqueo a vapor o de una fracción de los mismos, particularmente mediante separación por gravedad en recipientes/coalescedores, unidades de desoxigenación o usando filtros.

El “gas de procedimiento” es la mezcla de gases que pasa a través de un horno de craqueo a vapor y, posteriormente, se somete a etapas de procesamiento tales como extinción, compresión, enfriamiento y separación. El gas de procedimiento, cuando se suministra al horno de craqueo a vapor, comprende vapor y los hidrocarburos en educto sometidos a craqueo a vapor, es decir, la “corriente de alimentación” sometida al craqueo a vapor también se denomina, en la presente memoria, gas de procedimiento. Si es necesaria una diferenciación, esto se indica con términos como “gas de procedimiento introducido en un horno de craqueo a vapor” y “efluente de gas de procedimiento” o similares. Al salir del horno de craqueo a vapor, el gas de procedimiento se enriquece en los productos de craqueo y se agota particularmente en los hidrocarburos en educto. Durante las etapas de procesamiento posteriores, la composición del gas de procedimiento puede cambiar aún más, por ejemplo, debido a que las fracciones se separan del mismo.

El término “vapor de alta pureza” se referirá, a diferencia del vapor de procedimiento, al vapor generado por la vaporización del agua purificada de alimentación de la caldera. El vapor de alta pureza se especifica normalmente según las normas habituales en el campo, tales como la norma VGB-S-010-T-00 o similares. Por lo general, no incluye el vapor generado a partir del agua de procedimiento, ya que este último normalmente contiene algunos componentes adicionales del gas de procedimiento.

El término “hidrocarburos de alimentación” se referirá a al menos un hidrocarburo que se somete a craqueo a vapor en un horno de craqueo a vapor en un gas de procedimiento. Cuando se utiliza el término “alimentación de gas”, los hidrocarburos de alimentación comprenden predominante o exclusivamente hidrocarburos con dos a cuatro átomos de carbono por molécula. Por el contrario, el término “alimentación líquida” se referirá a los hidrocarburos de alimentación que comprenden predominante o exclusivamente hidrocarburos con de cuatro a 40 átomos de carbono por molécula, situándose la “alimentación pesada” en el extremo superior de este intervalo.

El término “horno eléctrico” puede usarse generalmente para un horno de craqueo a vapor en el que el calor requerido para calentar el gas de procedimiento en los serpentines de craqueo proviene predominante o exclusivamente de electricidad. Un horno de este tipo puede incluir uno o más dispositivos calentadores eléctricos que están conectados a un sistema de suministro de energía eléctrica, ya sea mediante conexiones por cable y/o mediante una transmisión de energía inductiva. Dentro del material del dispositivo calentador, la corriente eléctrica aplicada genera una fuente de calor volumétrico mediante calentamiento por efecto Joule. Si el propio serpentín de craqueo se usa como dispositivo de calentamiento eléctrico, el calor liberado se transfiere directamente al gas de procedimiento mediante transferencia de calor por conducción convectiva. Si se utilizan dispositivos de calentamiento eléctricos independientes, el calor liberado por el calentamiento por efecto Joule se transfiere indirectamente del dispositivo de

calentamiento al gas de procedimiento, primero desde el dispositivo de calentamiento hasta los serpentines de craqueo, preferiblemente por radiación y, en menor medida, por convección, y luego de los serpentines de craqueo al gas de procedimiento mediante transferencia de calor por conducción convectiva. El gas de procedimiento puede precalentarse de varias maneras antes de suministrarse al horno de craqueo.

Un “horno de inyección» es, por el contrario, generalmente un horno de craqueo a vapor en donde el calor requerido para calentar el gas de procedimiento en los serpentines de craqueo se proporciona de manera predominante o exclusiva mediante la ignición de un combustible utilizando uno o más quemadores. El gas de procedimiento puede precalentarse de varias maneras antes de suministrarse al horno de craqueo.

El término “concepto de calentamiento híbrido” puede usarse generalmente cuando, en el craqueo a vapor, se usa una combinación de hornos eléctricos y hornos de combustión. En el contexto de la presente invención, se prevé preferiblemente que un único serpentín de craqueo se atribuya estrictamente a un horno de inyección o eléctrico, es decir, cada serpentín de craqueo se calienta exclusivamente mediante energía eléctrica o exclusivamente mediante ignición.

El término “predominantemente” puede, en la presente memoria, referirse a una proporción o un contenido de al menos el 50 %, el 60 %, el 70 %, el 80 %, el 90 % o el 95 %.

El término “equipo rotativo”, tal como se usa en la presente memoria, puede referirse a uno o más componentes seleccionados de un compresor, un soplador, una bomba y un generador, siendo tal equipo rotativo accionable por una fuente de energía mecánica tal como un motor eléctrico, una turbina de vapor o una turbina de gas.

Un “intercambiador de calor de múltiples corrientes” es un intercambiador de calor en el que, en particular, el medio a enfriar pasa a través de una pluralidad de conductos, como en un “intercambiador de línea de transferencia”, tal como se menciona, por ejemplo, en el artículo de Ullmann mencionado al principio.

#### Ventajas de la invención

Por lo que saben los inventores, no se ha descrito una optimización específica de las plantas de craqueo a vapor (también denominadas “disposiciones de craqueo a vapor” o “sistemas” a continuación en la presente memoria) que no solo contengan hornos de inyección sino también hornos eléctricos, es decir, plantas “híbridas” en el entendimiento expresado anteriormente. La bibliografía existente sobre los hornos de craqueo calentados eléctricamente se limita al diseño y funcionamiento de la propia sección de calentamiento del serpentín eléctrico. Hay poca información disponible sobre los conceptos de integración en arquitecturas completas de hornos (incluyendo las secciones de precalentamiento y extinción), ni en arquitecturas de plantas de craqueo más amplias en las que también estén presentes hornos de inyección. Esto es válido con excepciones a las publicaciones más recientes mencionadas anteriormente, es decir, los documentos WO 2020/150244 A1, WO 2020/150248 A1 y WO 2020/150249 A1, pero estas publicaciones tampoco proporcionan una solución adaptada para hacer funcionar hornos eléctricos junto con hornos de inyección.

Por lo tanto, la presente invención proporciona, por primera vez, conceptos que permiten equilibrar y distribuir las cantidades de calor en una unidad de craqueo a vapor de emisiones bajas o nulas que presenta hornos eléctricos además de hornos de inyección. Los conceptos y soluciones proporcionados según la presente invención permiten diseñar una arquitectura de planta y sistemas de hornos que cumplan los siguientes deberes o requisitos:

- Calentar un hidrocarburo/vapor premezclado en un serpentín u horno de craqueo de inyección o calentado eléctricamente desde temperaturas de entrada entre 550 y 750 °C hasta temperaturas de salida entre 800 y 900 °C.

- Precalentar y, en el caso de alimentaciones líquidas, vaporizar las corrientes de alimentación de hidrocarburos desde temperaturas de suministro típicas entre 20 y 150 °C hasta las temperaturas de entrada del serpentín mencionadas anteriormente entre 550 y 750 °C. El precalentamiento y la vaporización de la corriente de alimentación de hidrocarburos se realizarán con o sin la adición previa de vapor de procedimiento, normalmente suministrado al sistema de hornos a un nivel de temperatura entre 130 y 200 °C.

- Enfriar de manera eficaz y muy rápida el gas de procedimiento corriente abajo del serpentín de craqueo hasta niveles de temperatura de 300 a 450 °C (materias primas líquidas) o de 150 a 300 °C (materias primas gaseosas) en uno o más intercambiadores de calor de múltiples corrientes, lo que permite la recuperación de calor del gas de procedimiento.

- Equilibrar los flujos de energía entre los hornos eléctricos y de inyección, así como entre el sistema de hornos y el resto de la planta de craqueo a vapor para garantizar un funcionamiento seguro, fiable y eficiente de la planta.

Si bien las publicaciones anteriores pueden indicar que el calor de la corriente de gas de procedimiento puede recuperarse y utilizarse, por ejemplo, para el precalentamiento de la alimentación o la generación de vapor del procedimiento, no se proporciona ninguna solución sobre cómo suministrar calor de procedimiento utilizable a la gran

cantidad de otros consumidores de calor de procedimiento en una planta de craqueo a vapor y un complejo químico adyacente. Si bien puede haber sugerencias para dejar de utilizar vapor como portador de energía primaria, la cuestión sobre el suministro de calor mencionada queda sin respuesta, a menos que se utilice electricidad para todas las tareas de calentamiento de la planta. Esta última solución, bastante trivial, dista mucho de ser la óptima desde el punto de vista energético, ya que el uso de electricidad para calentamiento a bajas temperaturas provoca importantes pérdidas de exergía. En otras realizaciones de la técnica anterior, el vapor generado se sobrecalienta fuertemente, con la intención de generar electricidad en una turbina de vapor combinada con un sistema generador. Esta también es una solución cuestionable, ya que la generación de electricidad a partir del vapor producido originalmente en un sistema de reactores calentado eléctricamente nuevamente conduce a pérdidas de exergía muy altas y a una gestión de recursos no óptima.

Como los hornos de craqueo eléctricos, que se usan según la presente invención además de los hornos de inyección, no presentan una zona de convección, el vapor adecuado para accionar las turbinas de vapor se produce en menor medida o no se produce en absoluto. Por lo tanto, según la presente invención, las turbinas de vapor para la recuperación de la energía mecánica necesaria para accionar los principales compresores de gas en la sección de separación de la planta, o para generar energía eléctrica, pueden sustituirse, al menos en parte, por accionamientos eléctricos. Tal solución es la preferida según la presente invención, que por lo tanto permite un funcionamiento aún más eficaz de las plantas correspondientes. Según la presente invención, los accionamientos de grandes compresores y bombas completamente electrificados se asocian preferiblemente a dicha combinación de hornos eléctricos y de inyección, que continúan proporcionando vapor de alta pureza a otras unidades de procedimiento, pero preferiblemente incluyen una modificación de las condiciones del vapor para tener en cuenta una utilización mayoritariamente predominante de calor (en lugar de energía) de dicho vapor de alta pureza, como se indica a continuación.

La presente invención propone nuevas soluciones de procedimiento en cuanto a diseño y funcionamiento del horno y de la planta en general para la configuración descrita, es decir, una configuración en la que se proporcionan hornos eléctricos además de hornos de inyección. En palabras sencillas, la presente invención proporciona una solución a las siguientes preguntas: “¿Cómo puede lograrse un concepto operativo integrado en una planta híbrida de craqueo a vapor que mezcla hornos eléctricos y de inyección, modificando al menos en parte los productores de vapor y los consumidores de vapor? ¿Cómo pueden equilibrarse o distribuirse las cantidades de calor en un sistema de craqueo a vapor híbrido de emisiones tan bajas o nulas?” Tal como se ha mencionado, la sustitución de cualquier parte que emita potencialmente dióxido de carbono de partes del craqueo a vapor tiene una fuerte influencia en el funcionamiento general de la planta y no es una cuestión de intercambiar un componente por otro.

El uso de los dos tipos de horno según la presente invención significa usar dos fuentes de energía primaria diferentes para los hornos (electricidad o gas combustible), siendo una (gas combustible) más fácil de almacenar que la otra (electricidad). Por lo tanto, un punto central y común a todos los subsistemas de hornos empleados es la capacidad de variar la demanda de energía primaria de un horno, manteniendo constante la tasa de producción química (es decir, una carga calorífica total constante absorbida por el procedimiento en los precalentadores y serpentines para un flujo de alimentación y una composición constantes). La variación puede realizarse mediante diversos medios, por ejemplo, cambiando los puntos de ajuste de las características de la corriente (temperatura, presión, flujo), abriendo/cerrando (parcialmente) las líneas de derivación, variando los parámetros del procedimiento específicos del equipo (carga térmica, presión de funcionamiento) u otros cambios en los parámetros del procedimiento.

Además del equilibrio energético para una producción constante en cada horno, la presente invención permite mayores variaciones desplazando o modificando aún más las tasas de producción química dentro de los hornos. Con la producción variable de vapor y el almacenamiento de energía térmica inherente en el sistema de vapor, la invención conduce a la máxima flexibilidad operativa para adaptarse a los requisitos relevantes desde el interior y el exterior de la planta de craqueo a vapor. Dichos requisitos pueden consistir, por ejemplo, en minimizar temporalmente la importación de electricidad debido a la falta de disponibilidad de energía renovable, o en maximizar el suministro de calor para facilitar la puesta en marcha, con suministro de vapor, de una planta o unidad de procedimiento adyacente.

Tal como se muestra en la figura 2 que se analiza a continuación, una planta o sistema de craqueo a vapor según la presente invención puede incluir una o más unidades de procedimiento dedicadas al uso, producción o almacenamiento de fracciones ricas en hidrógeno, por ejemplo, una unidad de separación de hidrógeno, un electrolizador, una unidad de descomposición de amoníaco, una célula de combustible o un almacenamiento de gas. Esto difiere considerablemente de las unidades de craqueo a vapor convencionales, en los que normalmente no es necesario el almacenamiento intermedio de las fracciones de combustible ricas en hidrógeno, debido a que el equilibrio del gas combustible se realiza mediante la importación adicional de gas natural. En una planta según la presente invención, dependiendo del número de hornos de inyección en funcionamiento y del nivel establecido de precalentamiento del aire de combustión, el equilibrio de gas combustible de la planta puede variar desde un déficit (importación, generación, almacenamiento y descarga de gas combustible) hasta un excedente (exportación, consumo y carga de almacenamiento del gas combustible). En particular, el equilibrio de gas combustible puede variar de deficiencia a excedente y viceversa durante el funcionamiento de la planta, dependiendo de los requisitos operativos actuales, tal como se mencionó anteriormente, por ejemplo, para la estabilización de la red eléctrica.

En un sistema de craqueo a vapor con hornos exclusivamente eléctricos, una fracción rica en hidrógeno solo podría consumirse en cantidades limitadas, por ejemplo, como alimento para reactores de hidrogenación, y de lo contrario solo puede almacenarse o exportarse, ya que la planta no puede utilizar directamente el hidrógeno como portador de energía primaria. Puede hacerse un uso indirecto de una fracción rica en hidrógeno convirtiéndola en electricidad en una célula de combustible, provocando de ese modo pérdidas de energía notables. La presente invención ofrece el beneficio de usar grandes cantidades de una fracción rica en hidrógeno como un portador de energía directo, con niveles muy altos de utilización de combustible, es decir, bajas pérdidas de energía.

Diversos documentos de patente mencionan el uso potencial de hornos híbridos con calentamiento combinado de serpentines eléctricos y de inyección dentro del mismo sistema de hornos, es decir, particularmente en la misma cámara de combustión del horno. La presente invención excluye a sabiendas esta solución, ya que el estado de la técnica no ofrece ninguna solución técnica viable sobre cómo diseñar dicho horno híbrido de una manera práctica, teniendo en cuenta todos los requisitos relevantes de procedimiento, seguridad, sistemas, funcionamiento y material.

Por lo tanto, la esencia de la invención no es combinar los principios de calentamiento dentro de un horno, sino a una escala mayor de la arquitectura de la planta, e incluir múltiples medidas de flexibilidad dentro de una configuración de planta híbrida de este tipo.

Un sistema de vapor usado según la presente invención puede comprender varios colectores de vapor a diferentes niveles de presión y temperatura, con el fin de suministrar el calor a un nivel de temperatura adecuado para cada consumidor. A diferencia de las plantas de craqueo a vapor convencionales, en las que el vapor se transfiere desde colectores de vapor de mayor a menor presión a través de etapas de turbina y/o estaciones de descarga con inyección adicional de agua de alimentación a la caldera, el sobrecalentamiento moderado del vapor en los hornos, tal como se proporciona según la presente invención y se describe con más detalle a continuación, permite transferir fácilmente el vapor a niveles de presión más bajos mediante el uso de válvulas y/o boquillas. El intervalo seleccionado de sobrecalentamiento inicial del vapor evita el cambio de fase durante la expansión. Pueden usarse diferentes topologías de hornos de inyección y eléctricos y combinarse entre sí según la presente invención.

Tal como se mencionó, en las plantas de craqueo a vapor actuales, el vapor exportado de los hornos es consumido tanto por los accionamientos de las turbinas (recuperación de energía mecánica) como por los intercambiadores de calor (recuperación de energía térmica), lo que da lugar a un sistema combinado de calor y energía. Al electrificar los accionamientos de los compresores, pueden beneficiarse de la importación de electricidad renovable y reducir las pérdidas de exergía provocadas por los compresores o generadores eléctricos accionados por turbinas de vapor, que generalmente también podrían usarse. A cambio, el sistema de vapor modificado se reduce preferiblemente a un sistema de recuperación de calor. Según una realización particularmente preferida de la presente invención, y tal como se explica con más detalle a continuación, se realiza una electrificación de al menos algunos de los accionamientos del compresor, tal como se ha mencionado.

En una realización particularmente preferida, ambos tipos de horno (de inyección y eléctrico) suministran corrientes de gas craqueado que se combinan para su posterior procesamiento en la secuencia de separación corriente abajo y, preferiblemente, se comprimen juntas, utilizando un compresor accionado eléctricamente. Además, ambos tipos de horno producen y preferiblemente exportan vapor moderadamente sobrecalentado, alimentando un sistema de vapor central, que suministra calor en forma de vapor a diversos consumidores de calor del procedimiento dentro y fuera de la planta de craqueo a vapor.

Por lo tanto, la presente invención, en una realización de este tipo, presenta conceptos de horno de craqueo que tienen como objetivo específico la integración en las plantas de craqueo a vapor sin o al menos sin una recuperación de energía mecánica a gran escala a partir de las corrientes de vapor, y que aprovechan este caso de uso modificado para optimizar el funcionamiento del horno en cuanto a emisión y eficiencia energética.

La técnica anterior existente no contiene ningún ejemplo sobre cómo resolver estas tareas, porque los conceptos conocidos de integración de hornos de inyección se basan en la generación de vapor destinado a la recuperación de energía mecánica, ya que en los hornos de craqueo convencionales hay abundante calor residual disponible. Los conceptos de integración de los hornos de inyección se basan estrictamente en la existencia de una zona de convección, en la que el calor se recupera de una corriente de gas de combustión caliente. Una zona de convección de este tipo está ausente en los hornos eléctricos utilizados según la presente invención además de los hornos de inyección y, por lo tanto, la simple combinación de los hornos de inyección y los hornos eléctricos conocidos daría como resultado una situación en la que es necesaria y requerida una utilización significativa del calor residual para los hornos de inyección, pero no es necesaria ni requerida para los hornos eléctricos. La presente invención proporciona una solución también a este respecto.

En algunos documentos mencionados anteriormente, se presentan desafíos similares, ya que incluyen realizaciones que combinan hornos de inyección con un tren de separación parcialmente electrificado. Se indica la provisión de un intercambiador de alimentación-efluente, sin proporcionar información detallada sobre el diseño del aparato ni responder a las preguntas abiertas sobre la realización práctica. Las realizaciones conocidas de la técnica anterior incluyen la producción de vapor altamente sobrecalentado en la sección de convección, con condiciones de vapor de



exportación convencionales adecuadas para su uso en una turbina de vapor, por ejemplo, accionar el compresor de gas craqueado. Sin embargo, las soluciones proporcionadas según la presente invención no se proponen.

La integración eficiente y efectiva de los hornos eléctricos en una unidad de craqueo a vapor es, tal como se mencionó, de suma importancia para el diseño general de la planta, en particular en lo que respecta a la gestión de la energía. Este es particularmente el caso cuando, tal como en la presente invención, también están presentes hornos de inyección y se proporcionan hornos eléctricos además de los mismos. Una dificultad importante surge del hecho de que los hornos calentados eléctricamente no presentan una zona de convección, tal como se ha mencionado. Esto es tan importante ya que, como ya se ha mencionado, en los hornos de craqueo por inyección, del 40 al 60 % del aporte total de calor se recupera en la zona de convección y puede utilizarse para diversos fines.

En la presente memoria se describe un método de craqueo a vapor que utiliza una disposición o sistema de craqueo a vapor, cuya disposición o sistema incluye una primera unidad de horno de craqueo a vapor o una pluralidad de primeras unidades de horno de craqueo a vapor y una segunda unidad de horno de craqueo a vapor o una pluralidad de segundas unidades de horno de craqueo a vapor.

La primera unidad de horno de craqueo a vapor o cada una de la pluralidad de primeras unidades de horno de craqueo a vapor comprende uno o más hornos de craqueo a vapor de inyección. Según la invención, la segunda unidad de horno de craqueo a vapor o cada una de la pluralidad de segundas unidades de horno de craqueo a vapor comprende uno o más hornos de craqueo a vapor eléctricos. Además, según la invención, la primera unidad de horno de craqueo a vapor o cada una de la pluralidad de primeras unidades de horno de craqueo a vapor comprende medios que están adaptados para precalentar al menos una parte del aire de combustión suministrado a su horno o hornos de craqueo a vapor de inyección hasta un nivel de temperatura de al menos 100 °C. En cuanto a las ventajas particulares de la solución proporcionada por la presente invención, se hace referencia a las siguientes explicaciones, mientras que directamente a continuación se explicarán otras realizaciones ventajosas.

En el lenguaje usado en la presente memoria, el término “unidad de horno” se refiere a una disposición en la que al menos un horno de craqueo a vapor y al menos un tren de enfriamiento por extinción para el gas craqueado extraído del horno u hornos de craqueo a vapor y al menos una disposición de generación de vapor en asociación térmica con el tren o trenes de enfriamiento por extinción se proporcionan en conexión operativa. El término “horno” se usa para un serpentín en caja de craqueo a vapor que funciona eléctricamente y el equipo de precalentamiento de la alimentación y/o sobrecalentamiento del vapor asociados, así como para un serpentín en caja de craqueo a vapor de inyección (la zona de radiación) y el equipo de precalentamiento de la alimentación y/o sobrecalentamiento de vapor asociados (la zona de convección) y/o el equipo de precalentamiento del aire de combustión. Por lo tanto, si se hace referencia a un “serpentín en caja” de un horno eléctrico a continuación en la presente memoria, se hará referencia a la parte del horno en la que están dispuestos los serpentines de craqueo y en la que solo el gas de procedimiento se calienta en una medida considerable y hasta un nivel de temperatura máximo, pero no al equipo de precalentamiento para otras corrientes.

En una realización del método según la presente invención, repitiendo parcialmente lo que se acaba de explicar, en la primera unidad de horno de craqueo a vapor o en cada una de la pluralidad de primeras unidades de horno de craqueo a vapor y en la segunda unidad de horno de craqueo a vapor o cada una de la pluralidad de segundas unidades de horno de craqueo a vapor, el horno o los hornos de craqueo a vapor están o están acoplados a al menos un tren de enfriamiento por extinción en asociación térmica con al menos una disposición de generación de vapor.

En particular, en la primera unidad de craqueo a vapor, un primer horno de craqueo a vapor (de inyección) se acopla a un primer tren de enfriamiento por extinción y, en la segunda unidad de craqueo a vapor, un segundo horno de craqueo a vapor (eléctrico) se acopla a un segundo tren de enfriamiento por extinción. Cabe señalar que, si se hace referencia a “un” horno de craqueo a vapor, que preferiblemente se proporciona junto con otros aparatos en una unidad denominada “unidad de horno de craqueo a vapor” en la presente memoria, esto no excluye que puedan estar presentes otros “primeros” o “segundos” hornos o unidades de craqueo a vapor y que estos puedan acoplarse individual o grupalmente con un “primer” o “segundo” tren de enfriamiento por extinción común o individualmente con varios “primer” o “segundo” trenes de enfriamiento por extinción. Si, a continuación, se hace referencia a cualquier unidad en singular, el único motivo es simplificar el lenguaje para describir la invención sin limitar su alcance.

En el procedimiento según la presente invención, particularmente las corrientes de gas de procedimiento se hacen pasar en paralelo a través del primer horno de craqueo a vapor y el segundo horno de craqueo a vapor y, a continuación, a través del tren de enfriamiento por extinción acoplado a los mismos en cada una de las primera y segunda unidad(es) del horno de craqueo a vapor.

