

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 989 853**

51 Int. Cl.:

C10G 9/36

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.03.2022 PCT/EP2022/055873**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.09.2022 WO22189421**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.03.2022 E 22710121 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2024 EP 4305129**

54 Título: **Método y aparato para craqueo con vapor**

30 Prioridad:

10.03.2021 EP 21161729

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

27.11.2024

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ZELHUBER, MATHIEU;
BRUDER, DAVID;
HÖRENZ, MICHAEL;
GLOMB, STEFAN y
EBERSTEIN, CHRISTOPHER**

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 989 853 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 aparato para craqueo con vapor

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

Antecedentes de la invención

- 10 La presente invención se refiere al craqueo con vapor (craqueo térmico, etc.) que se utiliza para la producción de olefinas y otros productos químicos básicos, y que 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. Con respecto a los términos utilizados a continuación, también se hace referencia a la bibliografía especializada correspondiente.

- 15 Para el inicio y el mantenimiento de las reacciones endotérmicas, en el craqueo con vapor la energía térmica requerida la proporciona normalmente la combustión del gas de calentamiento en una cámara de combustión, que forma lo que se conoce como la zona de radiación de un horno de craqueo u horno craqueador, y a través de la cual se conduce lo que se conoce como bobinas (tubos de craqueo), a través de las cuales pasa una mezcla de hidrocarburo-vapor que se va a hacer reaccionar para obtener una mezcla de productos, denominada gas bruto o de craqueo. En las
20 aplicaciones más frecuentes, el aire de combustión requerido para la combustión se conduce a la zona de radiación sin precalentamiento (lo que se denomina tiro natural) y se somete a combustión allí junto con el gas de calentamiento. En la Figura 1 adjunta, que se explica primero a continuación, se muestra una ilustración simplificada con los signos de referencia correspondientes.

- 25 Un horno craqueador 10 mostrado en la Figura 1 o una unidad de horno correspondiente (también denominada en este caso horno de craqueo u horno para abreviar) comprende la zona 11 de radiación y una zona 12 de convección. Un sistema de craqueo con vapor puede contener múltiples hornos craqueadores 10 correspondientes. A continuación, están disponibles múltiples hornos craqueadores 10 como componentes del sistema o unidades denominadas
30 centrales, las unidades periféricas se proporcionan por separado para cada horno craqueador 10.

- Una entrada de hidrocarburo H se calienta mediante un precalentamiento 20 de entrada central, mostrado a modo de ejemplo, y se proporciona un generador 30 central de vapor de procedimiento, y un vapor de procedimiento P, que se calienta adicionalmente en la zona 12 de convección de una manera conocida de por sí (véase en particular también la
35 Figura 4), se combina para formar una corriente de alimentación F y, a continuación, se alimenta a la zona 11 de radiación. Tal como se ha mencionado, la ilustración según la Figura 1 está muy simplificada y es simplemente a modo de ejemplo. Así, por ejemplo, en lo que se denomina control ajustado, una corriente de alimentación correspondiente ya puede dividirse en múltiples flujos parciales en la región de la zona 12 de convección, precalentándose luego dichos flujos parciales por separado unos de otros y, finalmente, siendo capaces de guiarse en la zona 11 de radiación mediante
40 grupos de, por ejemplo, seis u ocho tubos de craqueo en cada caso. En este caso y en lo que sigue, las unidades centrales pueden sustituirse en cualquier momento por unidades periféricas y viceversa.

- El gas de craqueo C se extrae de la zona 11 de radiación, gas que puede enfriarse por medio de uno o más enfriadores de gas de craqueo 13, que pueden formarse en particular como enfriadores de extinción conocidos o pueden comprender dichos enfriadores de extinción, y que al mismo tiempo también pueden funcionar como generadores de
45 vapor, y luego pueden alimentarse a la separación central de gas de craqueo y a la preparación de gas de craqueo 90. Más adelante se explican detalles adicionales de los enfriadores de extinción correspondientes, que pueden diseñarse en particular como enfriadores de extinción convencionales o lo que se conoce como intercambiadores de extinción lineales (LQE). La invención no está limitada por una realización específica.

- 50 El agua de alimentación W se proporciona por medio de un sistema 40 central de agua de alimentación, agua que, en el ejemplo mostrado, también se calienta en la zona 12 de convección y, posteriormente, se calienta aún más y finalmente se evapora por medio de uno o más enfriadores de gas de craqueo 13, obteniendo vapor de alta presión o superalta presión S (en adelante también denominado vapor saturado para abreviar). En el ejemplo mostrado, el vapor saturado S se sobrecalienta en la zona 12 de convección, obteniendo vapor de alta presión sobrecalentado o vapor
55 de superalta presión sobrecalentado T (en adelante también denominado, de manera simplificada, vapor sobrecalentado), y se alimenta a un sistema de vapor central 50.