Usando las disposiciones de generación de vapor, se genera al menos vapor a alta presión sobrecalentado a un primer nivel de presión de entre 30 y 175 bar de presión absoluta y a un primer nivel de temperatura y no se genera vapor a un nivel de temperatura más alto que el primer nivel de temperatura, según la presente invención. El vapor sobrecalentado a alta presión en el primer nivel de presión se expande, particularmente en un sistema común de suministro y distribución de vapor, al menos en parte de manera adiabática e isentrópica hasta un segundo nivel de presión por debajo del primer nivel de presión, de tal modo que su nivel de temperatura se reduce a un segundo nivel

de temperatura, y el primer nivel de temperatura se selecciona de tal modo que cada nivel de temperatura intermedio alcanzado a niveles de presión intermedios de más de 20 bar durante la expansión adiabática e isentálpica esté entre 5 y 120 K por encima del punto de rocío de vapor al nivel de presión intermedio respectivo durante la expansión adiabática e isentálpica.

Según una realización de la presente invención, el/los horno(s) de craqueo a vapor de la primera y la segunda unidad(es) de horno de craqueo a vapor pueden funcionar simultáneamente con uno o más compresores y/o bombas como equipos rotativos, particularmente para comprimir un gas de procedimiento o “gas craqueado” extraído del/de los horno(s) de craqueo, o corrientes de gas y/o líquido derivadas de los mismos. Según una realización de este tipo, el equipo rotativo es accionado, al menos parcialmente, por energía eléctrica. El equipo rotativo puede formar parte, en particular, de uno o más trenes de separación de la disposición de craqueo a vapor que está o están particularmente asociados con la primera y la segunda unidad(es) del horno de craqueo a vapor, o puede adaptarse para preparar una o más corrientes de gas de procedimiento, o una o más corrientes de gas formadas a partir de las mismas, para separarlas en dichos uno o más trenes de separación. Un tren de separación puede estar incorporado, tal como se conoce generalmente en la bibliografía, y puede incluir etapas o equipos seleccionados entre desmetanizadores, desetanizadores, despropanizadores, divisores, unidades de hidrogenación, columnas de absorción, columnas de rectificación, unidades de refrigeración, disposiciones de adsorción e intercambiadores de calor.

El primer nivel de temperatura al que el vapor sobrecalentado a alta presión se somete a dicha expansión adiabática e isentálpica según la presente invención se selecciona preferiblemente de tal modo que cada nivel de temperatura intermedio alcanzado a niveles de presión intermedios de más de 20 bar durante el procedimiento de expansión adiabática e isentálpica esté entre 10 y 100 K, particularmente entre 20 y 80 K, por encima de dicho punto de rocío del vapor al nivel de presión intermedio respectivo durante la expansión adiabática e isentálpica.

Dicho de otro modo, en todos los casos, el vapor expandido se mantiene, seleccionando el primer nivel de temperatura según la presente invención, a niveles de sobrecalentamiento moderados, mientras que simultáneamente se mantiene a una distancia suficiente de la curva del punto de ebullición durante todo el procedimiento de expansión para todos los niveles de presión intermedios por encima de 20 bar. Esto último es particularmente relevante en el caso de una expansión que comience a partir de un primer nivel de presión de más de 40 bar, ya que en tales casos la región bifásica puede alcanzarse o al menos superarse temporalmente. Esto se evita según la presente invención. Además, al limitar el sobrecalentamiento del vapor según la presente invención, se reduce la carga de intercambio de calor a altas temperaturas en el procedimiento de generación de vapor no esencial, aumentando de ese modo la disponibilidad de recursos de calentamiento a alta temperatura para fines esenciales de calentamiento del procedimiento, por ejemplo, el precalentamiento de la alimentación.

El vapor de alta presión sobrecalentado en el primer nivel de presión y en el primer nivel de temperatura preferiblemente no incluye el vapor generado a partir del agua de procedimiento y preferiblemente incluye solo el vapor generado a partir del agua de alimentación a la caldera. El vapor de alta presión sobrecalentado es, por lo tanto, preferiblemente vapor de alta pureza tal como se ha definido anteriormente. El vapor de alta presión sobrecalentado no se usa preferiblemente para formar una o más corrientes de gas de procedimiento, es decir, no participa en las reacciones de craqueo a vapor.

Dicho de otro modo, según la presente invención, solo se genera y exporta una corriente de vapor de alta pureza moderadamente sobrecalentada a un nivel de presión correspondiente, es decir, el primer nivel de presión, y el término “exportada” se refiere a este respecto a una extracción de la disposición de generación de vapor y no, o no necesariamente, de un sistema global. Este vapor también puede denominarse vapor “seco”, ya que su nivel de sobrecalentamiento se selecciona esencialmente para evitar la condensación, lo que puede, por ejemplo, dar como resultado abrasión durante el transporte del vapor. Para cualquier expansión adiabática e isentálpica que se pueda aplicar hasta una presión mínima, es decir, el segundo nivel de presión, el margen de punto de rocío resultante del flujo de vapor a cualquier nivel de presión intermedio por encima de 20 bar durante la expansión está en los intervalos ya mencionados anteriormente.

La presente invención propone, con las medidas ya mencionadas anteriormente y que se describen particularmente con más detalle a continuación en relación con otras realizaciones, conceptos novedosos que rediseñan los hornos de craqueo a vapor de inyección en el contexto de diseños de plantas o sistemas de craqueo a vapor parcialmente electrificados e “híbridos”.

La solución para limitar el sobrecalentamiento del vapor a alta presión, según una realización de la invención, rompe con el estado actual de la técnica en los diseños de unidades de craqueo a vapor basados en hornos de inyección convencionales y grandes equipos rotativos accionados por turbinas. Esta elección tecnológica representa la solución más eficiente en el contexto de los diseños de unidades de craqueo a vapor parcialmente electrificados, “parcialmente electrificados” en relación con algunos, pero no todos, los hornos de craqueo a vapor y, según las realizaciones, con los equipos rotativos, mientras que algunos de los hornos de craqueo a vapor todavía se proporcionan como hornos de inyección según la presente invención.

De hecho, la práctica actual de producir vapor a alta presión altamente sobrecalentado en la sección del horno (con márgenes de punto de rocío normalmente superiores a 150 K en la salida del horno) está impulsada por la abundancia de energía térmica residual en la sección de convección y su posible uso en turbinas de vapor para accionar compresores y bombas o generadores eléctricos. El vapor a presión reducida extraído de las extracciones de las turbinas o de las salidas de las turbinas se usa además para proporcionar calor de procedimiento a diversos niveles. Por lo tanto, en las disposiciones clásicas, la flexibilidad para generar y usar vapor es limitada.

En particular, el/los horno(s) de craqueo eléctrico(s) usado(s) según la presente invención se proporcionan sin una zona de convección. Si se hace referencia aquí a un horno de craqueo eléctrico “sin zona de convección”, esto se refiere a la ausencia de una zona en la que se recupere continuamente una cantidad significativa de, normalmente, más de 500 kW de calor de procedimiento de una corriente de gas de combustión. En otros términos, un horno de craqueo eléctrico sin una zona de convección es un horno de craqueo sin emisión de dióxido de carbono de las corrientes de gases de combustión que se enfrían deliberadamente para recuperar de forma continua cantidades significativas de normalmente más de 500 kW de calor de procedimiento. Sin embargo, el sistema de hornos puede incluir fuentes de emisión de dióxido de carbono para fines ajenos al procedimiento, por ejemplo, quemadores piloto relacionados con la seguridad en la salida de las chimeneas de evacuación de gas. Sin embargo, estos proporcionan cantidades significativamente menores de calor generalmente no recuperable.

Por lo tanto, en general, en el/los serpentín/serpentines en caja del horno eléctrico durante la operación de craqueo de hidrocarburos, preferiblemente se transfiere una cantidad de calor no superior a 1000 kW como calor sensible a corrientes distintas de la corriente de gas de procedimiento que pasa o se extrae del/de serpentín/serpentines en caja del horno de craqueo eléctrico según la presente invención. Estas otras corrientes pueden ser, por ejemplo, corrientes de vapor de alta pureza. Expresado de otra manera, dicho calor transferido a corrientes distintas del gas de procedimiento dentro del serpentín en caja también puede ser no más del 5 % o no más del 3 % del calor transferido al gas de procedimiento dentro del mismo serpentín en caja. En cuanto al término “serpentín en caja”, se hace referencia a las explicaciones ya dadas anteriormente.

En los trenes de separación de unidades de craqueo utilizados para los hornos de craqueo según la presente invención en un sistema parcialmente electrificado, el uso de accionamientos de compresores eléctricos en lugar de turbinas de vapor conduce a una reducción de las pérdidas de exergía. Por lo tanto, después de retirar las turbinas de vapor, no hay un uso más eficiente del vapor a alta presión altamente sobrecalentado en el tren de separación. Por lo tanto, al reducir el nivel de sobrecalentamiento, la presente invención permite usar una gran porción de la energía térmica recuperada en las secciones de enfriamiento y convección de los hornos para el precalentamiento necesario de la corriente principal del procedimiento o sus componentes, es decir, los hidrocarburos de alimentación y/o el vapor del procedimiento. Además, y tal como se describe más adelante, tal energía térmica puede usarse en el precalentamiento del aire de combustión con el que se quema un combustible.

Por lo tanto, según una realización particularmente preferida de la presente invención, una o más corrientes de procedimiento, antes de pasar a través de uno o más serpentines en caja de horno de craqueo del/de los horno(s) de craqueo de la primera y/o segunda unidad(es) de horno de craqueo, o los hidrocarburos de alimentación y/o el vapor de procedimiento utilizados para generar las una o más corrientes de procedimiento, o el aire usado en la combustión, se calientan al menos en parte utilizando el calor extraído de una o más corrientes de procedimiento corriente abajo de dichos serpentín/serpentines, es decir, del “gas de procedimiento” o “gas craqueado” formado en ellas.

El calor extraído de una o más corrientes de procedimiento corriente abajo de dicho(s) serpentín/serpentines en caja del horno de craqueo puede extraerse particularmente, al menos en parte, de una o más corrientes de procedimiento corriente abajo de dicho(s) serpentín/serpentines en caja en uno o más intercambiadores de calor de alimentación-efluente directos, es decir, uno o más intercambiadores de calor en los que, o en cada uno de los cuales, la corriente de procedimiento o una de las corrientes de procedimiento corriente abajo de dicho(s) serpentín/serpentines en caja está o se ponen en contacto térmico directo con una o más corrientes de procedimiento antes de pasar a través de dicho(s) serpentín/serpentines en caja, o los hidrocarburos de alimentación y/o el vapor de procedimiento usado para generar una o más corrientes de procedimiento, entendiéndose en la presente memoria un “contacto térmico directo” como el que se realiza mediante una transferencia de calor a través de una o más capas de superficie de contacto (metálicas) de uno o más intercambiadores de calor de alimentación-efluente directos, pero no mediante una transferencia de calor a través de un fluido de intercambio de calor intermedio.

Alternativa o adicionalmente, el calor extraído de una o más corrientes de procedimiento corriente abajo de los serpentines en caja de horno de craqueo del/de los horno(s) de craqueo de la primera y/o segunda unidad(es) de horno de craqueo puede extraerse al menos en parte de una o más corrientes de procedimiento corriente abajo de dicho(s) serpentín/serpentines en caja utilizando vapor que se usa posteriormente para calentar la una o más corrientes de procedimiento antes de pasar a través de dicho(s) serpentín/serpentines en caja, o los hidrocarburos de alimentación y/o el vapor de procedimiento utilizados en la generación de la una o más corrientes de procedimiento.

En una realización particularmente preferida de la presente invención, al menos una parte del precalentamiento de la alimentación, es decir, del calentamiento de la una o más corrientes de procedimiento, antes de pasar a través de los serpentines en caja de horno del/de los horno(s) de craqueo de la primera y segunda unidad(es) del horno de craqueo,

o los hidrocarburos de alimentación y/o el vapor de procedimiento utilizados en la generación de la una o más corrientes de procedimiento, puede realizarse contra vapor a alta presión saturado o moderadamente sobrecalentado en un intercambiador de calor de múltiples corrientes de la disposición de generación de vapor.

En todas las realizaciones de la presente invención, el sobrecalentamiento moderado en el intervalo dado, es decir, en el primer nivel de temperatura, permite además un suministro de calor sencillo y flexible para procesar a los consumidores de calor, ya que la distribución a los consumidores a diferentes niveles de temperatura puede realizarse simplemente mediante la expansión monofásica, adiabática e isentálpica del vapor moderadamente sobrecalentado exportado por los hornos, sin necesidad de estaciones de descarga para niveles de vapor completos, en particular mediante la inyección adicional de agua de alimentación a la caldera para desobrecalentamiento y/o fases de turbina como en las disposiciones clásicas. En las disposiciones clásicas, tales medidas son necesarias ya que los parámetros del vapor y la expansión del vapor del vapor sobrecalentado se rigen en gran medida por los requisitos de vapor del equipo rotativo accionado por ellas.

La disposición de generación de vapor se usa particularmente para generar vapor saturado y para sobrecalentar moderadamente el vapor saturado después de eso. La generación de vapor saturado puede, según la presente invención, realizarse predominantemente o en su totalidad en uno o más trenes de enfriamiento por extinción, es decir, en uno o más intercambiadores de extinción primarios y/o secundarios dispuestos corriente abajo de los serpentines en caja de horno de craqueo del/de los horno(s) de craqueo de la primera y segunda unidad(es) de horno de craqueo. Si bien el sobrecalentamiento moderado del vapor previsto según una realización preferida de la presente invención puede realizarse predominantemente o en su totalidad en una o más secciones de convección para el/los horno(s) de craqueo de inyección, particularmente en los haces de intercambiadores de calor ubicados entre los haces de precalentamiento de alimentación, puede realizarse en el/los tren(es) de enfriamiento por extinción en el caso de las segundas unidad(es) de horno(s) de craqueo (eléctrico(s)). El sobrecalentamiento del vapor puede realizarse en cada caso en una o más etapas de sobrecalentamiento, con o sin inyección intermedia de agua de alimentación a la caldera, particularmente en el caso de calentamiento en una zona de convección. Puede realizarse un determinado grado de precalentamiento del agua de alimentación a la caldera en un haz de economizadores (dispuesto en una sección de convección de un horno de inyección) y/o en uno o más intercambiadores de extinción secundarios o terciarios (dispuestos en un tren de enfriamiento por extinción de una unidad de horno).

Los términos “primario”, “secundario” y “terciario” se utilizan, en relación con los intercambiadores de extinción, esencialmente para referirse a su posición en el tren de enfriamiento por extinción, aunque puede no estar presente una asociación fija en cuanto a servicio del procedimiento. El estado actual de la técnica para los hornos de alimentación líquidas prevé dos intercambiadores de extinción, mientras que normalmente se proporcionan tres intercambiadores de extinción para los hornos de alimentación de gas. En los diseños de hornos más antiguos, suelen encontrarse configuraciones con un solo intercambiador de extinción. En los diseños de hornos convencionales, los intercambiadores primarios normalmente se enfrían al evaporar el agua de alimentación a la caldera. Los intercambiadores de extinción secundarios pueden vaporizar (parcialmente) el agua de alimentación a la caldera o precalentar el agua de alimentación a la caldera. Los intercambiadores de extinción terciarios normalmente precalientan el agua de alimentación a la caldera. Las excepciones notables son aquellas en las que se utilizan intercambiadores de extinción para precalentar la alimentación.

Según la presente invención, el tren de enfriamiento por extinción funciona, al menos para el/los horno(s) eléctrico(s), preferiblemente para comprender al menos dos etapas de enfriamiento distintas, en donde, en una primera de las etapas de enfriamiento, al menos una parte de la corriente de gas de procedimiento extraída del horno de craqueo eléctrico se enfría contra la vaporización del agua de alimentación a la caldera a un nivel de presión absoluta de entre 30 y 175 bar, particularmente entre 60 y 140 bar, más particularmente entre 80 y 125 bar, y en donde en una segunda de las etapas de enfriamiento, al menos una parte de la corriente de gas de procedimiento extraída del horno de craqueo eléctrico se enfría contra una mezcla sobrecalentada de hidrocarburos de alimentación y vapor de procedimiento utilizada para formar la corriente de gas de procedimiento que, de ese modo, se calienta hasta un nivel de temperatura de entre 350 y 750 °C, particularmente entre 400 y 720 °C, más particularmente entre 450 y 700 °C, es decir, el nivel de temperatura de entrada típico de un horno de craqueo.

La presente invención difiere de todos los sistemas de integración de hornos de inyección conocidos, al menos en lo que respecta al horno eléctrico, por el hecho de que no se realiza un precalentamiento de la alimentación ni un sobrecalentamiento de vapor contra los gases de combustión (debido a la ausencia de una zona de convección). Contrariamente a los conceptos de integración de hornos eléctricos propuestos anteriormente, la presente invención prevé explícitamente el uso de vapor como un portador de energía primario, más específicamente como un portador de calor para procesar los consumidores de calor a diversos niveles de temperatura. Las condiciones de generación y exportación de vapor están diseñadas específicamente para adaptarse al propósito previsto de distribución del calor dentro de la planta de craqueo a vapor y un complejo químico adyacente.

Además, las topologías utilizadas en las realizaciones según la presente invención para el precalentamiento de hidrocarburos de alimentación, vapor de procedimiento y agua de alimentación a la caldera hasta niveles de temperatura de aproximadamente 300 °C, utilizando únicamente vapor a alta presión saturado y/o moderadamente sobrecalentado y sus condensados resultantes, representan una solución de la invención para cumplir estas cargas

de procedimiento en un horno eléctrico, en donde no está disponible calor residual adicional de los gases de combustión (a diferencia de los hornos de inyección). Estas soluciones tienen el beneficio de usar un medio térmico directamente disponible en el horno, lo que reduce las necesidades de tuberías y minimiza las pérdidas de exergía al mantener pequeñas las diferencias de temperatura en los intercambiadores de calor y, preferiblemente, realizar un subenfriamiento de los condensados formados para una máxima recuperación de calor.

En cuanto al comportamiento dinámico, la posibilidad de equilibrar y amortiguar los cambios en el consumo de hidrógeno u otro gas combustible con el sistema de vapor (véase más adelante para obtener más detalles) facilita la integración de tales plantas de craqueo a vapor en complejos industriales alimentados preferiblemente con electricidad renovable.

Al limitar el uso de vapor únicamente con fines de procesamiento de calor y establecer los parámetros del vapor en consecuencia, según una realización correspondiente de la presente invención, el sistema de vapor puede funcionar de manera flexible (en relación con la presión y la temperatura) y puede usarse además como un almacenamiento intermedio de energía temporal, por ejemplo, variando el sobrecalentamiento del vapor y/o los niveles de presión durante el funcionamiento. Esto se ve facilitado por el hecho de que el vapor producido no se usa para la generación de energía en las turbinas de vapor, que son menos tolerantes con respecto a las variaciones de las condiciones del vapor que los intercambiadores de calor a base de vapor.

La variación de la importación de energía eléctrica a los hornos eléctricos puede realizarse de diferentes maneras para las diversas realizaciones, por ejemplo, modificando el punto de ajuste de las temperaturas de salida controladas de intercambiadores de calor específicos. En un ejemplo, una variación de este tipo puede lograrse reduciendo la temperatura de salida de un intercambiador de calor alimentado por vapor, lo que dará como resultado un aumento de la importación total de energía eléctrica a otros intercambiadores de calor y/o al calentamiento de los serpentines para mantener la misma carga de producción química del horno. En las realizaciones con sobrecalentamiento de vapor eléctrico, la variación puede realizarse de manera sencilla variando la carga.

Según la presente invención, por lo tanto, preferiblemente no se usa vapor generado por una o más disposiciones de generación de vapor en los accionamientos de turbinas de vapor que suministran potencias de eje de más de 1 MW, y preferiblemente no se usa en absoluto en turbinas de vapor u otros equipos rotativos tal como se definieron anteriormente. Dicho de otro modo, según la presente invención no se utilizan turbinas de vapor y al menos no se utilizan turbinas de vapor que suministren potencias de eje de más de 1 MW a las que se suministre vapor desde la(s) disposición/disposiciones de generación de vapor.

Según la presente invención, como tren de enfriamiento por extinción se usa preferiblemente un tren de enfriamiento por extinción que comprende un intercambiador de extinción primario y un intercambiador de extinción secundario, usándose el intercambiador de extinción primario para realizar al menos una parte de una primera etapa de enfriamiento y el intercambiador de extinción secundario para realizar al menos una parte de una segunda etapa de enfriamiento o viceversa. Las realizaciones correspondientes de la presente invención se explican particularmente con más detalle con referencia a los dibujos adjuntos.

Según la presente invención, en la disposición de generación de vapor puede usarse un intercambiador de calor de flujo múltiple en donde el calor se transfiere de la corriente de gas de procedimiento extraída de lo(s) serpentín/serpentines en caja del/de los horno(s) de craqueo eléctrico(s) a una corriente de agua de alimentación a la caldera y/o a una corriente de vapor utilizada para formar el vapor sobrecalentado a alta presión y/o un sobrecalentador de vapor eléctrico. Además, al menos una parte de los hidrocarburos de alimentación utilizados para formar la mezcla sobrecalentada de hidrocarburos de alimentación y vapor de procedimiento, es decir, la corriente de procedimiento que luego se craquea, puede precalentarse usando al menos una parte de la corriente de gas de procedimiento extraída de dicho(s) serpentín/serpentines en caja en un intercambiador de calor de flujo múltiple que se denomina entonces intercambiador de alimentación-efluente.

El nivel de sobrecalentamiento del vapor proporcionado según la presente invención es muy adecuado si el flujo de vapor exportado desde el sistema de hornos está destinado únicamente a suministrar calor de procedimiento a los consumidores. Mediante la mera expansión isentálpica, puede reducirse sin un cambio de fase en los niveles de presión y temperatura requeridos por el evacuador de calor, es decir, los “consumidores” de calor. Según la presente invención, por lo tanto, preferiblemente no se usa vapor generado por una o más disposiciones de generación de vapor en los accionamientos de turbinas de vapor que suministran potencias de eje de más de 1 MW, y preferiblemente no se usa en absoluto en accionamientos de turbinas de vapor u otros equipos rotativos. En particular, según la presente invención, puede realizarse una expansión de vapor común para el vapor a alta presión moderadamente sobrecalentado generado usando el calor de los hornos de inyección y eléctricos. Sin embargo, las corrientes de vapor correspondientes también pueden expandirse alternativamente en unidades independientes.

En particular, el precalentamiento del aire de combustión usado para la ignición de uno o más hornos de craqueo de inyección, que se proporciona según la presente invención, conduce a un menor consumo de gas combustible y a una reducción de las emisiones de gases de combustión. Esto se considera más eficiente que usar vapor sobrecalentado convencionalmente de hornos sin precalentamiento del aire para producir electricidad y, por lo tanto, se proporciona

según una realización de la presente invención usando cualquier medio adecuado y dando como resultado un nivel de temperatura del aire de combustión superior a 100 °C, preferiblemente superior a 150 °C, más preferiblemente superior a 200 °C, lo más preferiblemente superior a 300 °C y, por ejemplo, hasta 1000 °C. Tal precalentamiento del aire de combustión puede ser menos ventajoso en las disposiciones clásicas que dependen de la gran cantidad de calor de las corrientes de gas de combustión necesarias para la producción de vapor.

En una realización, el aire de combustión se precalienta fuera de la ruta de los gases de combustión, lo que también se denomina precalentamiento del aire de combustión “externo”. En esta realización, el precalentamiento del aire de combustión se realiza preferiblemente usando vapor saturado producido en el uno o más trenes de enfriamiento por extinción y, por lo tanto, en uno o más intercambiadores de calor de múltiples corrientes que forman parte de la disposición de generación de vapor. Alternativamente, el vapor moderadamente sobrecalentado puede usarse solo o además del vapor saturado en el precalentamiento del aire de combustión. Además, el vapor externo tomado, por ejemplo, de uno de los colectores de vapor centrales de una planta, también puede usarse para al menos parte del procedimiento de precalentamiento del aire de combustión. Al menos una parte de una sección de precalentamiento del aire puede evitarse por al menos una fracción del flujo total de gas, para poder modificar la temperatura de precalentamiento del aire de combustión resultante durante el funcionamiento.

En una realización diferente, el aire de combustión se precalienta en la ruta de los gases de combustión, lo que también se denomina precalentamiento del aire de combustión “interno”. En esta realización, un sistema de precalentamiento del aire de combustión puede comprender uno o más intercambiadores de calor de múltiples corrientes con gas de combustión como medio caliente y aire de combustión como medio frío. En el caso de un precalentamiento del aire de combustión de múltiples etapas, también es posible recuperar el calor del gas de combustión para otros fines del procedimiento, entre dos etapas de precalentamiento del aire de combustión. Al igual que en el caso del precalentamiento del aire de combustión (externo) fuera de la ruta de los gases de combustión, al menos una parte de la sección de precalentamiento del aire de combustión puede desviarse en este caso al menos una fracción del flujo total de gas, para poder modificar la temperatura de precalentamiento del aire de combustión resultante durante el funcionamiento.

Para el precalentamiento del aire de combustión interno y/o externo, puede proporcionarse un dispositivo de compresión del aire de combustión, normalmente ubicado corriente arriba de la sección de precalentamiento del aire de combustión, que compensa la caída de presión de los intercambiadores de precalentamiento del aire de combustión. La presión preferida en el lado de ignición de la sección radiante o del serpentín en caja se encuentra en el intervalo típico ligeramente subatmosférico, como en los hornos de craqueo convencionales sin precalentamiento del aire. En consecuencia, un dispositivo compresión/soplador de gases de combustión adicional puede estar ubicado preferiblemente corriente abajo de la salida de la sección de convección.

La disposición o el sistema proporcionados según la presente invención pueden funcionar preferiblemente de manera flexible desde el punto de vista energético, es decir, una carga de producción química dada de un horno puede proporcionarse a diferentes tasas de consumo total de gas combustible o electricidad y, en particular, también implica el uso de diferentes cantidades de gas que se someten a craqueo a vapor en forma de la una o más corrientes de procedimiento. Las diferencias correspondientes en la entrada de energía química o eléctrica pueden equilibrarse mediante una salida de energía variable en forma de vapor, variando el primer nivel de temperatura y/o la cantidad de vapor exportado, es decir, la cantidad de vapor sobrecalentado a alta presión generado. Dicho de otro modo, según una realización de la presente invención, la disposición o sistema de craqueo a vapor funciona, en diferentes modos de funcionamiento, usando diferentes tasas de consumo total de gas combustible, en el caso de los hornos de inyección, o diferentes cantidades de electricidad, en el caso de los hornos eléctricos, y particularmente también diferentes cantidades de gas proporcionadas en forma de una o más corrientes de procedimiento.

El método según la presente invención puede incluir adicionalmente que un gas combustible rico en hidrógeno se libere al menos temporalmente de una unidad de electrólisis, una unidad de descomposición de amoníaco y/o una unidad de almacenamiento de hidrógeno (cada una de las cuales puede ser parte del sistema o disposición según la presente invención) para suministrar al menos temporalmente el gas combustible adicional necesario a la primera unidad de horno de craqueo a vapor o a al menos una de la pluralidad de primeras unidades de craqueo a vapor y/o para suministrar a otros consumidores de hidrógeno.

En particular, cuando se genera un excedente al menos temporal de un gas combustible rico en hidrógeno a partir de una unidad de separación de hidrógeno (que puede formar parte del sistema o disposición según la presente invención), en comparación con el consumo total de hidrógeno en la primera unidad de horno de craqueo a vapor o al menos una de la pluralidad de primeras unidades de craqueo a vapor y/o en otros consumidores de hidrógeno, dicho excedente de un gas combustible rico en hidrógeno se alimenta al menos temporalmente a una unidad de célula de combustible y/o a una unidad de almacenamiento de hidrógeno (que puede ser parte del sistema o disposición según la presente invención).

Tal como se menciona, según la presente invención se usan dos fuentes de energía primaria diferentes (electricidad o gas combustible), siendo una (gas combustible) más fácil de almacenar que la otra (electricidad). Según la presente invención, el primer horno de craqueo a vapor (de inyección), en un primer modo de funcionamiento, puede funcionar

con una entrada de energía más alta, en comparación con un segundo modo de funcionamiento, mientras que el segundo horno de craqueo a vapor (eléctrico) puede, en el primer modo de funcionamiento, funcionar con una entrada de energía más baja, en comparación con el segundo modo. Esto permite variar las fuentes de energía y, en particular, permite adaptar el funcionamiento a las condiciones de suministro cambiantes, tales como la cantidad de electricidad y gas combustible disponibles y/o sus costes respectivos.

Según una realización adicional de la presente invención, un gas combustible usado para la ignición de uno o más hornos de craqueo de inyección puede calentarse hasta un nivel de temperatura que varía durante el funcionamiento del horno.

Un gas combustible usado para calentar uno o más hornos de craqueo de inyección tiene preferiblemente un contenido de hidrógeno entre el 0 y el 100 % en peso, preferiblemente entre el 20 y el 100 % en peso, lo más preferiblemente entre el 50 y el 100 % en peso. En esta realización, en caso de un contenido de hidrógeno más alto, el gas combustible usado para calentar uno o más hornos de craqueo de inyección también puede proporcionarse, al menos en parte, usando hidrógeno generado en una unidad de electrólisis o descomposición de amoníaco cuyo funcionamiento también puede ser parte del método proporcionado según la invención.

Según la presente invención, las emisiones de gases de efecto invernadero de la(s) unidad(es) de horno de inyección utilizadas pueden reducirse entre un 20 % y un 100 %, preferiblemente entre un 30 % y un 100 %, más preferiblemente entre un 50 % y un 100 %, en comparación con los hornos de inyección convencionales, en este contexto, un horno de inyección convencional que funciona sin precalentar el aire de combustión y utiliza una mezcla de combustible convencional de gas de cola (de la sección fría de la unidad de craqueado) y gas natural importado.

Para obtener más detalles en relación con el sistema de craqueo a vapor proporcionado según la presente invención y las realizaciones preferidas del mismo, se hace referencia a las explicaciones relacionadas con el método de la invención y sus realizaciones preferidas anteriores. Ventajosamente, la disposición propuesta está adaptada para llevar a cabo un método en al menos una de las realizaciones explicadas anteriormente con más detalle.

Antes de pasar a la descripción más específica de las realizaciones de la presente invención con referencia a las figuras, se hará referencia nuevamente a algunos detalles y conceptos de la presente invención y a algunas realizaciones.

Si bien puede parecer contraproducente o ineficaz expandir el vapor exportado sin recuperación de energía mecánica, hay que tener en cuenta que el suministro de energía primaria del horno reivindicado es muy reducido en comparación con los hornos de inyección convencionales y que se suministra preferiblemente en forma valiosa de una fracción rica en hidrógeno o electricidad, preferiblemente de fuentes renovables. En ese sentido, la presente invención ofrece una ruta adicional para reorganizar el equilibrio energético en los hornos de inyección (menos producción de vapor, más precalentamiento de la alimentación) e incluir los hornos eléctricos. La presente invención también va más allá de los conceptos conocidos al centrarse estrictamente en un consumo mínimo de energía primaria en la sección del horno y adaptar el diseño/funcionamiento del horno a topologías de trenes de separación altamente electrificados.

De hecho, aumentar el nivel de sobrecalentamiento del vapor en tales hornos conduciría a un aumento de su demanda global de energía primaria, lo que no puede compensarse por completo recuperando energía mecánica o electricidad en una turbina situada corriente abajo. Teniendo en cuenta el rendimiento no ideal del procedimiento, es, por lo tanto, desde una perspectiva de sistemas (en gran medida) y desde una perspectiva de procedimiento/energía (en menor medida) más eficiente expandir adiabáticamente e isentálpicamente el vapor moderadamente sobrecalentado requerido por los consumidores de calor del procedimiento. Esto es aún más cierto para las plantas con generadores con pérdidas adicionales en el suministro de gas combustible, por ejemplo, cuando el hidrógeno que se somete a ignición en los hornos es proporcionado, al menos parcialmente, por unidades de electrólisis y/o unidades de descomposición de amoníaco.

Al limitar el uso de vapor para fines de procesamiento de calor y establecer los parámetros del vapor en consecuencia, el sistema de vapor puede funcionar de manera flexible y puede usarse además como un almacenamiento intermedio de energía temporal, por ejemplo, variando el sobrecalentamiento del vapor y/o los niveles de presión durante el funcionamiento. Esto se ve facilitado por el hecho de que el vapor producido no se usa para la generación de energía en las turbinas de vapor, que son menos tolerantes con respecto a las variaciones de las condiciones del vapor que los intercambiadores de calor a base de vapor.

Durante el funcionamiento de la planta, la presente invención permite, por ejemplo, modificar la temperatura de precalentamiento del aire, por ejemplo, desviando una determinada fracción del aire de combustión alrededor de uno o más intercambiadores de precalentamiento. Esto afectará al consumo de gas combustible, así como a la producción de vapor, y puede utilizarse para adaptar la gestión energética temporal de la planta. Esto puede ser de gran interés si los hornos utilizan gas combustible que proviene parcialmente de unidades electrolizadoras (o unidades de descomposición de amoníaco) o si se combinan con hornos eléctricos en una arquitectura de planta híbrida. La producción de vapor y el sobrecalentamiento también pueden adaptarse variando la inyección opcional de agua de alimentación a la caldera entre dos secciones de sobrecalentamiento.

En términos generales, las variaciones de la producción de vapor pueden realizarse según la presente invención mediante diversos medios, por ejemplo, cambiando los puntos de ajuste de las características de la corriente (temperatura, presión, flujo), abriendo/cerrando (parcialmente) las líneas de derivación, variando los parámetros del procedimiento específicos del equipo (carga térmica, presión de funcionamiento) u otros cambios en los parámetros del procedimiento.

Además, los niveles de presión en los sistemas colectores de vapor fuera de los sistemas de hornos pueden variarse en las realizaciones de la presente invención durante el funcionamiento para crear una capacidad de almacenamiento intermedio adicional en cuanto a la cantidad total de vapor. De hecho, la capacidad total de almacenamiento de calor resulta de la suma del inventario de vapor y la capacidad calorífica correspondiente en la unidad de craqueo a vapor, es decir, que incluye todas las líneas de colectores de vapor entre los hornos y los consumidores de vapor a diferentes niveles de presión.

Resumiendo nuevamente lo dicho anteriormente, la presente invención propone conceptos novedosos que garantizan que se cumplan todas las cargas o requisitos enumerados anteriormente para los hornos de craqueo a vapor en el contexto de diseños de unidades de craqueo a vapor "híbridas" parcialmente electrificadas.

La solución para limitar el sobrecalentamiento del vapor a alta presión sobrecalentado proporcionado según una realización de la invención, rompe particularmente con el estado actual de la técnica en los diseños de unidades de craqueo a vapor actuales basados en hornos únicamente de inyección y grandes maquinarias rotativas accionadas por turbinas. Esta elección tecnológica representa una solución muy eficiente en el contexto de los diseños "híbridos".

De hecho, la práctica actual de producir vapor a alta presión altamente sobrecalentado en la sección del horno (donde los márgenes de punto de rocío son normalmente superiores a 150 K en la salida del horno) está impulsada por la abundancia de energía térmica residual en la sección de convección del horno y su posible uso en turbinas de vapor para accionar compresores y bombas. El vapor a presión reducida extraído de las extracciones de las turbinas o de las salidas de las turbinas se usa además para proporcionar calor de procedimiento a diversos niveles.

En los trenes de separación de unidades de craqueo electrificados, el uso de accionamientos de compresores eléctricos en lugar de turbinas de vapor conduce a la reducción de las pérdidas de exergía en la planta de craqueo a vapor. Además, no hay un uso más eficiente del vapor a alta presión altamente sobrecalentado en el tren de separación. Por lo tanto, al reducir el nivel de sobrecalentamiento, la presente invención conduce al uso de una gran porción de la energía térmica recuperada en la sección de extinción para el precalentamiento necesario de la mezcla de hidrocarburos de alimentación/vapor de procedimiento, ya sea en un intercambiador de calor de alimentación-efluente directo o indirectamente mediante la generación de vapor a alta presión sobrecalentado y el uso de ese vapor en las etapas de precalentamiento de la alimentación.

Al maximizar el uso del calor de extinción para el precalentamiento de la alimentación, se reduce la importación total de energía eléctrica a un horno eléctrico, lo que reduce el coste operativo del horno, facilita la integración del horno en la red eléctrica y reduce la pérdida total de exergía en la sección del horno. De manera similar, en los hornos de inyección según la presente invención, el uso del calor de extinción y del calor de los gases de combustión en la sección de convección también puede maximizarse para el precalentamiento de la alimentación y, además, para el precalentamiento del aire de combustión, reduciendo de ese modo el consumo total de gas combustible en los hornos de inyección.

Entre las realizaciones mostradas, las variantes en donde el intercambiador de extinción primario se usa en la generación de vapor ofrecen el beneficio del enfriamiento más rápido del gas craqueado y una extinción por reacción (alto coeficiente de transferencia de calor por agua en ebullición), mientras que las variantes en las que el intercambiador de extinción primario está diseñado como intercambiador de alimentación-efluente ofrecen el beneficio de una importación mínima de energía eléctrica.

El sobrecalentamiento moderado en el intervalo dado según una realización de la invención permite además un suministro de calor sencillo y flexible para procesar a los consumidores de calor, ya que la distribución a los consumidores a diferentes niveles de temperatura puede realizarse simplemente mediante la expansión monofásica, adiabática e isentálpica del vapor moderadamente sobrecalentado exportado por los hornos, sin necesidad de estaciones de descarga para niveles de vapor completos, mediante la inyección adicional de agua de alimentación a la caldera para desobrecalentamiento y/o fases de turbina.

En cuanto al comportamiento dinámico, la posibilidad de equilibrar y amortiguar los cambios en la importación de electricidad con el sistema de vapor facilita la integración de tales sistemas de hornos en complejos industriales alimentados preferiblemente con electricidad renovable.

Las características y realizaciones adicionales de la presente invención se enumeran a continuación. Todas estas características y realizaciones pueden combinarse con las características y realizaciones descritas anteriormente y a



continuación en la presente memoria sin limitación, en la medida en que estén abarcadas por el alcance de las reivindicaciones y en la medida en que sea técnicamente factible o razonable.

- La invención se combina preferiblemente con un tren de separación, en donde todos los compresores de gas o bombas con una potencia superior a 1 MW son impulsados por motores eléctricos.

- El vapor a alta presión sobrecalentado exportado se distribuye de manera más ventajosa a diversos niveles de presión de vapor mediante elementos de expansión adiabáticos e isentálpicos. Los consumidores de calor singulares (por ejemplo, con un servicio de ensuciamiento crítico) pueden incluir además una etapa de desobrecalentamiento adicional (que puede realizarse mediante inyección directa de agua o mediante el uso de un tambor de saturación).

- La disposición de craqueo a vapor puede incluir otras unidades para la generación de vapor a partir de energía eléctrica (por ejemplo, sistemas de bombas de calor eléctricas y calderas eléctricas).

- El vapor sobrecalentado exportado puede expandirse a niveles de vapor a presión inferiores a 20 bar de presión absoluta, por ejemplo, para suministrar vapor a consumidores de presión media y baja. La selección de una presión absoluta de 20 bar como límite inferior para la caracterización de los márgenes del punto de rocío en niveles de presión intermedios se elige para facilitar la definición de las envolventes de las curvas para el sobrecalentamiento inicial del vapor, de tal modo que la distancia mencionada a la curva del punto de ebullición se dé para todos los niveles de presión intermedios o segundos por encima de 20 bar. Cuando se expande a presiones por debajo de una presión absoluta de 20 bar, pueden producirse valores más altos de los márgenes del punto de rocío, sin limitar el alcance de la invención.

- Además de la posibilidad inherente de almacenamiento de energía a través de tanques de almacenamiento de hidrógeno y/o la variación del sobrecalentamiento/presión del vapor, la presente invención puede combinarse además con otros sistemas de almacenamiento de energía dedicados, por ejemplo, sistemas de almacenamiento de calor latente o similares.

- La invención se combina preferiblemente con un tren de separación que incluye una unidad de separación de hidrógeno en donde todo o la mayor parte del hidrógeno disponible en una alimentación al tren de separación (normalmente del 70, el 75 o del 80 al 100 %) se recupera en forma de una corriente de procedimiento compuesta predominantemente de hidrógeno y utilizada para la ignición en los hornos y/o el suministro de otras unidades de procedimiento, tales como, por ejemplo, unidades de hidrogenación.

- El sistema de hornos según la presente invención se usa preferiblemente en plantas o sistemas de craqueo a vapor que incluyen una unidad electrolizadora que produce hidrógeno a partir de la importación de electricidad, preferiblemente producida por medios regenerativos. Alternativa o adicionalmente, la planta o el sistema pueden presentar una unidad de descomposición de amoníaco, que produce hidrógeno a partir de amoníaco importado (este último se produce preferiblemente usando electricidad renovable en una ubicación diferente).

- La presente invención también cubre una realización con un intercambiador de extinción primario de alimentación-efluente y un sobrecalentamiento de vapor moderado.

La presente invención y las realizaciones de la misma se explican con más detalle en relación con los dibujos adjuntos.

### Descripción de las figuras

La figura 1 ilustra una realización que no forma parte de la presente invención.

La figura 2 ilustra una arquitectura global de sistema o planta según una realización de la presente invención en una vista esquemática.

La figura 3 ilustra una conexión entre las unidades de horno de craqueo a vapor de inyección y eléctricos en un concepto híbrido según la presente invención.

Las figuras 4 a 8 ilustran unidades de horno de craqueo a vapor de inyección utilizables en un concepto híbrido de la presente invención, tal como se muestra en la figura 3.

Las figuras 9 a 16 ilustran unidades de horno de craqueo a vapor de inyección utilizables en un concepto híbrido de la presente invención, tal como se muestra en la figura 3.

Las figuras 17 a 19 ilustran las ventajas de las realizaciones de la presente invención.

La figura 20 ilustra una unidad de horno de craqueo a vapor de inyección adicional utilizable en un concepto híbrido de la presente invención, tal como se muestra en la figura 3.

La figura 1 ya se describió al principio.

La figura 2 ilustra una arquitectura global de sistema o planta según una realización de la presente invención en una vista esquemática de un sistema 100.

En el sistema 100, se proporcionan una primera unidad de horno de craqueo a vapor de inyección, aquí indicada como 1000, y una segunda unidad de horno de craqueo a vapor electrificado, aquí indicada como 2000. Las realizaciones de las unidades de horno 1000 y 2000 se ilustran en las figuras 4 a 16 más adelante y se denominan 1100 a 1500 y 2100 a 2800.

En la figura 2, las flechas de doble línea indican las corrientes de alimentación de hidrocarburos, gas de procedimiento o gas craqueado y las corrientes formadas a partir de las mismas, tales como fracciones de hidrocarburos. Las flechas discontinuas se refieren al gas combustible, el aire, los gases de combustión y las corrientes de ventilación. Las flechas con puntos finos indican las corrientes de vapor del procedimiento, mientras que las flechas con puntos gruesos indican las corrientes de vapor sobrecalentado. Las corrientes de condensado se indican con flechas continuas.

Una alimentación de hidrocarburos 3001 se pretrata y precalienta en una unidad de pretratamiento y precalentamiento 3100 a la que también se proporcionan las corrientes adicionales mencionadas a continuación. Desde la unidad de pretratamiento y precalentamiento 3100, las corrientes de alimentación pretratadas 3002 y 3003 se suministran a la unidad de horno de craqueo a vapor de inyección 1000 y a la unidad 2000 de horno de craqueo a vapor eléctrico. Las corrientes de gas craqueado pueden combinarse para formar una corriente 3004 que se hace pasar a una unidad 3200 de enfriamiento de gas craqueado y generación de vapor de procedimiento, desde la cual las corrientes de vapor de procedimiento generadas a partir del agua de procedimiento separada en la misma y no etiquetadas individualmente pueden hacerse pasar a la unidad de horno de craqueo a vapor de inyección 1000 y a la unidad 2000 de horno de craqueo a vapor eléctrico.

Después de una compresión en una unidad de compresión 3300 que también puede funcionar como una unidad de retirada de gas ácido, puede realizarse un preenfriamiento, secado e hidrogenación de gas en bruto en una unidad correspondiente 3500 a la que puede suministrarse una corriente 4004 de hidrógeno. Después de eso, el gas de procedimiento se hace pasar a una unidad de desetanización 3600, formando las fracciones correspondientes que pueden pasarse a una unidad de desmetanización 3700 y a una unidad divisora correspondiente 3800 para formar un producto de etileno 3006 y una corriente de recirculación de etano 3007, por un lado, y a una etapa de desbutanización 3900, por otro lado, formando una corriente de producto de gasolina 3008 y una corriente de recirculación adicional 3009.

La secuencia de separación mostrada en la figura 2 presenta solo una de las muchas opciones posibles, dependiendo del tipo de alimentación y el espectro de productos preferido. La presente invención no se limitará a la secuencia de separación mostrada en la figura 2, sino que cubrirá todas las secuencias de separación comúnmente conocidas en las plantas de craqueo a vapor. Estas incluirán, por ejemplo, secuencias de separación para unidades de craqueo de alimentación de gas con unidades de hidrogenación C2, C3 y/o C4 independientes en lugar de una unidad de hidrogenación de gas en bruto, trenes de separación con diferentes órdenes de secuencia de unidades de procedimiento (desmetanizador frontal o despropanizador frontal), o trenes de separación para materias primas gaseosas y líquidas más pesadas, que normalmente incluyen unidades de procedimiento adicionales para tratar los productos de hidrocarburos más pesados.

Un sistema de gas combustible 4100 está asociado con la primera unidad de horno de craqueo (de inyección) 1000 y proporciona una corriente de gas combustible 4001 a la primera unidad de horno de craqueo (de inyección) 1000, suministrándose esta última también con una corriente de aire 4002. Una corriente de gas de combustión 4003 puede ventilarse o tratarse el gas de combustión antes de ventilarse a la atmósfera. Las corrientes de hidrógeno 4004 pueden, en el ejemplo mostrado, proporcionarse mediante una unidad de descomposición de amoníaco 4300 y/o una unidad electrolizadora 4400 a las que se suministran amoníaco y agua, respectivamente, y de las que pueden extraerse las corrientes de ventilación. También puede suministrarse una corriente 4004 de hidrógeno a una unidad 4500 de célula de combustible que funciona con aire u oxígeno purificado. Se extrae una corriente de gas de combustión de la unidad 4500 de célula de combustible. También puede proporcionarse una unidad de almacenamiento de gas combustible o hidrógeno 4600. En una unidad 4700 de separación de hidrógeno, se trata una mezcla de gas ligero de la unidad desmetanizadora 3700, proporcionando una corriente 4004 de hidrógeno y una fracción 4008 de metano restante.

Se proporciona una unidad de vapor y agua de alimentación a la caldera 5000, suministrándose a esta unidad el vapor 5001 de las unidades de horno 1000 y 2000, el condensado 5002 de los consumidores internos de calor del procedimiento, así como el agua de alimentación a la caldera 5003. Desde la unidad de vapor y agua de alimentación a la caldera 5000, puede extraerse una corriente de condensado 5004 y pasarla a una unidad de tratamiento no mostrada. El agua de alimentación a la caldera 5005 puede suministrarse a las unidades de horno 1000 y 2000. El vapor para los consumidores internos de calor del procedimiento se suministra como una corriente de vapor 5006. La unidad 5000 puede intercambiar las corrientes de condensado y vapor 5007 y 5008 con unidades externas.

La figura 3 ilustra una conexión entre las unidades de horno de craqueo a vapor de inyección y eléctrico 1000 y 2000 en un concepto híbrido según la presente invención en una vista muy simplificada, con el fin de mostrar las posibilidades de conexión de las unidades de craqueo a vapor ilustradas adicionalmente en las figuras siguientes.

Como antes, se proporcionan una primera unidad de horno de craqueo a vapor de inyección, aquí indicada como 1000, y una segunda unidad de horno de craqueo a vapor electrificado, aquí indicada como 2000. Las realizaciones se ilustran en las figuras 4 a 16 que se muestran a continuación.

En una disposición de utilización de vapor (común), que se indica con 50 únicamente con fines de referencia, y que se explica con más detalle a continuación, el vapor a alta presión (moderadamente) sobrecalentado SU se usa con fines de calentamiento, pero preferiblemente no sustancialmente para accionar equipos rotativos. En este caso, el vapor de alta presión sobrecalentado SU se expande particularmente de manera adiabática e isentálpica usando unidades de expansión, formando vapor de alta presión HP, vapor de presión media MP y vapor de baja presión LP que pueden suministrarse a los consumidores de calor.