- 60 Por medio de un sistema central de gas de calentamiento 60, que está conectado corriente abajo del posible precalentamiento 65 central de gas de calentamiento, en el que se utilizan agentes de procedimiento o auxiliares, tales como vapor sobrecalentado a alta, media o baja presión, agua de lavado y/o aceite de extinción, pero también corriente eléctrica, como medios de calentamiento o fuentes de calor, el gas de calentamiento de alimentación Y se calienta para formar el gas de calentamiento precalentado X y se alimenta en la zona 11 de radiación o en los quemadores de la misma (no ilustrados por separado).

- 65 En la realización ilustrada en este caso, el aire de combustión L pasa a través de una entrada de aire 79 a la zona 11 de radiación o a los quemadores de la misma. El gas de combustión Z se descarga desde la zona 11 de radiación,

gas que pasa a través de la zona 12 de convección y luego se descarga al tratamiento de gases de escape o a una chimenea central o periférica 80, con o sin un soplador, y de ese modo a la atmósfera.

5 El precalentamiento 65 central de gas de calentamiento ilustrado en la Figura 1 es opcional. También es posible un precalentamiento periférico de gas de calentamiento (es decir, por separado para los hornos craqueadores 10 individuales o las unidades de horno). Lo mismo se aplica al precalentamiento de la entrada y a la generación de vapor del procedimiento, que también puede llevarse a cabo de manera periférica, como alternativa al diseño central.

10 Se sabe por la técnica anterior que el precalentamiento del aire de combustión puede aplicarse como una medida para aumentar la eficiencia con el fin de ahorrar gas de calentamiento y, de esta manera, reducir el consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono. Las realizaciones correspondientes se muestran en las Figuras 2 y 3, la Figura 2 muestra la compresión central de aire de combustión 70 y la Figura 3 la compresión periférica y el precalentamiento 75 de aire de combustión.

15 En general, el término "aumento de la eficiencia" puede entenderse en este caso, en particular, como un aumento de lo que se conoce como eficiencia específica, que a su vez se entiende que significa la parte de la energía de gas de calentamiento introducido que se recupera en los productos formados, en este caso el gas de craqueo. Esto difiere de lo que se conoce como eficiencia térmica, es decir, la parte de la potencia de combustión incompleta que se recupera en los productos y otros medios (gas de craqueo o vapor) o, dicho de otro modo, la parte que no se pierde como pérdida de calor en el entorno (a través de chimenea, superficies calientes, fugas). La eficiencia específica aumenta con el precalentamiento del aire, ya que se requiere menos combustión incompleta con la misma cantidad de gas de craqueo. La eficiencia térmica, por el contrario, no aumenta necesariamente con la aplicación del precalentamiento de aire, ya que posiblemente también esté limitada por una temperatura mínima de suministro de gases de escape (véase más adelante).

25 A continuación, las unidades dispuestas central y periféricamente están provistas de los mismos signos de referencia. El tipo de disposición se deriva del posicionamiento ilustrado dentro o fuera del horno craqueador 10 respectivo o de la unidad de horno, estando presente una disposición periférica en el caso de posicionamiento en el interior y una disposición central en el caso de posicionamiento en el exterior. Por ejemplo, una compresión central de aire de combustión 70 también puede tener lugar en el caso del precalentamiento periférico de aire de combustión 75. En lo sucesivo, el aire de combustión también se denomina aire, de forma abreviada, y su precalentamiento también se denomina, de forma abreviada, precalentamiento de aire.

35 En el precalentamiento de aire puede tener lugar, por ejemplo, el uso de vapor sobrecalentado o, según el uso, también vapor que no esté sobrecalentado, a alta, media o baja presión, o agua de lavado y/o aceite de extinción como medio de calentamiento, o corriente eléctrica como fuente de calor. También es posible el uso de calor transferido directamente de la corriente de gases de escape Z como fuente de calor. El uso del vapor de alta presión o superalta presión sobrecalentado T mostrado en las figuras es opcional y se lleva a cabo dependiendo de la temperatura de precalentamiento seleccionada.