En la figura 4, se ilustra una unidad de horno de craqueo a vapor de inyección 1100 que puede utilizarse en un concepto híbrido según una realización de la presente invención, tal como se muestra en la figura 3 como unidad 1000 y, por lo tanto, está adaptada para su uso en la implementación de un método de craqueo a vapor según una realización de la presente invención y, opcionalmente, que forma parte de un sistema 100 según la presente invención. Como en las figuras siguientes, que muestran también las unidades de horno de craqueo a vapor, las etapas del método pueden realizarse mediante las correspondientes unidades o dispositivos de procedimiento utilizados y, por lo tanto, las explicaciones relacionadas con las etapas del método también pueden referirse a dichas unidades y dispositivos de procedimiento y viceversa. Las explicaciones repetidas se omiten únicamente por motivos de concisión y, por motivos de claridad, se utiliza un lenguaje mixto que describe las unidades o sistemas y los métodos según las realizaciones de la presente invención. Si los componentes se describen en singular, esto no excluye que tales componentes se proporcionen en pluralidad. La unidad 1100 de horno de craqueo a vapor, tal como las otras unidades de horno de craqueo a vapor que se muestran a continuación, puede formar parte de un sistema 100 según una realización de la invención tal como se ha mostrado anteriormente, que puede incluir una pluralidad de componentes adicionales y cuyos posibles límites del sistema se ilustran de manera muy esquemática solo en las figuras 4 y 9.

En las figuras 4 a 16, así como en la figura 20, las flechas gruesas y continuas indican corrientes de alimentación de hidrocarburos, vapor de procedimiento, gas de procedimiento o gas craqueado y corrientes formadas a partir de las mismas, tales como fracciones de hidrocarburos. Las flechas delgadas continuas se refieren al gas combustible, el aire, los gases de combustión y las corrientes de ventilación. Las flechas con puntos finos indican las corrientes de agua líquida de alimentación de la caldera, mientras que las flechas discontinuas indican las corrientes de vapor saturado de alta pureza, y las flechas de trazos y puntos indican las corrientes de vapor de alta pureza sobrecalentado. Las corrientes de condensado se indican con flechas punteadas de dos rayas.

La unidad de horno de vapor 1100 incluye el uso de un horno de craqueo a vapor de inyección 110 que está formado por o incluye una zona radiante de inyección 11 y una zona de convección 12, tal como se describió en general anteriormente. En la zona de convección 12, un precalentador de alimentación 121, un economizador 122, un primer serpentín de alta temperatura 123, un primer sobrecalentador de vapor 124, opcionalmente un segundo sobrecalentador de vapor 125 y un segundo serpentín de alta temperatura 126 están dispuestos en un canal o conducto de gases de combustión en la realización mostrada. En particular, el segundo sobrecalentador de vapor puede omitirse si no se realiza ninguna inyección de agua de alimentación a la caldera (véase más adelante). Una corriente de gas de combustión FL pasa desde la zona radiante 11 a través de la zona de convección 12, dejando la zona de convección 12 a un nivel de temperatura, en la presente realización, de aproximadamente 89 °C. La zona de radiación 11 se somete a ignición usando una corriente de gas combustible FU y aire de combustión CA que, en el ejemplo mostrado, se precalienta hasta un nivel de temperatura de aproximadamente 300 °C.

Un intercambiador 21 de extinción primario, un intercambiador 22 de extinción secundario y un intercambiador 23 de extinción terciario están dispuestos en una ruta de gas de procedimiento, formando un tren 20 de enfriamiento por extinción de la unidad 1100 de horno de craqueo a vapor.

Se proporciona una disposición de generación de vapor 30 que incluye un tambor de vapor 31 y otros componentes utilizados para generar vapor. En general, si a lo largo de la presente descripción se hace referencia a un componente que pertenece a una disposición o grupo de componentes descritos principalmente con una función determinada, esto no excluye que este componente no sea también parte de una disposición o grupo de componentes diferente que tengan una función adicional o diferente, como es típico en una planta que comprende partes interconectadas. Por ejemplo, el intercambiador 21 de extinción primario, el intercambiador 22 de extinción secundario y el intercambiador 23 de extinción terciario se describen aquí como parte del tren 20 de enfriamiento por extinción, pero también están integrados en la disposición de generación de vapor 30.

Una unidad de precalentamiento del aire de combustión 40, que está dispuesta externamente al conducto de gases de combustión y, por lo tanto, externamente a la sección de convección 12 en la realización mostrada en la figura 4, también forma parte de la unidad 1100 de horno de craqueo a vapor.

En el método que usa la unidad 1100 de horno de craqueo a vapor en un sistema correspondiente 100, el vapor de procedimiento PS y los hidrocarburos de alimentación HC se suministran a la unidad 1100 de horno de craqueo a vapor. Los hidrocarburos de alimentación HC se calientan en el precalentador de alimentación 121 antes de combinarse con el vapor de procedimiento PS, formando una corriente de procedimiento PR que se calienta adicionalmente en los serpentines de alta temperatura 123 y 126 antes de suministrarse a la zona radiante de inyección 11. La corriente de procedimiento, ahora también denominada gas craqueado o gas de procedimiento e indicada con PE para mayor claridad, se retira de la zona radiante 11 y se enfría por enfriamiento en el intercambiador 21 de extinción primario, el intercambiador 22 de extinción secundario y el intercambiador 23 de extinción terciario como se ha descrito en general anteriormente.

Posteriormente, la corriente de procedimiento PE puede someterse, como solo se muestra en las figuras 4 y 9, a cualquier tipo de procesamiento que incluya, según una realización de la presente invención, la compresión en un compresor 60, particularmente un compresor de gas de procedimiento, que se acciona mediante un motor eléctrico M. Para más detalles, se hace referencia a las explicaciones anteriores. En particular, se proporciona un tren de separación en donde todos o esencialmente todos los compresores se accionan eléctricamente.

El agua de alimentación a la caldera BF, como también se ilustra con flechas punteadas, se calienta en el intercambiador 23 de extinción terciario y en el economizador 122 antes de suministrarse al tambor de vapor 31 a partir del cual también se forma un circuito de agua de alimentación a la caldera BF a través de los intercambiadores de extinción secundario y primario 22, 21. El vapor saturado SS extraído del tambor de vapor 31, como también se ilustra con flechas discontinuas, se sobrecalienta parcialmente en los sobrecalentadores de vapor 124, 125, formando vapor a alta presión (moderadamente) sobrecalentado SU, como también se ilustra con flechas de trazos y puntos, y se suministra parcialmente a la unidad de precalentamiento del aire de combustión 40. Los parámetros del vapor de alta presión sobrecalentado SU se han descrito ampliamente anteriormente. En la realización mostrada, esto puede tener una temperatura de aproximadamente 380 °C y una presión absoluta de aproximadamente 117 bar. Entre los sobrecalentadores de vapor 124, 125, puede añadirse más agua de alimentación a la caldera BF (la denominada inyección de agua de alimentación a la caldera, como ya se ha mencionado anteriormente) que preferiblemente no se precalienta<sup>0</sup> y que se usa particularmente para controlar en general el equilibrio térmico dentro de la zona de convección 12, por ejemplo, para una adaptación a diferentes puntos de funcionamiento. Si no se proporciona ninguna inyección de agua de alimentación a la caldera, también puede omitirse el sobrecalentador de vapor 125, tal como se ha mencionado.

También se suministran el aire de combustión CA que va a precalentarse y, opcionalmente, el vapor externo EX a la unidad de precalentamiento del aire de combustión 40. De la unidad de precalentamiento del aire de combustión 40, se extrae una corriente de condensado CO que puede usarse como parte del agua de alimentación a la caldera BF analizada ampliamente anteriormente.

En una disposición de utilización de vapor, que se indica con 50 únicamente con fines de referencia, y que está particularmente acoplada también a otras unidades de horno de craqueo a vapor, tales como las unidades de horno de craqueo a vapor que presentan hornos de craqueo a vapor calentados eléctricamente, el vapor a alta presión sobrecalentado SU se usa con fines de calentamiento, pero preferiblemente no sustancialmente para accionar equipos rotativos. En este caso, el vapor de alta presión sobrecalentado SU se expande de manera adiabática e isentálpica usando unidades de expansión 51, 52, 53, formando vapor de alta presión HP, vapor de presión media MP y vapor de baja presión LP que se suministra a los consumidores de calor 54, 55, 56. El vapor (vapor de alta presión o superalta presión) exportado desde todos los hornos puede recogerse en el colector de vapor correspondiente, es decir, en un sistema de tuberías de gran volumen que distribuye el vapor por la planta a los diferentes consumidores. La conexión de suministro a los colectores de vapor de menor presión se realiza desde este colector con la presión más alta. En las plantas convencionales, un colector de vapor de este tipo funciona a una presión aproximadamente constante (para el funcionamiento de las turbinas), que está ligeramente por debajo de la presión de exportación del vapor en la salida del horno. Según las realizaciones de la presente invención, el nivel de presión del colector de vapor con la presión más alta puede variarse más ampliamente, para lograr un efecto amortiguador ventajoso.

Resumiendo lo anterior, en la unidad 1100 de horno de craqueo a vapor según la figura 4, el aire de combustión CA se precalienta fuera de la ruta del gas de combustión ("precalentamiento del aire externo"). La producción de vapor saturado SS se realiza completamente en el tren 20 de enfriamiento por extinción (con los intercambiadores de extinción primario y secundario 21, 22), mientras que el sobrecalentamiento moderado del vapor se realiza en la sección de convección 12 entre los serpentines de alta temperatura 123 y 126. El sobrecalentamiento del vapor puede realizarse en una o más etapas de sobrecalentamiento, con o sin inyección intermedia de agua de alimentación a la caldera. Puede realizarse un determinado grado de precalentamiento del agua de alimentación a la caldera en un economizador 122 y/o en un intercambiador 23 de extinción terciario, como se muestra.

El precalentamiento del aire de combustión se realiza preferiblemente usando vapor saturado SS producido en la sección de extinción 20, en uno o más intercambiadores de calor de múltiples corrientes. Alternativamente, el vapor moderadamente sobrecalentado puede usarse solo o además del vapor saturado en la sección de precalentamiento del aire (no se muestra en la figura 4). Además, el vapor externo EX tomado, por ejemplo, de uno de los colectores de vapor centrales de la planta, también puede usarse para al menos parte del procedimiento de precalentamiento del

aire de combustión. Al menos una parte de la unidad de precalentamiento del aire de combustión 40 puede evitarse por al menos una fracción del flujo total de gas, para poder modificar la temperatura de precalentamiento del aire resultante durante el funcionamiento.

Además, en las figuras no se muestra un dispositivo de compresión de aire ubicado normalmente corriente arriba de la unidad de precalentamiento del aire de combustión 40, que compensa la caída de presión de los intercambiadores de precalentamiento del aire de combustión. La presión preferida en el lado de ignición de la sección radiante y otros detalles se mencionaron anteriormente.

En la figura 5, se ilustra una unidad 1200 de horno de craqueo a vapor adicional según una realización de la presente invención. En general, las explicaciones relacionadas con la unidad 1100 de horno de craqueo a vapor según la figura 4 también se aplican a la unidad 1200 de horno de craqueo a vapor según la figura 5 y solo las diferencias se explicarán a continuación.

En la unidad 1200 de horno de craqueo a vapor según la figura 5, la unidad de precalentamiento del aire de combustión 40 está integrada en el canal o conducto de gases de combustión y tampoco se suministra con vapor saturado SS como en la unidad 1100 de horno de craqueo a vapor según la figura 4. El economizador 122 se omite en la sección de convección 12 y, en consecuencia, el agua de alimentación a la caldera BF no se calienta en la sección de convección 12 en un economizador de este tipo. La sección de enfriamiento por extinción ahora está compuesta por solo dos intercambiadores 21 y 23, omitiéndose también el intercambiador 22 de extinción. El agua de alimentación a la caldera BF se precalienta en el intercambiador 23 de extinción secundario y el tambor de vapor 31 se conecta con el intercambiador 21 de extinción primario.

Desde una posición entre el primer sobrecalentador de vapor 124 y el primer serpentín de alta temperatura 123, y desde una posición corriente abajo del precalentador de alimentación 121, al menos partes del gas de combustión FG, indicadas con FG1 y FG2 en la figura 5, pasan a las múltiples etapas de la unidad de precalentamiento del aire de combustión 40. Una corriente de retorno de gas de combustión FG1R desde la etapa de alta temperatura de la unidad de precalentamiento del aire de combustión 40 se dirige entonces al primer serpentín de alta temperatura 123. Tras usarse con fines de calentamiento en la etapa de baja temperatura de la unidad de precalentamiento del aire de combustión 40, el gas de combustión sale de la unidad de precalentamiento del aire de combustión 40 a una temperatura de aproximadamente 70 °C en este ejemplo. El aire de combustión CA, pero preferiblemente no el vapor externo EX, se suministra a la unidad de precalentamiento del aire de combustión 40 y, por lo tanto, preferiblemente no se forma ninguna corriente de condensado CO. El aire de combustión precalentado CA se suministra a la zona de radiación 11 a un nivel de temperatura de, en el ejemplo mostrado, aproximadamente 280 °C.

Debe observarse que pueden preverse otras configuraciones y combinaciones de las múltiples etapas de una unidad de precalentamiento de aire de combustión 40 con los múltiples haces de intercambiadores de calor de una zona de convección 12 sin limitar el alcance de la presente invención. Por ejemplo, una etapa de alta temperatura de la unidad de precalentamiento del aire de combustión 40 puede insertarse en diferentes puntos entre los haces de intercambiadores de una zona de convección 12, ya sea corriente arriba o corriente abajo de lo que se muestra en la figura 5.

Resumiendo lo anterior, en la unidad 1200 de horno de craqueo a vapor según la figura 5, el aire de combustión CA se precalienta en el interior de la ruta del gas de combustión FG ("precalentamiento del aire interno"). Un sistema de precalentamiento de aire de este tipo puede estar compuesto por uno o más intercambiadores de calor de múltiples corrientes, con el gas de combustión FG como medio caliente y el aire de combustión CA como medio frío. En el caso de un precalentamiento del aire en múltiples etapas, también es posible, entre dos etapas de precalentamiento del aire de combustión CA, recuperar el calor del gas de combustión FG para otros fines del procedimiento. En cuanto al precalentamiento del aire de combustión externo CA, tal como se ilustra en relación con la unidad 1100 de horno de craqueo a vapor según la figura 4, al menos una parte de la sección de precalentamiento del aire de combustión CA puede evitarse al menos por una fracción del flujo total de gas, para poder modificar la temperatura de precalentamiento del aire resultante durante el funcionamiento.

La ebullición del agua, en la unidad 1200 de horno de craqueo a vapor según la figura 5, se lleva a cabo en un único intercambiador 21 de extinción primario, pero puede usarse una combinación de intercambiadores de extinción primario y secundario 21, 22 (tal como se muestra en la figura 4) de manera equivalente. Además, esta realización no incluye una etapa de precalentamiento del agua de alimentación a la caldera BF en la sección de convección 12, lo que prioriza la disponibilidad de calor del gas de combustión FG para el precalentamiento del aire de combustión, como se ha explicado.

En la figura 6, se ilustra una unidad 1300 de horno de craqueo a vapor adicional según una realización de la presente invención. En general, las explicaciones relacionadas con la unidad 1100 de horno de craqueo a vapor según la figura 4 también se aplican a la unidad 1300 de horno de craqueo a vapor según la figura 6 y solo las diferencias se explicarán a continuación. La unidad 1300 de horno de craqueo a vapor según la figura 6 debe considerarse más típica para los hornos de craqueo de alimentación líquida, mientras que las unidades 1100 y 1200 de horno de craqueo a vapor según las figuras 2 y 3, respectivamente, muestran características de diseño típicas de los hornos de craqueo con alimentación de gas.

En comparación con la unidad 1100 de horno de craqueo a vapor según la figura 4, el intercambiador 23 de extinción terciario se omite en la unidad 1300 de horno de craqueo a vapor según la figura 6. El agua de alimentación a la caldera BF suministrada al tambor de vapor 31 se precalienta, después del precalentamiento en el economizador 122, en el intercambiador 22 de extinción secundario. El tambor de vapor 31 está conectado con el intercambiador 21 de extinción primario.

Dado que se requieren mayores cargas de precalentamiento para los hornos con alimentación líquida (calor latente adicional de vaporización de la alimentación), la unidad 1300 de horno de craqueo a vapor incluye además un haz 127 de sobrecalentadores de vapor de procedimiento adicional, en donde el vapor de procedimiento se sobrecalienta contra los gases de combustión antes de mezclarse con la corriente de alimentación de hidrocarburos. En la figura 7, se ilustra una unidad 1400 de horno de craqueo a vapor adicional según una realización de la presente invención. En general, las explicaciones relacionadas con las unidades 1200 de horno de craqueo a vapor según la figura 5 y 1300 según la figura 6, basadas en las explicaciones relacionadas con la unidad 1100 de horno de craqueo a vapor según la figura 4, también se aplican a la unidad 1400 de horno de craqueo a vapor según la figura 7 y solo las diferencias se explicarán a continuación. La unidad 1400 de horno de craqueo a vapor según la figura 7 combina particularmente las características de las unidades 1200 de horno de craqueo a vapor según la figura 5 y 1300 según la figura 6.

De manera similar que en la unidad 1200 de horno de craqueo a vapor según la figura 5, la unidad de precalentamiento del aire de combustión 40 en la unidad 1400 de horno de craqueo a vapor según la figura 7, está integrada en el canal o conducto de gases de combustión y tampoco se suministra con vapor saturado SS como en la unidad 1100 de horno de craqueo a vapor según la figura 4.

El economizador 122 se omite en la sección de convección 12 y, en consecuencia, el agua de alimentación a la caldera BF no se calienta en la sección de convección 12.

Como en la unidad 1300 de horno de craqueo a vapor según la figura 6, el intercambiador 23 de extinción terciario se omite en la unidad 1400 de horno de craqueo a vapor según la figura 7, particularmente cuando se compara con la unidad 1100 de horno de craqueo a vapor según la figura 4. Por lo tanto, el agua de alimentación a la caldera BF suministrada al tambor de vapor 31 no se precalienta en un economizador, sino que se precalienta únicamente en el intercambiador 22 de extinción secundario. El tambor de vapor 31 está conectado con el intercambiador 21 de extinción primario.

Solo desde una posición corriente abajo del precalentador de alimentación 121, particularmente en comparación con la unidad 1200 de horno de craqueo a vapor según la figura 5, el gas de combustión FG pasa a la unidad de precalentamiento del aire de combustión 40. Tras usarse con fines de calentamiento en su interior, el gas de combustión FG sale de la unidad de precalentamiento del aire de combustión 40 a una temperatura de aproximadamente 90 °C en este ejemplo.

Las unidades 1300 y 1400 de horno de craqueo a vapor, tal como se muestran en las figuras 6 y 7, pueden funcionar particularmente con materia prima líquida. En tales situaciones, y también en las unidades 1300 y 1400 de horno de craqueo a vapor, tal como se muestra en las figuras 6 y 7, normalmente se omite un intercambiador 23 de extinción terciario, lo que produce temperaturas de gas craqueado más altas en la salida del horno considerada. Esto es ventajoso para evitar la condensación de condensados pesados cuando se enfría aún más el gas craqueado. Por lo tanto, en las unidades de craqueo con alimentación líquida, el enfriamiento del gas craqueado corriente abajo del intercambiador 21 de extinción primario se realiza de forma clásica mediante enfriamiento por contacto directo con inyecciones de aceite de pirólisis/gasolina y/o agua de extinción. Según las realizaciones de la invención mostradas, los intercambiadores de extinción primario y secundario 21, 22 están integrados como se muestra.

Al igual que la unidad 1300 de horno de craqueo a vapor, dado que se requieren mayores cargas de precalentamiento para los hornos con alimentación líquida (calor latente adicional de vaporización de la alimentación), la unidad 1400 de horno de craqueo a vapor incluye además un haz 127 de sobrecalentadores de vapor de procedimiento adicional, en donde el vapor de procedimiento se sobrecalienta contra los gases de combustión antes de mezclarse con la corriente de alimentación de hidrocarburos.

En la figura 8, se ilustra una unidad 1500 de horno de craqueo a vapor adicional según una realización de la presente invención. En general, la unidad 1500 de horno de craqueo a vapor según la figura 8 muestra algunas similitudes con la unidad 1400 de horno de craqueo a vapor según la figura 7 y, por lo tanto, la unidad 1500 de horno de craqueo a

vapor según la figura 8 se explicará sobre esta base, de nuevo con referencia a la unidad 1100 de horno de craqueo a vapor según la figura 4, 1200 según la figura 5 y 1300 según la figura 6, sin embargo, cuando sea aplicable.

A diferencia de la unidad 1400 de horno de craqueo a vapor según la figura 7, el economizador 122 explicado, por ejemplo, en relación con la unidad 1100 de horno de craqueo a vapor según la figura 4 está presente precalentando el agua de alimentación a la caldera BF, pero se omite el primer serpentín de alta temperatura 123 y no precalienta la corriente de gas de procedimiento PR.

Al igual que las unidades 1300 y 1400 de horno de craqueo a vapor que se muestran en las figuras 6 y 7, también la unidad 1500 de horno de craqueo a vapor que se muestra en la figura 8 puede funcionar particularmente con materia prima líquida. La carga de precalentamiento en los hornos de alimentación líquida es relativamente mucho mayor que en los hornos alimentados con gas, debido a la entalpía de vaporización adicional de los hidrocarburos de alimentación HC. Además, tal como se mencionó anteriormente, puede recuperarse menos calor en los intercambiadores de múltiples corrientes en la sección de enfriamiento (lo que evita la formación de condensados pesados). Al mismo tiempo, para reducir el consumo del gas combustible FU y las emisiones de los gases de combustión FG, es interesante maximizar el precalentamiento del aire de combustión CA.

Como las unidades 1300 y 1400 de horno de craqueo a vapor, la unidad 1500 de horno de craqueo a vapor incluye además un haz 127 de sobrecalentadores de vapor de procedimiento adicional, en donde el vapor de procedimiento PS se sobrecalienta contra el gas de combustión antes de mezclarse con la corriente de alimentación de hidrocarburos HC para formar la corriente de procedimiento PR.

El intercambiador 22 de extinción secundario está, por lo tanto, en la unidad 1500 de horno de craqueo a vapor, tal como se muestra en la figura 8, proporcionado como un intercambiador de alimentación-efluente que precalienta la corriente de gas de procedimiento PR. La presente invención propone un posicionamiento preferido de este intercambiador de alimentación-efluente para que esté ubicado corriente abajo a lo largo de la trayectoria o trayectoria de flujo de la corriente de gas craqueado PE de un intercambiador de extinción primario de ebullición de agua adicional 21, que permite coeficientes de transferencia de calor muy altos y, por lo tanto, una extinción rápida y efectiva del gas craqueado.

Una característica particularmente relevante de la presente invención y de sus realizaciones consiste en limitar el nivel de sobrecalentamiento del vapor dentro de las unidades 1100 a 1500 de horno de craqueo a vapor. Tal como se muestra en la figura 17 a continuación, dicho sobrecalentamiento moderado es muy adecuado si el flujo de vapor exportado desde el sistema de hornos está destinado únicamente a suministrar calor de procedimiento a los consumidores.

En la figura 9, se ilustra una unidad 2100 de horno de craqueo a vapor según una realización de la presente invención. La unidad 2100 de horno de craqueo a vapor, tal como las otras unidades de horno de craqueo a vapor que se muestran a continuación, puede formar parte de un sistema 100 según una realización de la invención tal como se ha mostrado anteriormente y ya se ha mencionado, que puede incluir una pluralidad de componentes adicionales y cuyos posibles límites del sistema se ilustran de manera muy esquemática solo en las figuras 4 y 9.

La unidad 2100 de horno de craqueo a vapor incluye el uso de un horno 210 de craqueo a vapor eléctrico, como se describió en general anteriormente, que incluye un "serpentín en caja eléctrica" tal como se explicó anteriormente. No está presente ninguna zona de convección.

El vapor de procedimiento PS, particularmente a un nivel de temperatura de aproximadamente 185 °C, se mezcla en una boquilla de mezclado M con una corriente de hidrocarburos de alimentación HC que se precalienta en un intercambiador de calor X1. Una corriente de procedimiento PR así formada se calienta adicionalmente en un intercambiador de calor X2 hasta un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 300 °C. Los intercambiadores de calor X1 y X2 también pueden combinarse, particularmente si el vapor de procedimiento PS se añade corriente arriba del intercambiador de calor X1.

Cuatro intercambiadores de extinción 21, 22, 22a y 23 están dispuestos en serie en una ruta de gas de procedimiento corriente abajo del horno 210 de craqueo a vapor eléctrico, formando un tren 20 de enfriamiento por extinción de la unidad 2100 de horno de craqueo a vapor. Tal como se ha mencionado, y solo con fines de referencia, los intercambiadores de extinción primero y segundo 21, 22 de esta serie pueden ser los intercambiadores de extinción primario y secundario descritos anteriormente. El último intercambiador 23 de extinción de la serie también puede denominarse intercambiador de extinción terciario y el penúltimo intercambiador 22a de extinción de la serie intercambiador de extinción intermedio. Alternativamente, el intercambiador 21 de extinción y el intercambiador 22a de extinción pueden denominarse intercambiadores de enfriamiento secundarios.

La corriente de procedimiento PR se precalienta, antes de calentarse adicionalmente en un calentador eléctrico E1 hasta un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 660 °C y suministrarse al horno eléctrico de craqueo a vapor 210 como corriente de alimentación, en el intercambiador 22 de extinción. La corriente de procedimiento, en forma de gas craqueado, y ahora se indica como PE para mayor claridad, se extrae del horno de

craqueo 210 y se pasa a través de los intercambiadores de extinción 21, 22, 22a y 23. El efluente de la corriente de procedimiento PE del horno 210 de craqueo a vapor eléctrico se extrae del horno 210 de craqueo a vapor eléctrico a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 840 °C, del intercambiador 21 de extinción a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 550 °C, del intercambiador 22a de extinción a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 340 °C y del intercambiador 23 de extinción a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 200 °C.

Después de eso, la corriente de procedimiento PE puede someterse, como solo se muestra en la figura 9, a cualquier tipo de procesamiento que incluya, según una realización de la presente invención, la compresión en un compresor 60, particularmente un compresor de gas de procedimiento, que es accionado por un motor eléctrico M. Un compresor 60 de este tipo o una disposición de compresores también pueden usarse para comprimir una corriente de procedimiento desde al menos una unidad de horno de craqueo 1000 o 2000 adicional. En cuanto a detalles adicionales, se hace referencia a las explicaciones anteriores. En particular, se proporciona un tren de separación en donde todos o esencialmente todos los compresores se accionan eléctricamente.

Se proporciona una disposición de generación de vapor 30 que incluye un tambor de vapor 31 y otros componentes utilizados para generar vapor. En general, si a lo largo de la presente descripción se hace referencia a un componente que pertenece a una disposición o grupo de componentes descritos principalmente con una función determinada, esto no excluye que este componente no sea también parte de una disposición o grupo de componentes diferente que tengan una función adicional o diferente, como es típico en una planta que comprende partes interconectadas. Por ejemplo, el intercambiador 21 de extinción, el intercambiador 22 de extinción y el intercambiador 23 de extinción se describen aquí como parte del tren de enfriamiento 20, pero también pueden estar integrados en la disposición de generación de vapor 30.

El agua de alimentación a la caldera BF, como también se ilustra con flechas punteadas, se calienta en un intercambiador de calor X3 hasta un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 180 °C y en el intercambiador 23 de extinción hasta un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 290 °C antes de suministrarse al tambor de vapor 31 desde el cual una corriente de agua de alimentación a la caldera BF también pasa al intercambiador 21 de extinción para evaporarse. El vapor saturado SS, como también se ilustra con flechas discontinuas, que se forma en el tambor de vapor y que puede proporcionarse a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 325 °C y un nivel de presión particularmente de aproximadamente 122 bar de presión absoluta, puede usarse en parte para hacer funcionar los intercambiadores de calor X2, X3 y X1, en donde en el intercambiador de calor X2 se forma un condensado CO que se subenfía en los intercambiadores de calor X3 y X1.

La parte restante del vapor saturado SS se sobrecalienta en el intercambiador 22a de extinción, formando vapor a alta presión (moderadamente) sobrecalentado SU, como también se ilustra con flechas de trazos y puntos. Los parámetros del vapor de alta presión sobrecalentado SU se han descrito ampliamente anteriormente. En la realización mostrada, esto puede tener una temperatura de aproximadamente 375 °C y una presión absoluta de aproximadamente 121 bar. En una disposición de utilización de vapor, que se indica con 50 únicamente con fines de referencia, el vapor a alta presión sobrecalentado SU se usa con fines de calentamiento, pero preferiblemente no sustancialmente para accionar equipos rotativos. En este caso, el vapor de alta presión sobrecalentado SU se expande de manera adiabática e isentálpica usando unidades de expansión 51, 52, 53, formando vapor de alta presión HP, vapor de presión media MP y vapor de baja presión LP que se suministra a los consumidores de calor 54, 55, 56. El vapor (vapor de alta presión o superalta presión) exportado desde todos los hornos puede recogerse en el colector de vapor correspondiente, es decir, en un sistema de tuberías de gran volumen que distribuye el vapor por la planta a los diferentes consumidores. La conexión de suministro a los colectores de vapor de menor presión se realiza desde este colector con la presión más alta. En las plantas convencionales, un colector de vapor de este tipo funciona a una presión aproximadamente constante (para el funcionamiento de las turbinas), que está ligeramente por debajo de la presión de exportación del vapor en la salida del horno. Según las realizaciones de la presente invención, el nivel de presión del colector de vapor con la presión más alta puede variarse más ampliamente, para lograr un efecto amortiguador ventajoso.

Resumiendo las explicaciones de la figura 9 y de la unidad 2100 de horno de craqueo a vapor mostrada, el gas de procedimiento PE se enfría rápida y eficazmente en una primera etapa (en el intercambiador 21 de extinción) contra la vaporización del agua de alimentación a la caldera BF, de manera similar al estado de la técnica en los hornos de inyección. En una segunda etapa (en el intercambiador 22 de extinción), el gas de procedimiento PE se enfría en un intercambiador de alimentación-efluente contra el gas de procedimiento PR que se precalienta antes de alimentarse al horno de craqueo eléctrico 11. En la realización mostrada en la figura 9, puede proporcionarse un intercambiador 22a de extinción para enfriar el gas de procedimiento PE mientras se sobrecalienta moderadamente una porción del vapor saturado SS generado en el intercambiador 21 de extinción.

En la figura 10, se ilustra una unidad 2200 de horno de craqueo a vapor adicional según una realización de la presente invención. En general, las explicaciones relacionadas con la unidad 2100 de horno de craqueo a vapor según la figura 9 también se aplican a la unidad 2200 de horno de craqueo a vapor según la figura 10 y solo las diferencias se explicarán a continuación.



En la unidad 2200 de horno de craqueo a vapor según la figura 10, se omite el intercambiador 22a de extinción y, en su lugar, se proporciona un sobrecalentador de vapor eléctrico E2. El gas de procedimiento PE se extrae aquí del intercambiador 22 de extinción a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 340 °C.

5 En la figura 11, se ilustra una unidad 2300 de horno de craqueo a vapor adicional según una realización de la presente invención. En general, las explicaciones relacionadas con la unidad de horno de craqueo a vapor según la figura 10, basadas en las explicaciones para la unidad 2100 de horno de craqueo a vapor según la figura 9, se aplican a la unidad 2300 de horno de craqueo a vapor según la figura 11 y solo las diferencias se explicarán a continuación.

10 En la unidad 2300 de horno de craqueo a vapor según la figura 11, de nuevo no está presente el intercambiador 22a de extinción y, en su lugar, se proporciona un sobrecalentador de vapor eléctrico E2. En la unidad 2300 de horno de craqueo a vapor según la figura 11, también se omite el calentador eléctrico E1. Además, la corriente de gas de procedimiento PR calentada en el intercambiador de calor X2 se calienta adicionalmente en el intercambiador 21 de extinción rápido y el tambor de vapor 31 se conecta con el intercambiador 22 de extinción.

15 El efluente del gas de procedimiento PE del horno 210 de craqueo a vapor eléctrico se extrae del intercambiador 22 de extinción a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 340 °C. La corriente de procedimiento PE se extrae del intercambiador 21 de extinción a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 525 °C.

20 En la realización mostrada en la figura 11, por lo tanto, se invierten las dos primeras etapas de extinción, lo que significa que el efluente de gas de procedimiento PE se enfría primero contra el gas de procedimiento de alimentación PR que va a precalentarse, y luego contra la evaporación del agua de alimentación a la caldera BF. En una realización de este tipo, no hay necesidad de un precalentador de alimentación eléctrico, ya que pueden alcanzarse temperaturas de precalentamiento suficientemente altas en el intercambiador 21 de extinción. El vapor a alta presión que va a exportarse se sobrecalienta de nuevo moderadamente, en donde ambas variantes de la figura 9 y la figura 10 pueden usarse para sobrecalentar el vapor.

25 Las tres realizaciones mostradas en las figuras 9 a 11 están diseñadas específicamente para los hornos de craqueo eléctrico 210 que funcionan con materias primas ligeras (gaseosas), y lo más preferiblemente consisten principalmente en etano. Por lo tanto, todas estas realizaciones cuentan con un intercambiador 23 de extinción que, según la práctica industrial actual, enfría aún más el gas craqueado hasta niveles de temperatura de hasta 200 °C, al tiempo que precalienta particularmente el agua de alimentación a la caldera alimentada al tambor de vapor 31.

30 Además, el precalentamiento inicial (a niveles de temperatura inferiores a 300 °C) de la alimentación de hidrocarburos HC y del vapor de procedimiento PS después del mezclado para formar la corriente de procedimiento se realiza mediante el uso de vapor saturado en el intercambiador de calor X2. El condensado a alta presión CO resultante puede usarse además en otras etapas de precalentamiento mencionadas.

35 En la figura 12, se ilustra una unidad 2400 de horno de craqueo a vapor adicional según una realización de la presente invención. En general, las explicaciones relacionadas con la unidad 2200 de horno de craqueo a vapor según la figura 10, basadas en las explicaciones para la unidad 2100 de horno de craqueo a vapor según la figura 9, se aplican a la unidad 2400 de horno de craqueo a vapor según la figura 12 y solo las diferencias se explicarán a continuación.

40 En la unidad 2400 de horno de craqueo a vapor según la figura 12, de nuevo no está presente el intercambiador 22a de extinción y, en su lugar, se proporciona un sobrecalentador de vapor eléctrico E2. En lugar de una parte del vapor saturado SS, ahora se proporciona una parte del vapor sobrecalentado SU al intercambiador de calor X3. Por lo tanto, la corriente de procedimiento PR puede calentarse particularmente en el intercambiador de calor X2 hasta un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 330 °C, de tal modo que se extraiga menos calor en el intercambiador 22 de extinción y el efluente de la corriente de procedimiento PE enfriado en el mismo se extraiga del mismo a un nivel de temperatura de particularmente 370 °C.

45 La realización de la figura 12 ilustra particularmente que, como alternativa a las realizaciones mostradas anteriormente, el vapor moderadamente sobrecalentado SU también puede usarse para asegurar el precalentamiento inicial de la alimentación de hidrocarburos HC y el vapor de procedimiento PS después de formar la corriente de procedimiento PR.

50 En la figura 13, se ilustra una unidad 2500 de horno de craqueo a vapor adicional según una realización de la presente invención. En general, las explicaciones relacionadas con los componentes principales de la unidad 2100 de horno de craqueo a vapor según la figura 9 se aplican también a la unidad 2500 de horno de craqueo a vapor según la figura 13, pero están presentes varias diferencias que se explicarán a continuación.

55 En la unidad 2500 de horno de craqueo a vapor según la figura 13, el vapor de procedimiento PS a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 185 °C se mezcla en una boquilla de mezclado M con hidrocarburos de alimentación HC, como anteriormente, para formar una corriente de procedimiento PR a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 120 °C. La corriente de procedimiento PR se calienta además en el intercambiador 23 de extinción hasta un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 280 °C y en el

intercambiador 21 de extinción, como antes, hasta un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 660 °C antes de suministrarse al horno 210 de craqueo a vapor eléctrico. El efluente del gas de procedimiento PE se extrae del horno 210 de craqueo a vapor eléctrico a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 840 °C, del intercambiador 21 de extinción a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 510 °C, del intercambiador 22 de extinción (no está presente el intercambiador 22a de extinción adicional) a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 340 °C y del intercambiador 23 de extinción a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 200 °C.

El agua de alimentación a la caldera BF se suministra al tambor de vapor 31 que está conectado con el intercambiador 22 de extinción. El vapor saturado SS puede generarse a un nivel de presión de aproximadamente 122 bar de presión absoluta y a un nivel de temperatura de aproximadamente 325 °C. Este se sobrecalienta, formando vapor sobrecalentado SU con los parámetros indicados anteriormente, en un calentador eléctrico E2.

La realización mostrada en la figura 13 incluye una opción adicional para asegurar el precalentamiento inicial de la alimentación de hidrocarburos HC y del vapor de procedimiento PS después de formar la corriente de procedimiento PR, donde el intercambiador 23 de extinción está diseñado como un intercambiador de alimentación-efluente. Esta posibilidad también puede combinarse con realizaciones tales como, por ejemplo, las mostradas en las figuras 9, 10 y 12.

En la figura 14, se ilustra una unidad 2600 de horno de craqueo a vapor adicional según una realización de la presente invención. En general, las explicaciones relacionadas con la unidad 2200 de horno de craqueo a vapor según la figura 10, basadas en las explicaciones para la unidad 2100 de horno de craqueo a vapor según la figura 9, se aplican a la unidad 2600 de horno de craqueo a vapor según la figura 14 y solo las diferencias se explicarán a continuación.

En la unidad 2600 de horno de craqueo a vapor según la figura 14, no está presente el intercambiador 23 de extinción y en su lugar se usa un extintor con aceite 25. Por lo tanto, el agua de alimentación a la caldera BF se calienta solo en el intercambiador de calor X3, particularmente hasta un nivel de temperatura de aproximadamente 260 °C, antes de pasar al tambor de vapor 31. Se proporciona otro intercambiador de calor X4, que calienta aún más los hidrocarburos de alimentación antes de mezclarlos con el vapor de procedimiento PS en la boquilla de mezclado M. El vapor de procedimiento PS también se calienta antes, en un intercambiador de calor adicional X5. Los intercambiadores de calor X2, X4 y X5 funcionan con vapor saturado SS y las corrientes de condensado se recogen antes de usarse, tal como se describió anteriormente, en los intercambiadores de calor X1 y X3.

En la unidad 2600 de horno de craqueo a vapor según la figura 14, el vapor de procedimiento PS se proporciona inicialmente a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 180 °C. El nivel de temperatura de la corriente de procedimiento PR corriente abajo del intercambiador de calor X2 es particularmente de aproximadamente 300 °C. El calentamiento en el calentador eléctrico E1 se realiza particularmente a un nivel de temperatura de aproximadamente 630 °C. El efluente PE del gas de procedimiento se extrae del horno de craqueo eléctrico 210 a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 870 °C, del intercambiador 21 de extinción a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 600 °C, del primer intercambiador 22 de extinción a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 390 °C, del intercambiador 22a de extinción a un nivel de temperatura de particularmente aproximadamente 380 °C y del extintor con aceite 25 a un nivel de temperatura adecuado adicional. El vapor saturado generado en el tambor de vapor 21 se proporciona a un nivel de presión particularmente de aproximadamente 122 bar de presión absoluta y a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 325 °C. El vapor a alta presión sobrecalentado SU corriente abajo del intercambiador 22a de extinción se proporciona a un nivel de presión particularmente de aproximadamente 121 bar de presión absoluta y a un nivel de temperatura particularmente de aproximadamente 380 °C.

En la figura 15, se ilustra una unidad 2700 de horno de craqueo a vapor adicional según una realización de la presente invención. En general, las explicaciones relacionadas con la unidad 2600 de horno de craqueo a vapor según la figura 14, basadas en las explicaciones para la unidad 2100 de horno de craqueo a vapor según la figura 9, se aplican a la unidad 2700 de horno de craqueo a vapor según la figura 15 y solo las diferencias se explicarán a continuación.

En la unidad 2700 de horno de craqueo a vapor según la figura 15, el vapor de procedimiento PS se mezcla sucesivamente con los hidrocarburos de alimentación HC en una primera y una segunda boquilla de mezclado M1, M2, donde el vapor de procedimiento PS mezclado en la segunda boquilla de mezclado M2 se calienta adicionalmente en un calentador eléctrico adicional E3.

Como variantes de procedimiento alternativas, las figuras 14 y 15 muestran realizaciones ilustrativas de la presente invención aplicadas a un horno eléctrico 210 que funciona con materia prima líquida y materia prima líquida pesada, respectivamente. En tales realizaciones, no hay un intercambiador 23 de extinción, de manera análoga a los hornos de materia prima líquida de inyección. La sección de precalentamiento de la alimentación es normalmente más compleja y presenta, por ejemplo, etapas de precalentamiento de la alimentación adicionales (véanse las figuras 14 y 15, incluido el uso de sobrecalentadores de vapor de procedimiento eléctricos para materias primas líquidas pesadas) y/o una o más etapas de sobrecalentamiento de vapor de procedimiento en intercambiadores de calor de flujo múltiple. Sin embargo, las realizaciones mostradas en las figuras 14 y 15 son adaptaciones sencillas de la realización mostrada

en la figura 9. En consecuencia, las variantes presentadas por las realizaciones mostradas en las figuras 10 a 12 pueden aplicarse de manera análoga a los hornos de alimentación líquida como se muestran en las figuras 14 y 15, tal como se aplicaron al horno de alimentación de gas de la figura 9.

5 En la figura 16, se ilustra una unidad 2800 de horno de craqueo a vapor adicional según una realización de la presente invención. En general, las explicaciones relacionadas con la unidad 2700 de horno de craqueo a vapor según la figura 15, basadas en las explicaciones para la unidad 2100 de horno de craqueo a vapor según la figura 9, se aplican a la unidad 2800 de horno de craqueo a vapor según la figura 16 y solo las diferencias se explicarán a continuación.

10 De manera similar a la unidad 2200 de horno de craqueo a vapor según la figura 10, de nuevo se omite el intercambiador 22a de extinción y, en su lugar, se proporciona un sobrecalentador de vapor eléctrico E2. Como variante ilustrativa, la figura 16 muestra una variante de procedimiento para un horno de alimentación de líquido pesado análoga a la variante de alimentación de gas mostrada en la figura 11 (con el intercambiador 21 de extinción diseñado como intercambiador de alimentación-efluente).

15 En la figura 17, se muestra un diagrama original (entalpía/entropía) con una entropía  $s$  en  $\text{kJ}/(\text{K}\cdot\text{kg})$  mostrada en el eje horizontal y una entalpía  $h$  en  $\text{kJ}/\text{kg}$  mostrada en el eje vertical para el agua. Con un punto 71, se indica un sobrecalentamiento moderado, tal como se usa según las realizaciones de la presente invención, mientras que con un punto 72, se indica un sobrecalentamiento alto, tal como se usa según la técnica anterior. Una expansión adiabática o isentálpica realizada según la presente invención y realizaciones de la misma, característica de un cambio de estado en las válvulas o reductores cuando el vapor está destinado a usarse únicamente con fines de calentamiento, se muestra con una flecha que comienza en el punto 71, mientras que una expansión politrópica realizada según la técnica anterior y no según la presente invención, característica de un cambio de estado en las turbinas de vapor cuando el vapor está destinado a usarse por primera vez con fines mecánicos antes de su uso para fines de calentamiento, se muestra con una flecha que comienza en el punto 72.

20 Según la presente invención, mediante la mera expansión isentálpica, la presión puede reducirse sin cambiar de fase a los niveles de presión y temperatura requeridos por el consumidor de calor. En la figura 18 se muestra una curva 81 de evolución de temperatura ilustrativa de un cambio de estado isentálpico de este tipo (que presenta un punto de apoyo a  $380\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una presión absoluta de 120 bar) para un intervalo de presión de entre 20 y 160 bar de presión absoluta, junto con las correspondientes envolventes de curva más preferidas de 82 y 83 (con márgenes de punto de rocío de  $+20\text{ K}$  y  $+80\text{ K}$ ). En la figura 8, se indica una presión absoluta en bar en el eje horizontal y una temperatura en  $^{\circ}\text{C}$  en el eje vertical.

35 El margen de punto de rocío correspondiente para la misma curva 81 isentálpica ilustrativa se muestra en la figura 19 para el mismo intervalo de presión. En la figura 19, nuevamente se indica una presión absoluta en bar en el eje horizontal, mientras que los valores de diferencia de temperatura en K se indican en el eje vertical.

40 La figura 20 ilustra una unidad de horno de craqueo a vapor de inyección adicional utilizable en un concepto híbrido de la presente invención, tal como se muestra en la figura 3.

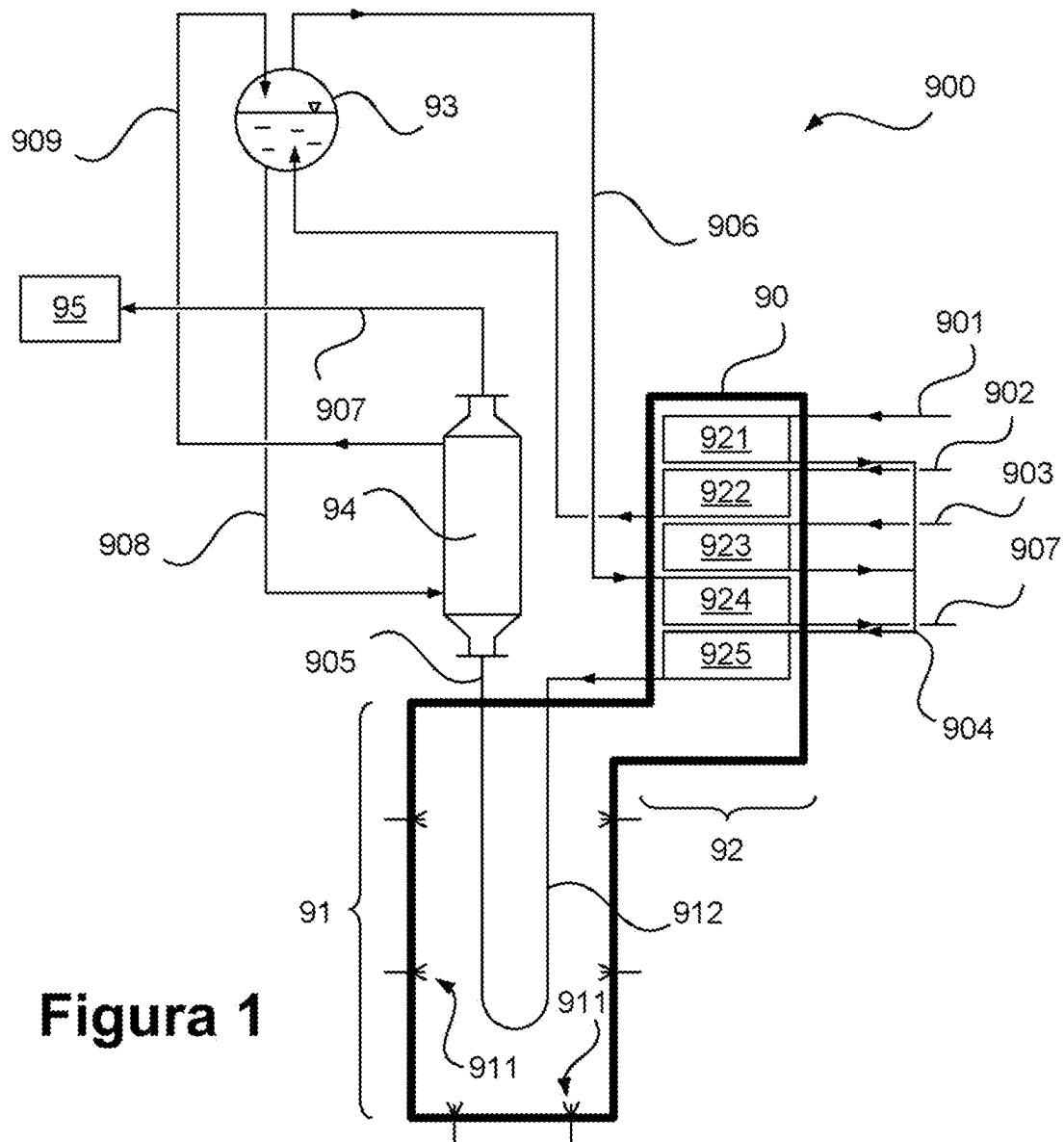
En cuanto a los componentes de la unidad de horno de craqueo a vapor de inyección según la figura 20, que se indica con 1600, se hace referencia a las explicaciones relacionadas con las figuras 4 a 8, en particular a la figura 5. Los aspectos esenciales de la realización mostrada en la figura 20 incluyen un precalentamiento del aire de combustión en dos etapas hasta un nivel de temperatura de aproximadamente  $610\text{ }^{\circ}\text{C}$ , un precalentamiento de los HC de alimentación antes y después de la combinación con el vapor de procedimiento PS en los intercambiadores de calor de enfriamiento por extinción terminales 22 y 23, el precalentamiento de la alimentación a la caldera, el uso de solo tres haces de intercambiadores de calor 124, 125 y 126 en la sección de convección y una temperatura de escape de los gases de combustión de aproximadamente  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

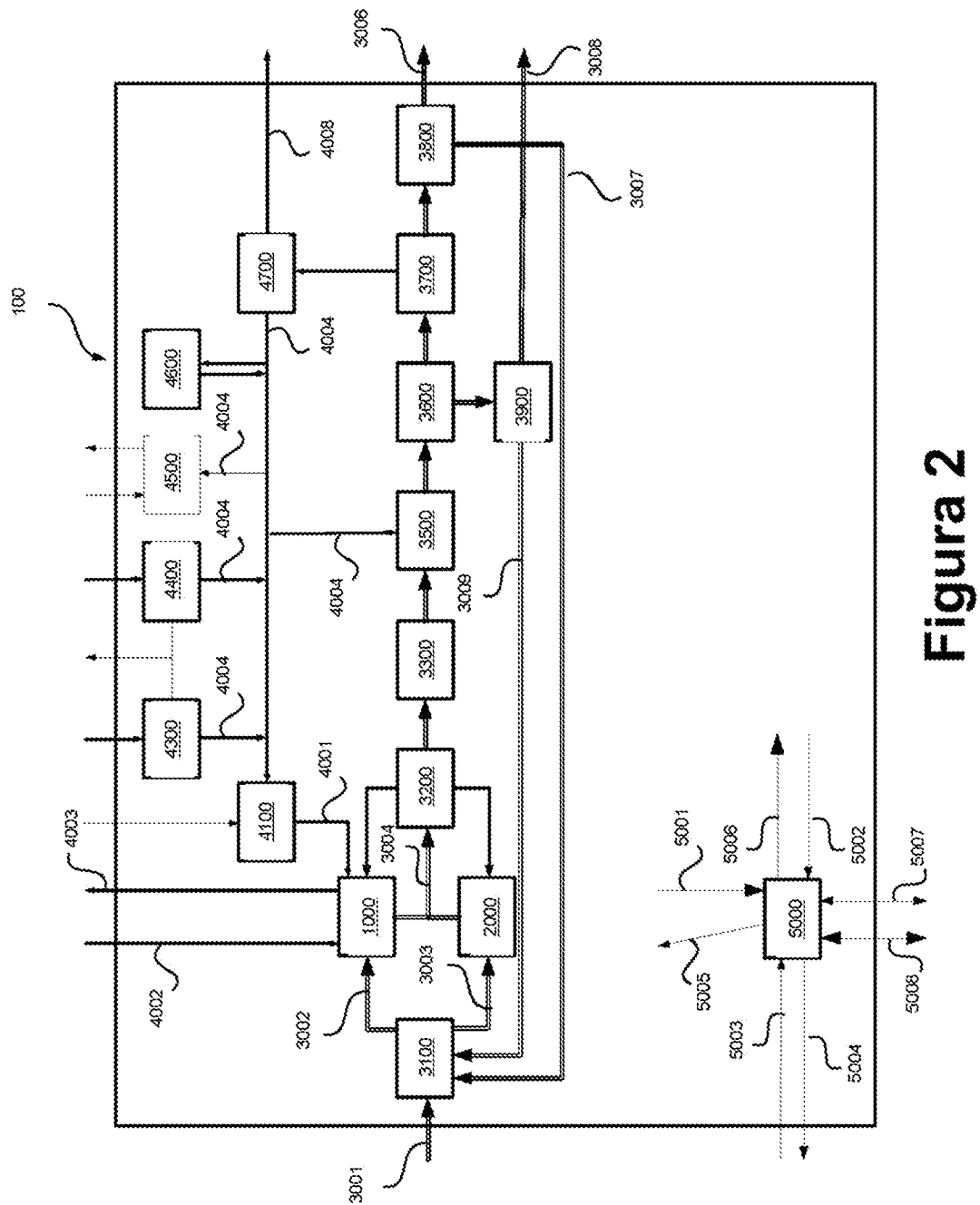
50

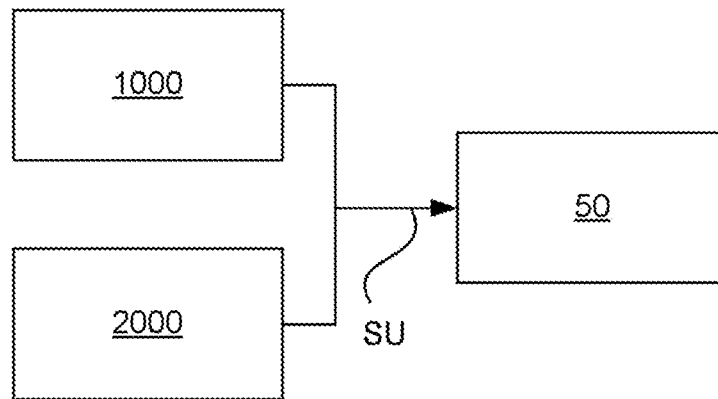
## REIVINDICACIONES

1. Un método de craqueo a vapor que utiliza un sistema (100) de craqueo a vapor que incluye una primera unidad (1000) de horno de craqueo a vapor o una pluralidad de primeras unidades (1000) de horno de craqueo a vapor y una segunda unidad (2000) de horno de craqueo a vapor o una pluralidad de segundas unidades (2000) de horno de craqueo a vapor, en donde la primera unidad (1000) de horno de craqueo a vapor o cada una de la pluralidad de primeras unidades (1000) de horno de craqueo a vapor comprende uno o más hornos (110) de craqueo a vapor de inyección, **caracterizados porque** la segunda unidad (2000) de horno de craqueo a vapor o cada una de la pluralidad de segundas unidades (2000) de horno de craqueo a vapor comprende uno o más hornos (210) de craqueo a vapor eléctricos, y porque la primera unidad (1000) de horno de craqueo a vapor o cada una de la pluralidad de primeras unidades (1000) de horno de craqueo a vapor comprende medios para precalentar al menos una parte del aire de combustión suministrado a su horno u hornos (110) de craqueo a vapor de inyección hasta un nivel de temperatura de al menos 100 °C.
2. El método según la reivindicación 1, en donde, en la primera unidad (1000) de horno de craqueo a vapor o en cada una de la pluralidad de primeras unidades (1000) de horno de craqueo a vapor y en la segunda unidad (2000) de horno de craqueo a vapor o en cada una de la pluralidad de segundas unidades (2000) de horno de craqueo a vapor, el horno u hornos (110, 210) de craqueo a vapor están acoplados a al menos un tren (10, 20) de enfriamiento por extinción en asociación térmica con al menos una disposición (30) de generación de vapor en el que al menos se sobrecalienta el vapor a alta presión a un primer nivel de presión entre 30 y 175 bar de presión absoluta y a un primer nivel de temperatura y no se genera vapor a un nivel de temperatura superior al primer nivel de temperatura, expandiéndose el vapor a alta presión sobrecalentado al primer nivel de presión, al menos en parte, de manera adiabática e isentálpica hasta un segundo nivel de presión por debajo del primer nivel de presión, de tal modo que su nivel de temperatura se reduce a un segundo nivel de temperatura, y el primer nivel de temperatura se selecciona de tal modo que cada nivel de temperatura intermedio alcance niveles de presión intermedios de más de 20 bar durante el expansión adiabática e isentálpica se sitúa entre 5 y 120 K por encima del punto de rocío del vapor en el nivel de presión intermedio respectivo durante la expansión adiabática e isentálpica.
3. El método según la reivindicación 2, en donde el vapor a alta presión sobrecalentado al primer nivel de presión y al primer nivel de temperatura no incluye el vapor generado a partir del agua de procedimiento y/o solo incluye el vapor generado a partir del agua de alimentación a la caldera, de tal modo que el vapor a alta presión sobrecalentado al primer nivel de presión y al primer nivel de temperatura se proporciona como vapor a alta presión sobrecalentado de alta pureza.
4. El método según las reivindicaciones 1 o 2, en donde una o más corrientes de procedimiento, antes de pasar a través de uno o más serpentines en caja de horno(s) (110, 210) de craqueo de la primera y/o segunda unidad(es) (1000, 2000) de horno de craqueo, o los hidrocarburos de alimentación y/o el vapor de procedimiento utilizados para generar la al menos una corriente de procedimiento, o aire de combustión, se calientan al menos en parte utilizando el calor extraído de al menos una de las corrientes de procedimiento corriente abajo de dicho(s) serpentín/serpentines en caja.
5. El método según la reivindicación 4, en donde dicho calor extraído de una o más corrientes de procedimiento corriente abajo de dicho(s) serpentín/serpentines en caja se extrae, al menos en parte, de la al menos una corriente de procedimiento corriente abajo de dicho(s) serpentín/serpentines en caja en uno o más intercambiadores de calor de alimentación-effluente directo.
6. El método según la reivindicación 4, en donde dicho calor extraído de una o más corrientes de procedimiento corriente abajo de dicho(s) serpentín/serpentines en caja se transfiere, al menos en parte, a vapor que se usa posteriormente en el calentamiento de al menos una corriente de procedimiento, o para alimentar hidrocarburos y/o el vapor de procedimiento utilizados para generar las al menos una o más corrientes de procedimiento, o al aire de combustión.
7. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dichos medios para precalentar al menos una parte del aire de combustión precalientan el aire de combustión hasta un nivel de temperatura de hasta 1000 °C, y en donde la temperatura de precalentamiento del aire de combustión varía durante el funcionamiento.
8. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la(s) primera(s) unidad(es) (1000) de horno de craqueo a vapor y la(s) segunda(s) unidad(es) (2000) de horno de craqueo a vapor funcionan, en diferentes modos de funcionamiento, utilizando tasas de consumo de gas combustible y tasas de consumo de energía eléctrica variables, respectivamente, de tal modo que una razón variable entre el consumo total de gas combustible y se consigue las tasas de consumo total de energía eléctrica sumadas entre todas las primera y segunda unidad(es) de horno de craqueo a vapor, al tiempo que se mantiene un rendimiento total constante del producto de craqueo a partir de dichas unidades de horno.

- 5 9. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde un gas combustible rico en hidrógeno se libera al menos temporalmente de una unidad (4300) de electrólisis, una unidad (4400) de descomposición de amoníaco y/o una unidad (4600) de almacenamiento de hidrógeno para suministrar al menos temporalmente el gas combustible adicional necesario a la primera unidad (1000) de horno de craqueo a vapor o a al menos una de la pluralidad de primeras unidades (1000) de craqueo a vapor y/o para suministrar a otros consumidores de hidrógeno.
- 10 10. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde un excedente al menos temporal de un gas combustible rico en hidrógeno generado a partir de una unidad (4700) de separación de hidrógeno, en comparación con el consumo total de hidrógeno en la primera unidad (1000) de horno de craqueo a vapor o al menos una de la pluralidad de primeras unidades (1000) de craqueo a vapor y/o en otros consumidores de hidrógeno, se alimenta al menos temporalmente a una unidad (4500) de célula de combustible y/o a una unidad (4600) de almacenamiento de hidrógeno.
- 15 11. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde un gas combustible utilizado para la ignición del/de los horno(s) (110) de craqueo a vapor de la primera unidad(es) de horno de craqueo a vapor se calienta hasta un nivel de temperatura que varía durante el funcionamiento.
- 20 12. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde un gas combustible utilizado en la ignición del/de los horno(s) (110) de craqueo a vapor de la primera unidad(es) (1000) de horno de craqueo a vapor tiene un contenido de hidrógeno entre el 0 y el 100 % en peso.
- 25 13. Un sistema (100) para realizar un método de craqueo a vapor, comprendiendo el sistema (100) una primera unidad (1000) de horno de craqueo a vapor o una pluralidad de primeras unidades (1000) de horno de craqueo a vapor y una segunda unidad (2000) de horno de craqueo a vapor o una pluralidad de segundas unidades (2000) de horno de craqueo a vapor, en donde la primera unidad (1000) de horno de craqueo a vapor o cada una de la pluralidad de primeras unidades (1000) de horno de craqueo a vapor comprende uno o más hornos (110) de craqueo a vapor de inyección, **caracterizados porque** la segunda unidad (2000) de horno de craqueo a vapor o cada una de la pluralidad de segundas unidades (2000) de horno de craqueo a vapor comprende uno o más hornos (210) de craqueo a vapor eléctricos, y porque la primera unidad (1000) de horno de craqueo a vapor o cada una de la pluralidad de primeras unidades (1000) de horno de craqueo a vapor comprende medios para precalentar al menos una parte del aire de combustión suministrado a su horno u hornos (110) de craqueo a vapor de inyección hasta un nivel de temperatura de al menos 100 °C.
- 30







**Figura 3**



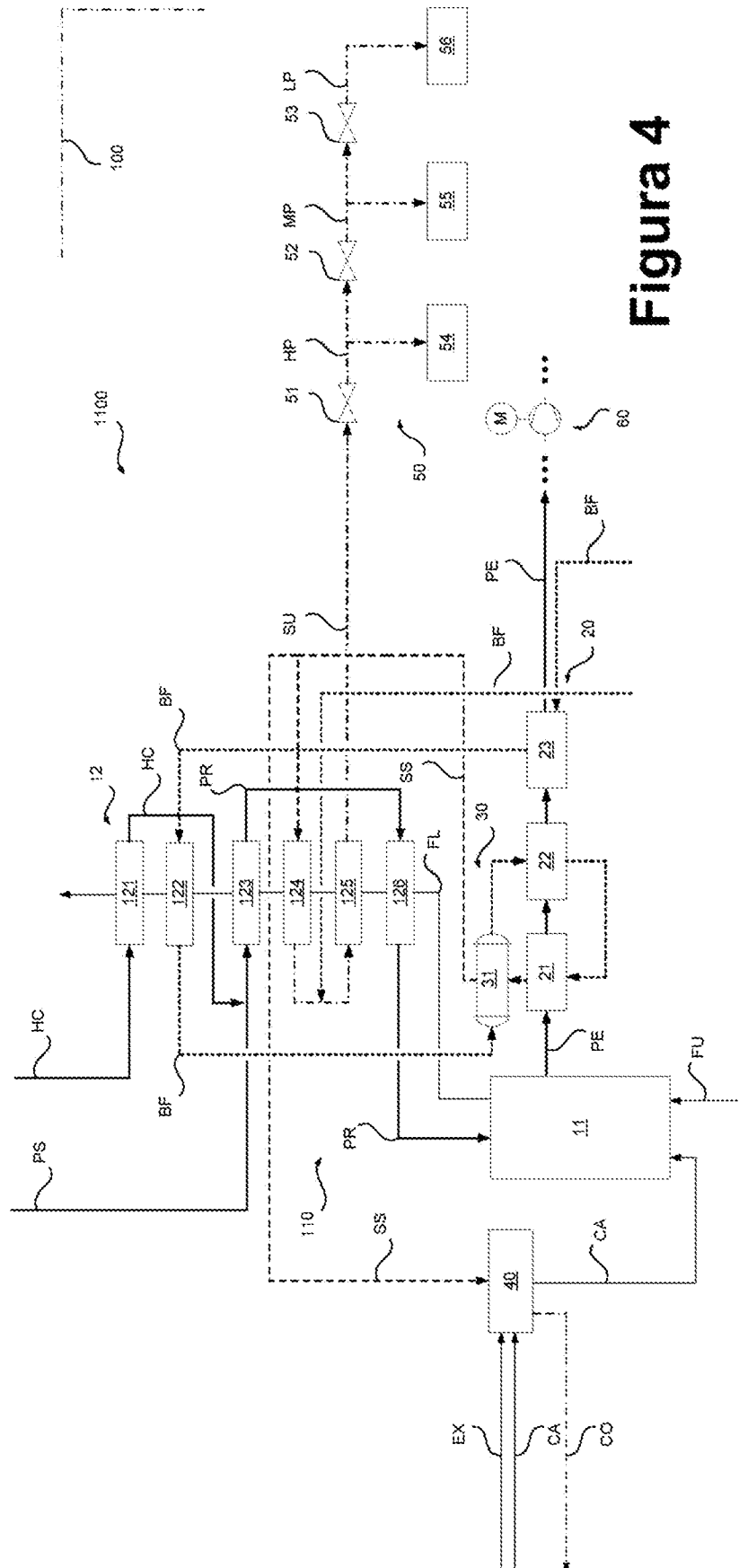


Figura 4

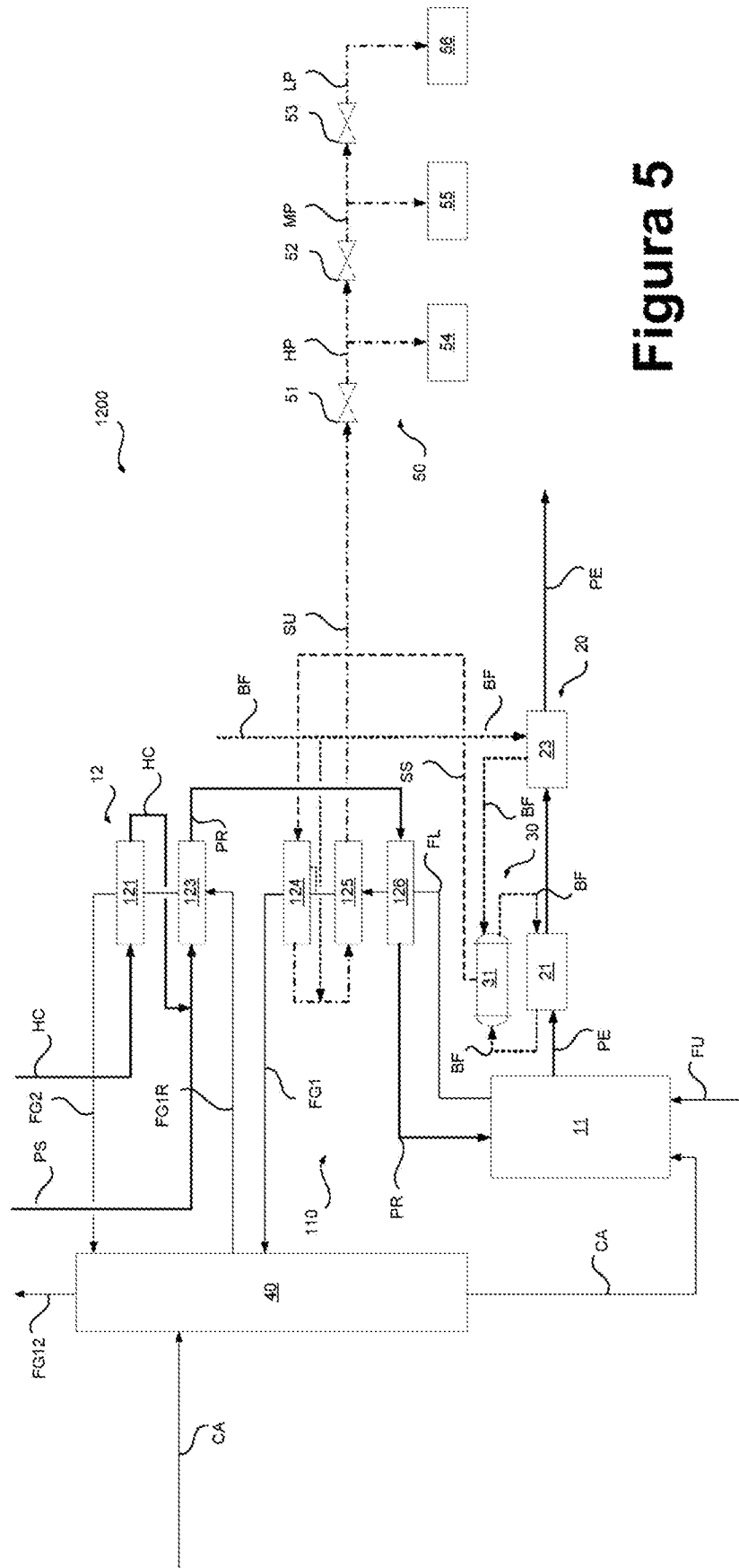


Figura 5

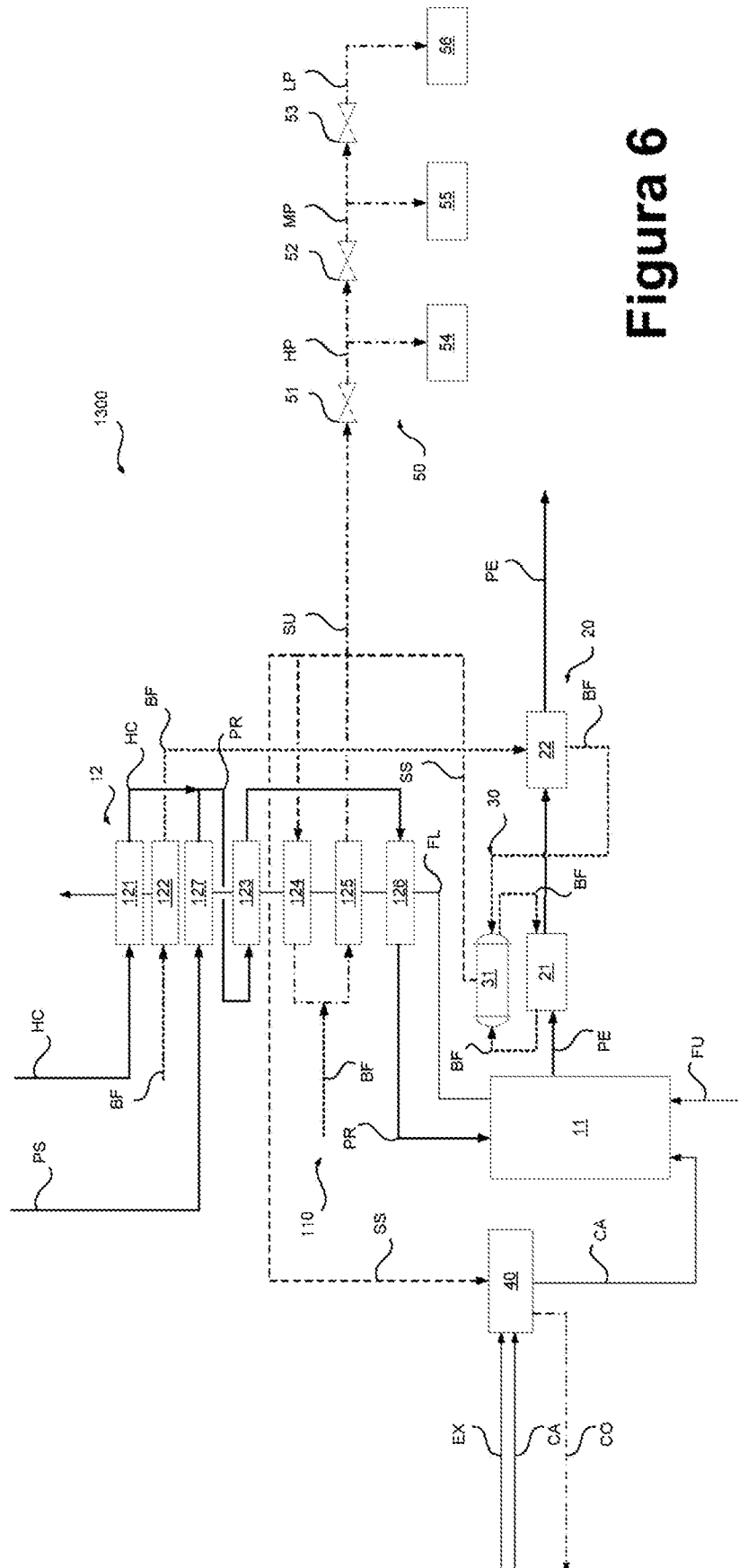


Figura 6

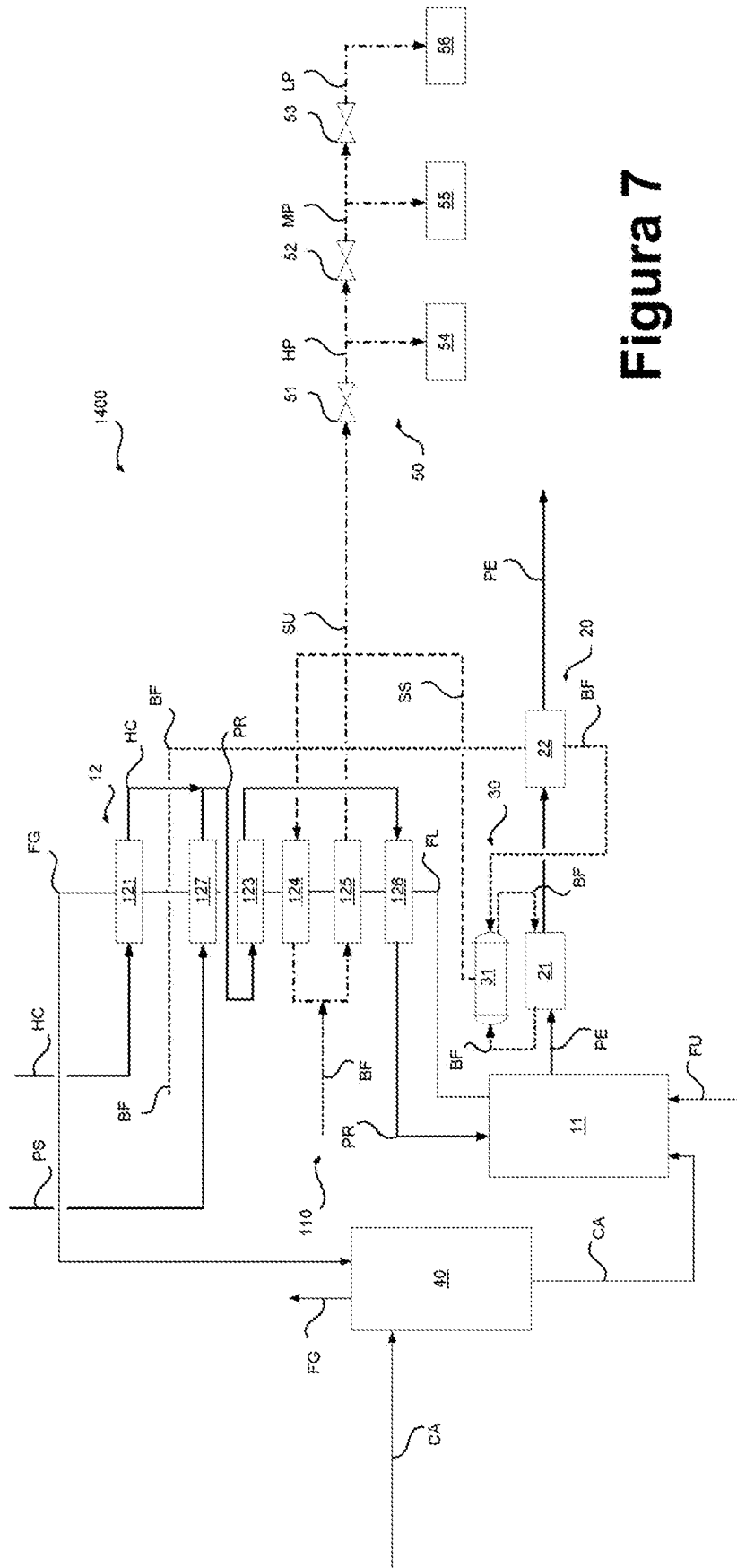


Figura 7

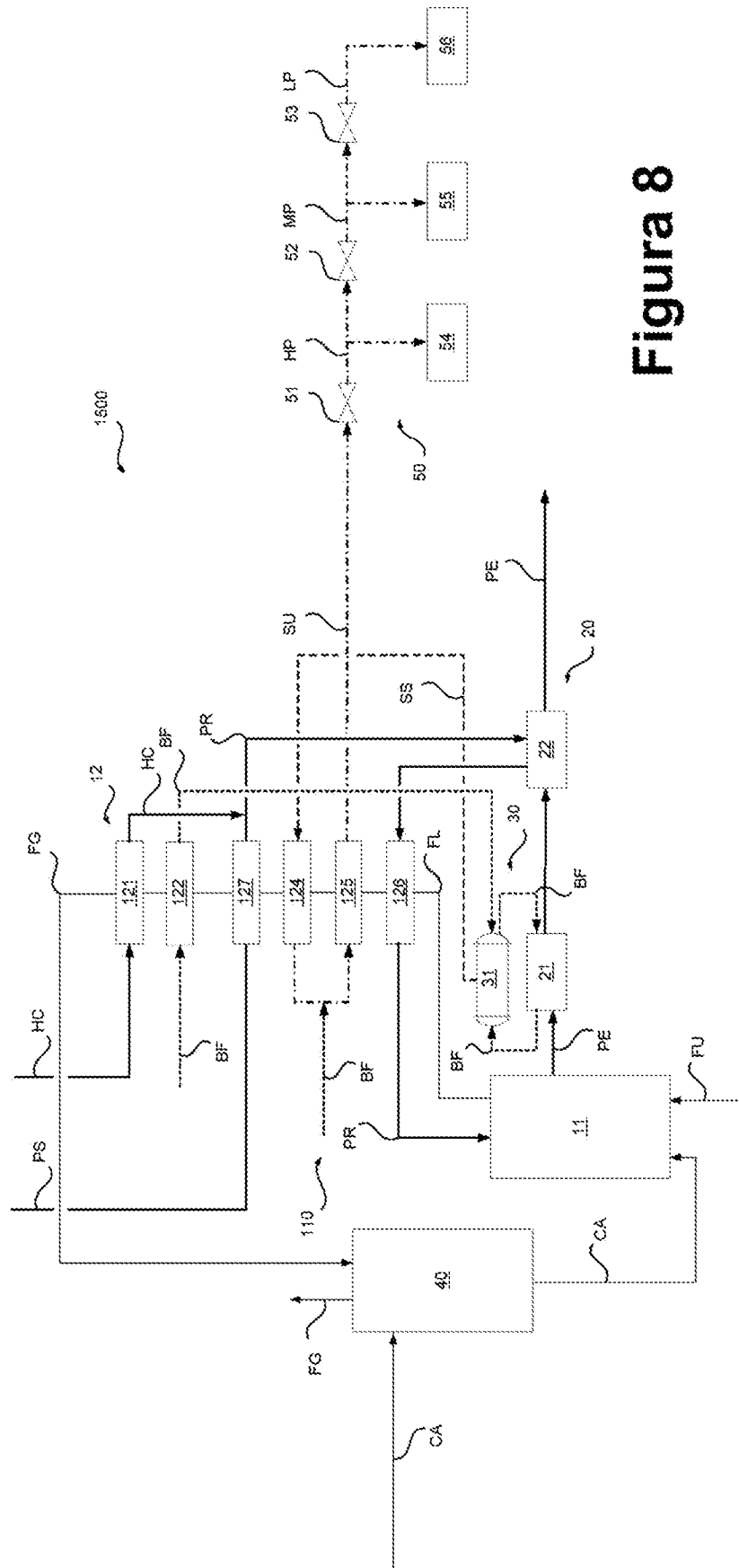
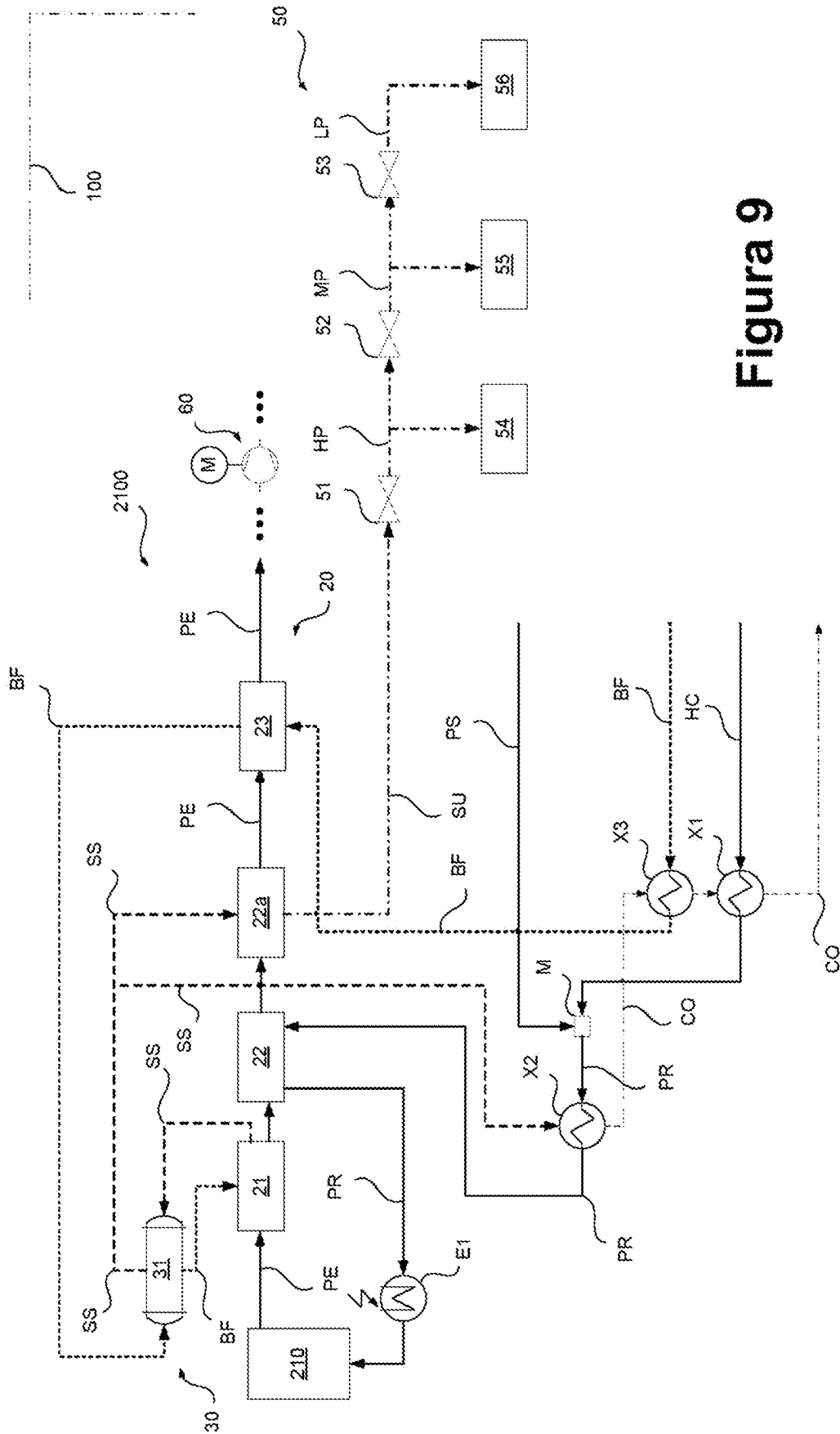
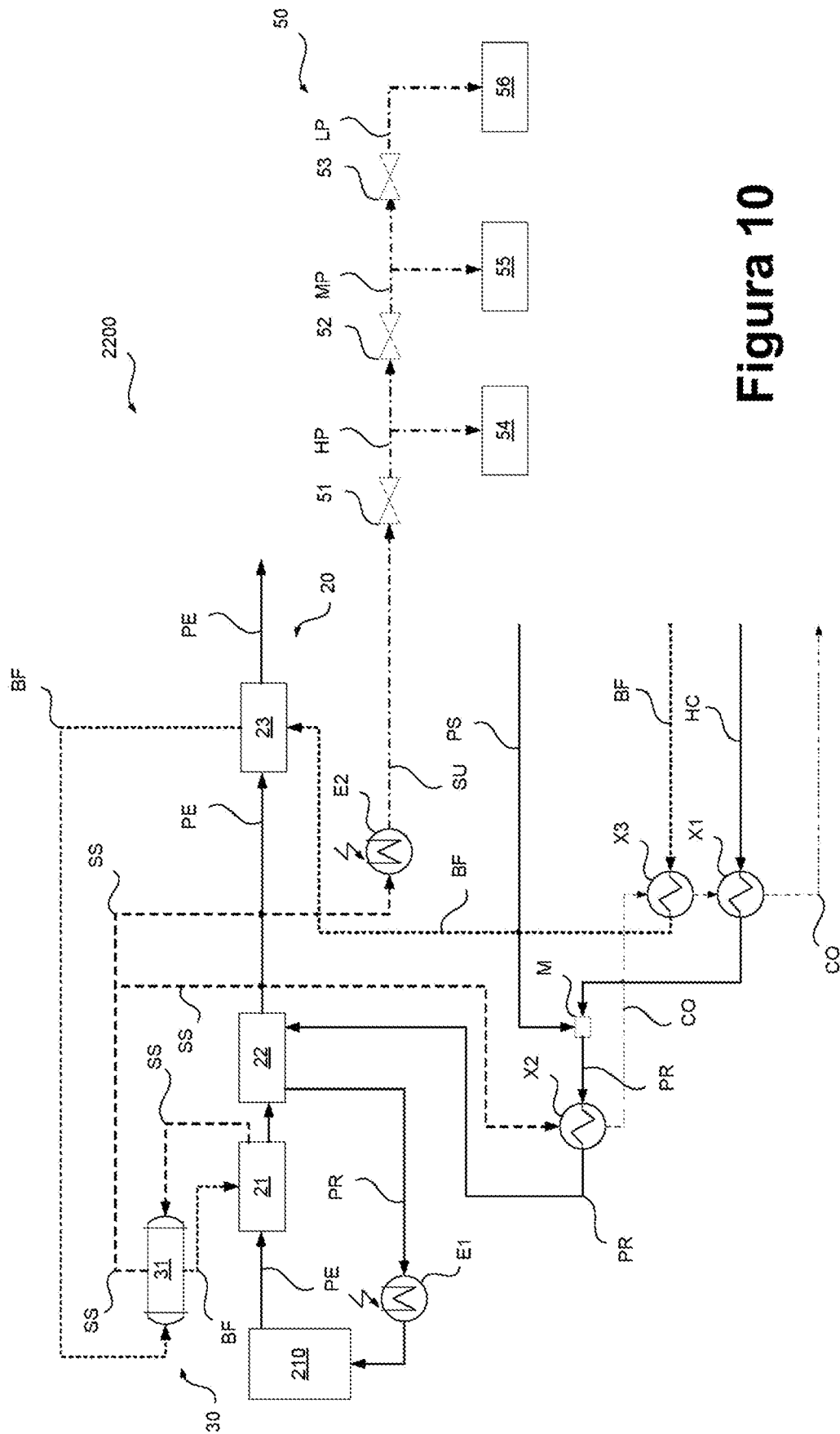


Figura 8



## Figura 9



## Figura 10

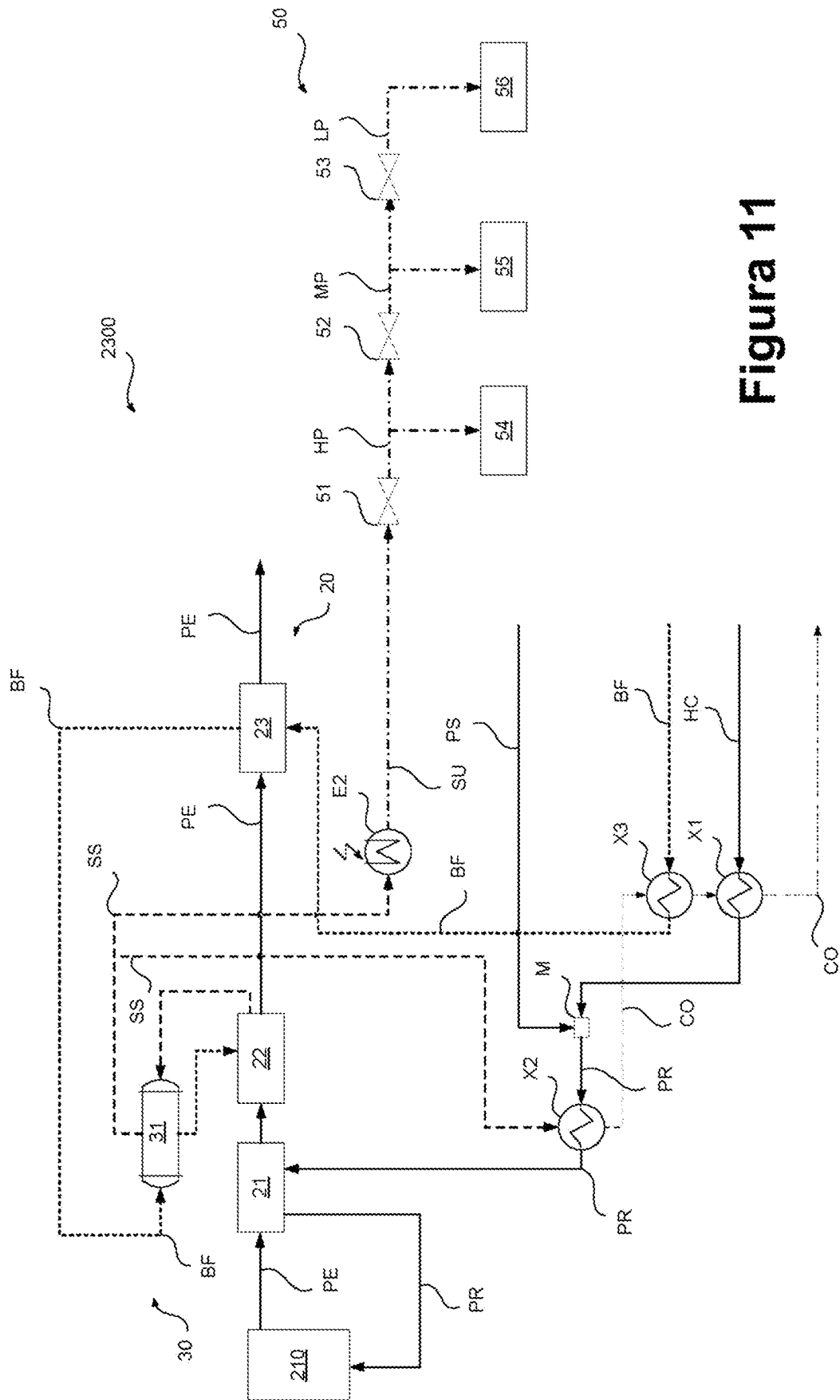


Figura 11



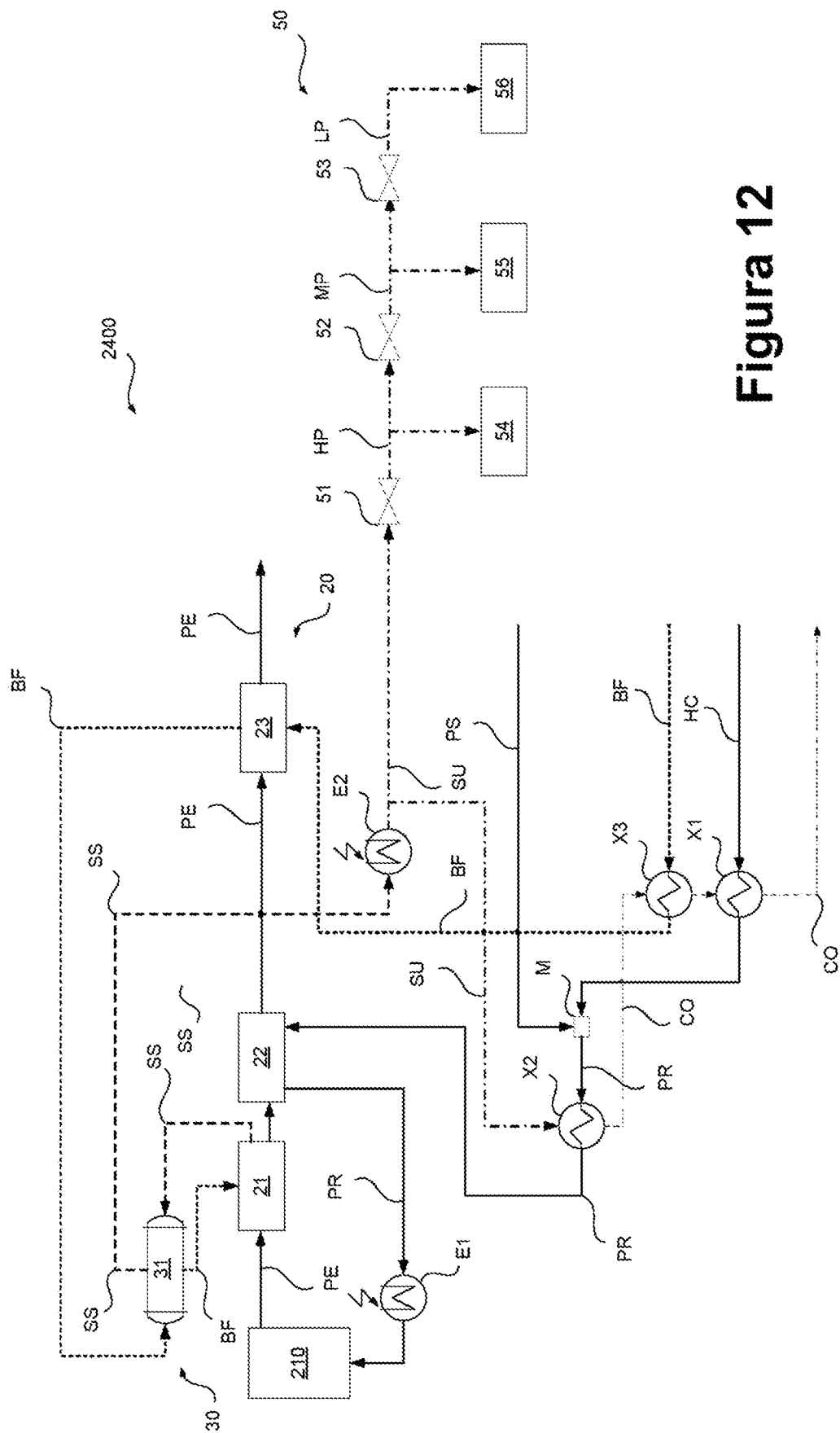
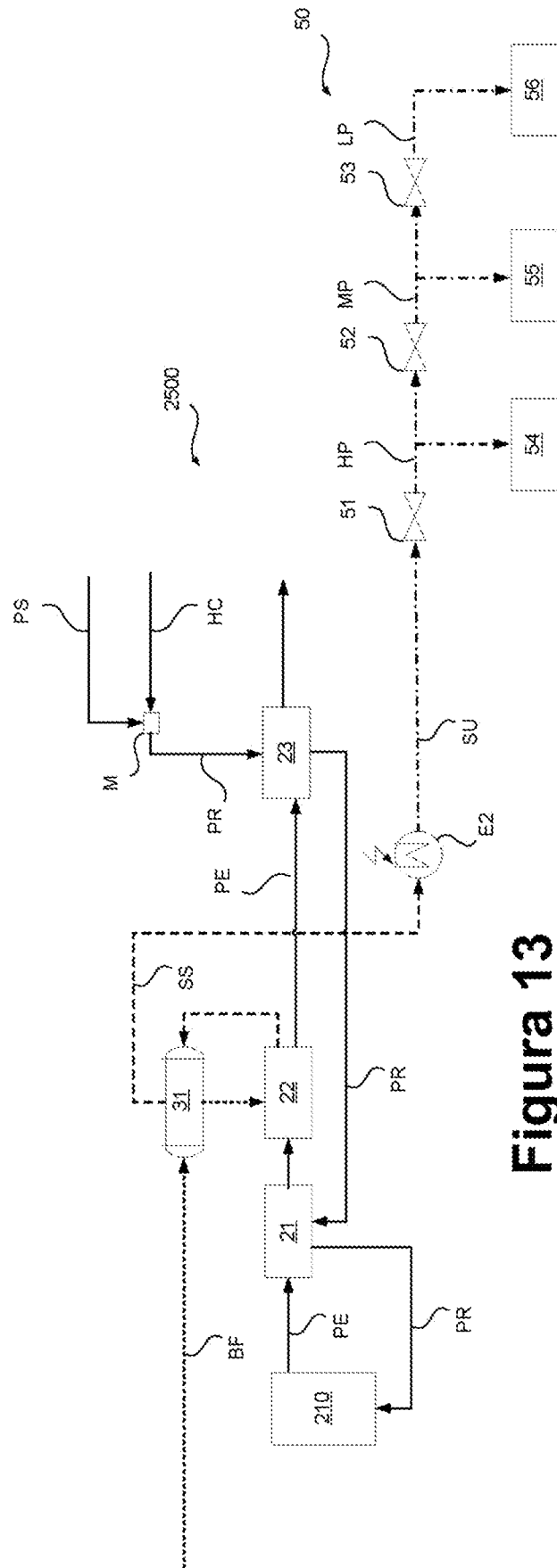
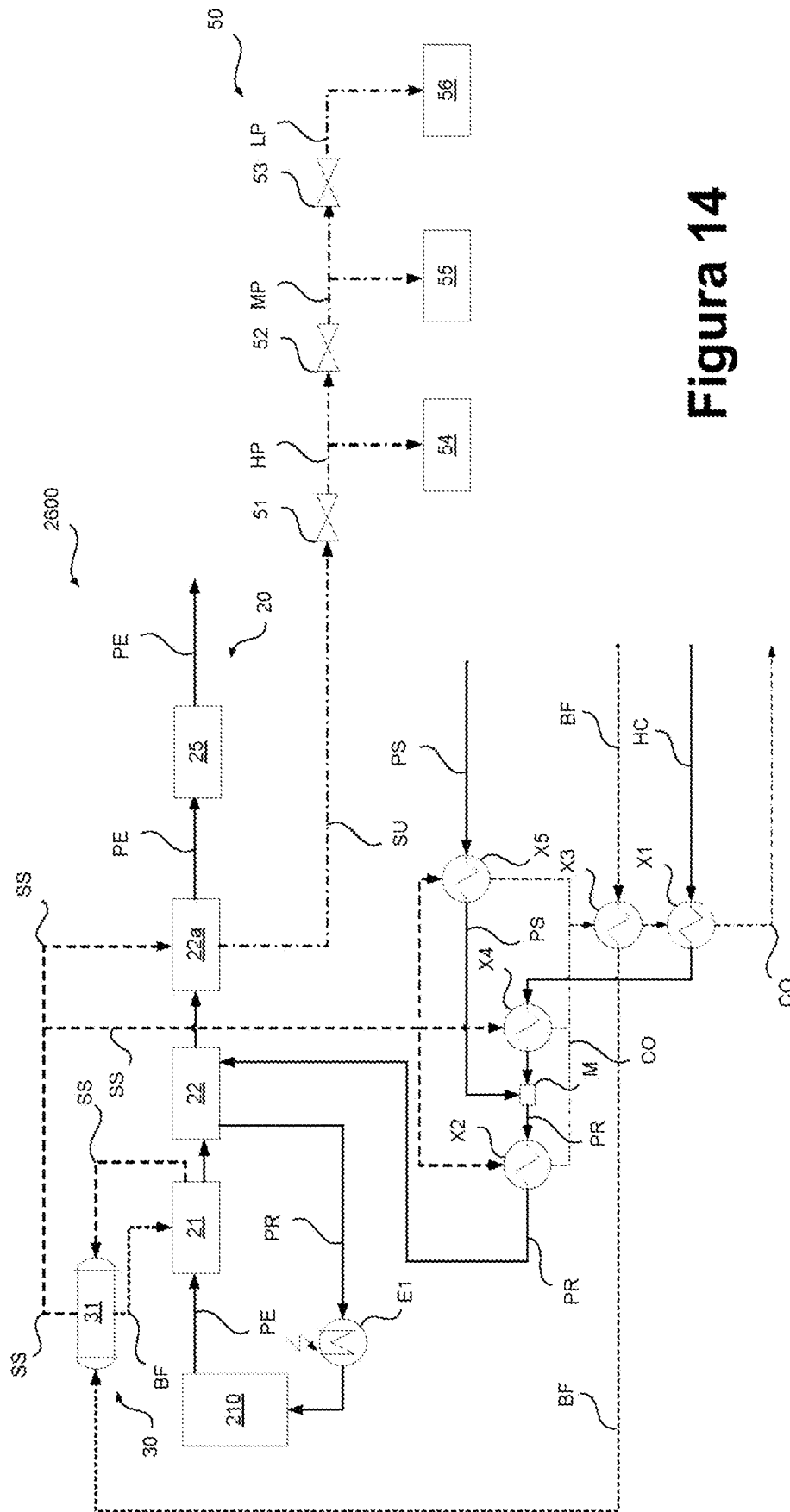


Figura 12



## Figura 13



# Figura 14

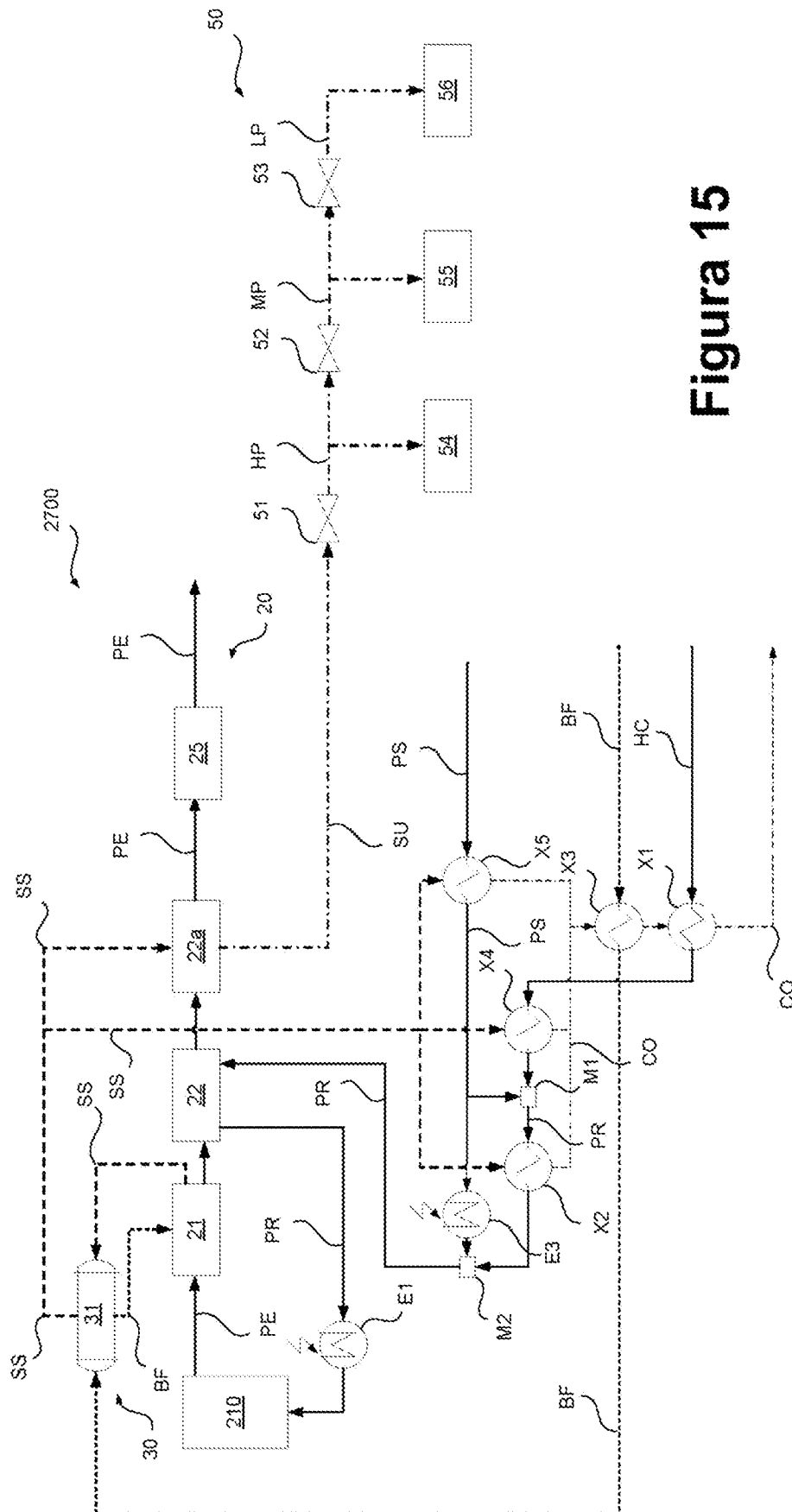


Figura 15

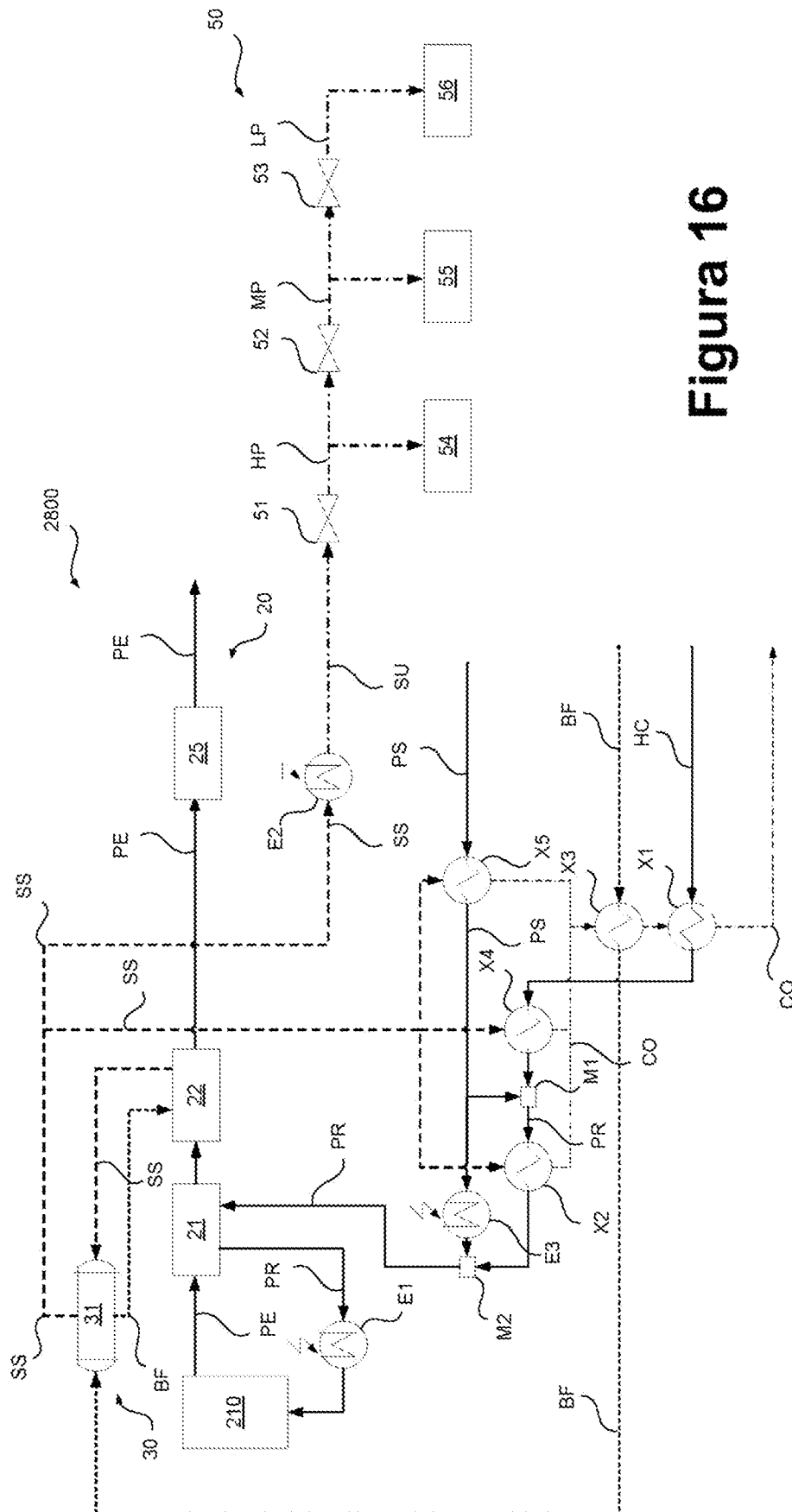
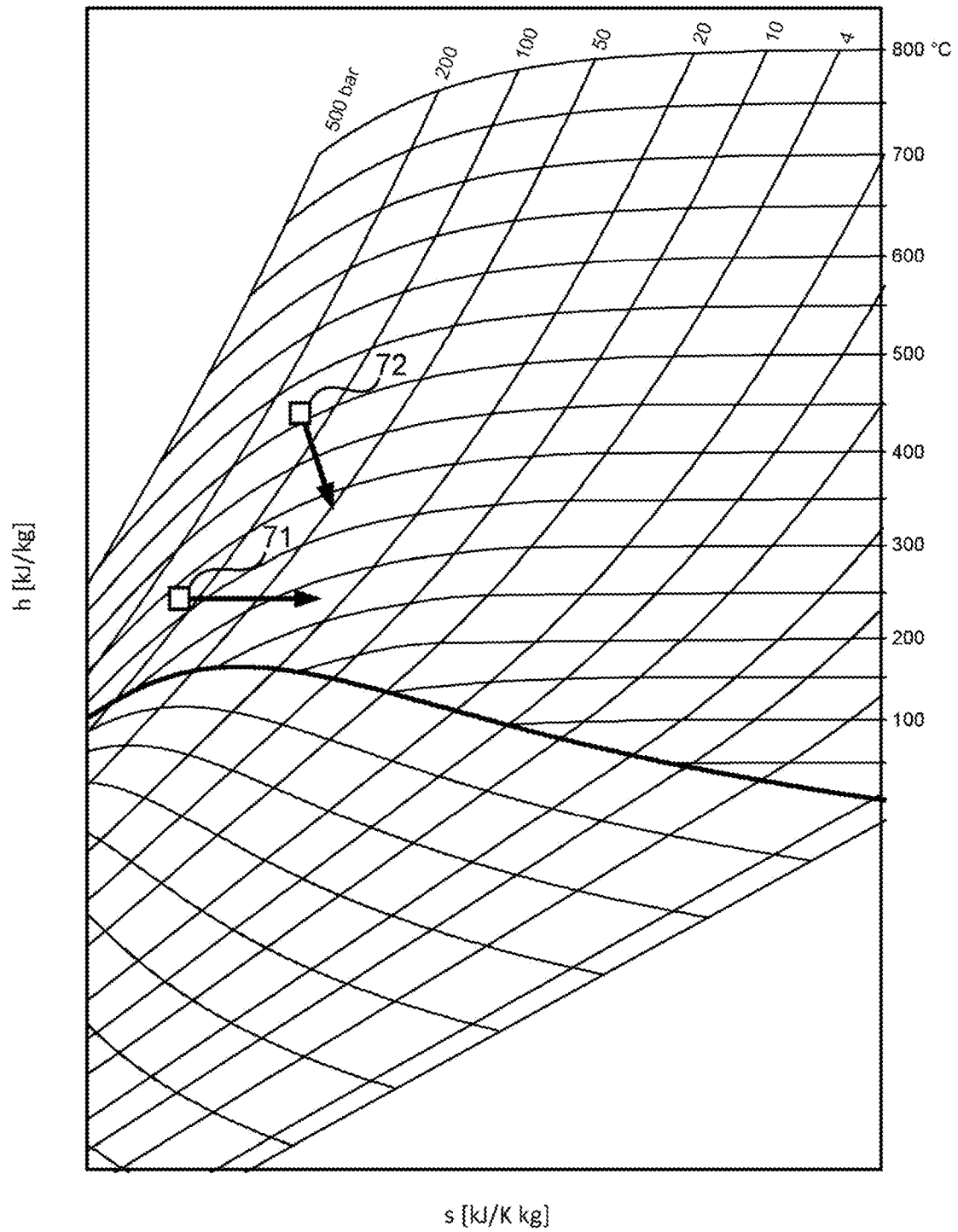
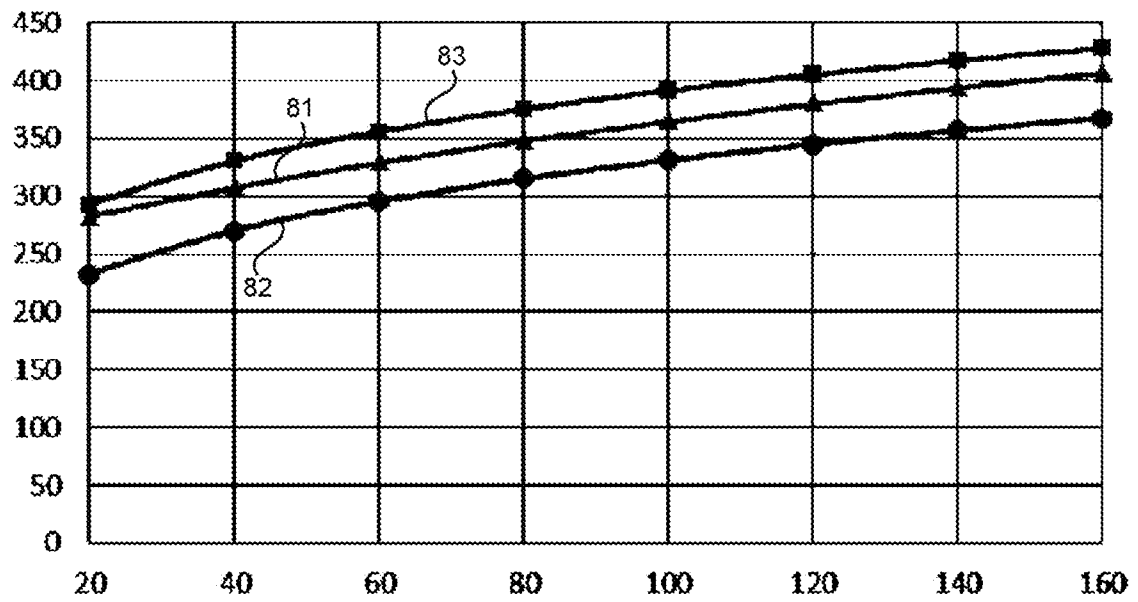


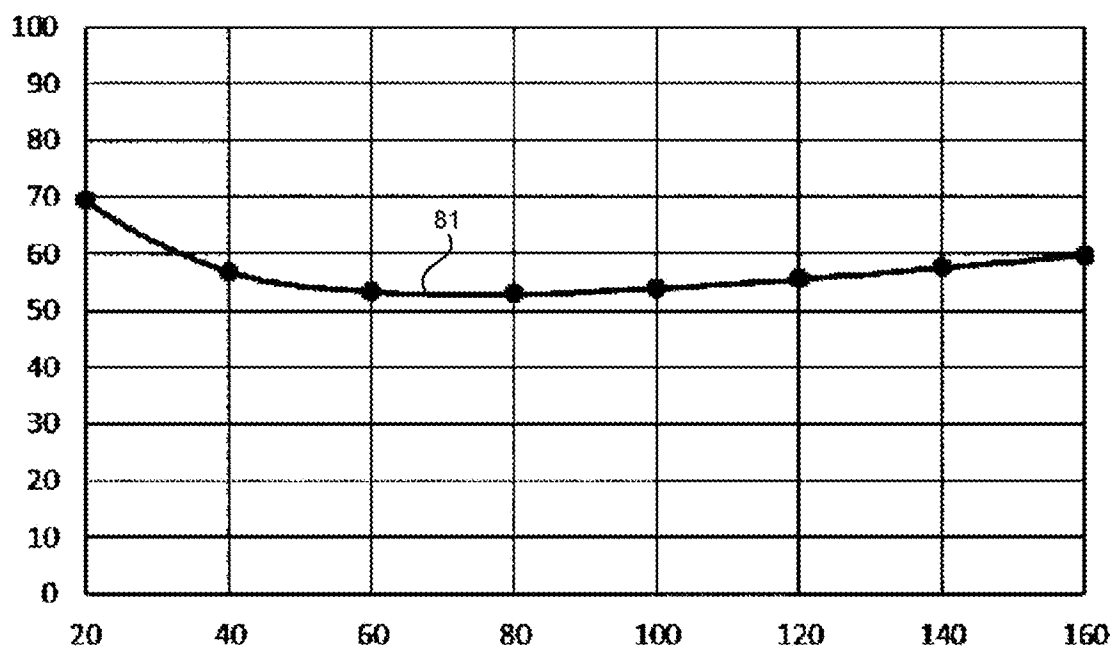
Figure 16



**Figura 17**



**Figura 18**



**Figura 19**

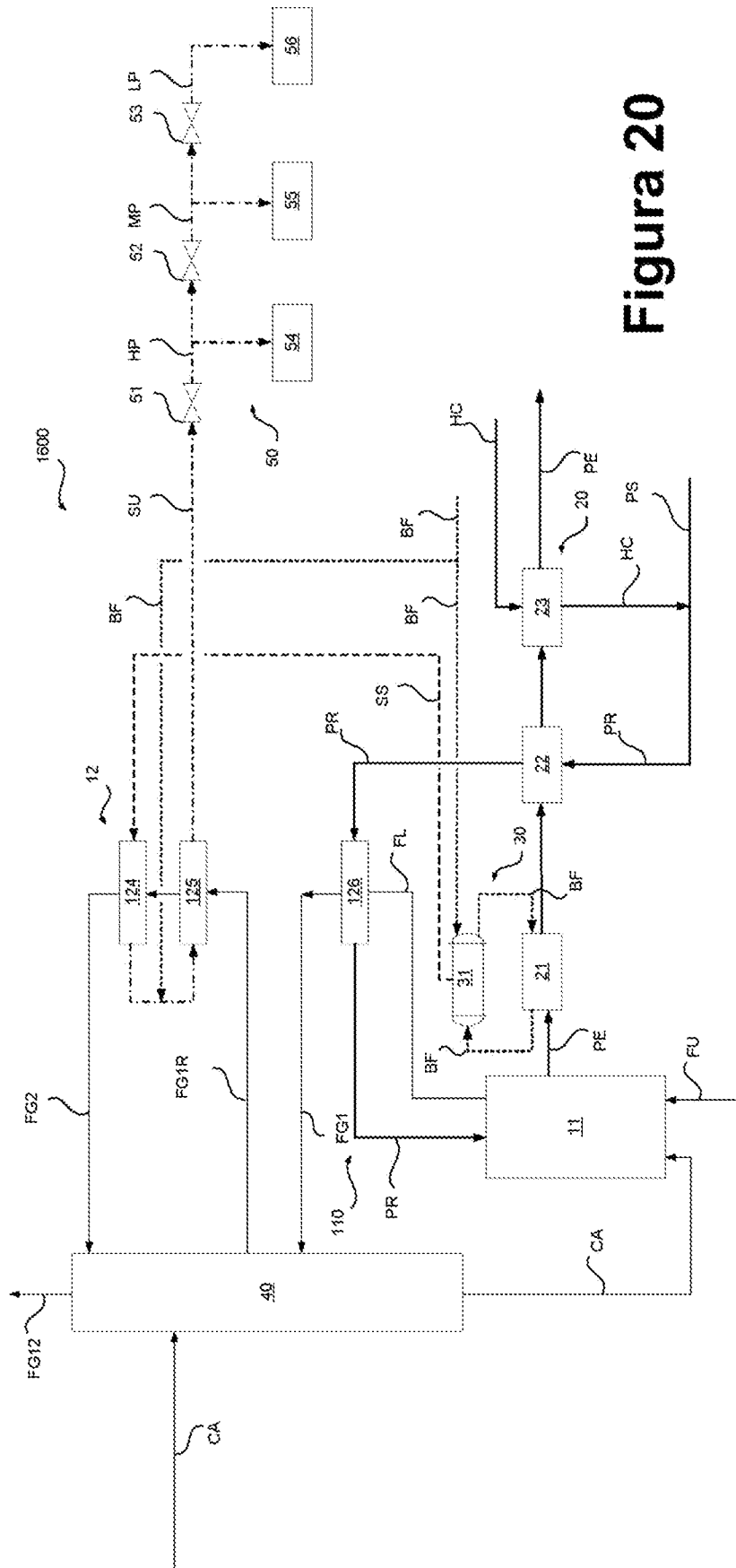


Figura 20