40 De este modo, el aire de combustión precalentado puede proporcionarse, una vez más combinado, de manera central o periférica. Dependiendo de la disponibilidad y de la temperatura de precalentamiento deseada, es posible utilizar vapor a presión superalta (sobrecalentado), vapor a alta presión (sobrecalentado), vapor a presión media (sobrecalentado), vapor a baja presión (sobrecalentado), vapor saturado, agua de lavado o aceite de extinción, como medios de calentamiento, por ejemplo, a partir de separación de gas de craqueo y preparación de gas de craqueo, o gases de escape tras salir de la zona de convección, normalmente en el caso de una disposición periférica del precalentamiento del aire.

45 En este caso se entiende por vapor a baja presión generalmente vapor a un nivel de presión de 1 a 10 bar de presión absoluta (abs.), en particular de 4 a 8 bar (abs.), por vapor a media presión se entiende vapor a un nivel de presión de 10 a 30 bar (abs.), en particular de 15 a 25 bar (abs.), por vapor a alta presión se entiende vapor a un nivel de presión de 30 a 60 bar (abs.), en particular de 35 a 50 bar (abs.), y se entiende por vapor a superalta presión el vapor a un nivel de presión de 60 a 175 bar (abs.), en particular de 80 a 125 bar (abs.). Si posteriormente se hace referencia al vapor a alta presión en lo que sigue, para abreviar, también debe entenderse el vapor a superalta presión.

55 El término nivel de presión superalta se refiere al nivel de presión especificado para el vapor a presión superalta, independientemente de si se especifica para el propio vapor o, por ejemplo, para el agua de alimentación utilizada para formar el vapor. Lo mismo se aplica a los términos nivel de presión alto, nivel de presión medio y nivel de presión bajo.

60 Para proporcionar el nivel de presión requerido para el flujo a través del precalentador de aire utilizado en el precalentamiento del aire, o para compensar la pérdida de presión correspondiente, el aire aspirado de la atmósfera puede comprimirse mediante un ventilador accionado en la compresión de aire, ya sea de manera central o periférica. Alternativamente, también es posible utilizar un soplador dispuesto corriente abajo del precalentamiento de aire, lo que provoca una succión correspondiente.

65 El precalentamiento del aire se describe en relación con el craqueo con vapor, por ejemplo, en los documentos US 3.426.733 A, EP 0 229 939 B1 y EP 3 415 587 A1, y en relación con el precalentamiento de aire en calderas, por ejemplo, en los documentos DE 10 2004 020 223 A1 y WO 2013/178446 A1.

Se sabe por el documento US 4.321.130 A que el aire de combustión puede precalentarse antes de introducirlo en un horno de craqueo en un sistema para la conversión pirólítica y la separación de hidrocarburos con la ayuda de corrientes de agua inferiores, superiores y/o de extinción, que se descargan desde una unidad de fraccionamiento primaria, que está conectada externamente al reactor de pirólisis, para optimizar la eficiencia térmica del procedimiento global.

El documento US 2020/172814 A1 describe un sistema de horno de craqueo para convertir un material de entrada de hidrocarburos en gas de craqueo, comprendiendo el sistema de horno de craqueo una parte de convección, una parte radiante y una parte de enfriamiento, la parte de convección incluye una pluralidad de baterías de tubos de convección configuradas para absorber y precalentar el material de alimentación de hidrocarburos, la parte radiante incluye un espacio de combustión que comprende al menos una bobina radiante configurada para calentar el material de entrada hasta una temperatura que permite una reacción de pirólisis, incluyendo la porción de enfriamiento al menos un intercambiador de calor de línea de transferencia.

El precalentamiento de aire generalmente mejora la transferencia de calor en la zona de radiación y reduce el requerimiento de combustible del horno. Por tanto, con la misma carga del horno (entendida aquí en particular como la misma cantidad de hidrocarburos y la misma intensidad de craqueo, lo que da como resultado la misma corriente de producto), debe gastarse en general menos potencia de combustión y, al mismo tiempo, se transfiere una mayor parte relativa de la energía de los gases de escape al gas de procedimiento. Por un lado, esto da como resultado que se reduzca el flujo másico de los gases de escape, como resultado de lo cual se reducen las emisiones de combustión y la salida de calor residual de la chimenea a la atmósfera. Por otro lado, de esto se deduce que la cantidad de calor que queda en los gases de escape a la salida de la zona de radiación se reduce significativamente en comparación con un horno no precalentado.

Sin embargo, en el caso de temperaturas de precalentamiento crecientes, esto conduce a dificultades en el diseño y el funcionamiento de la zona de convección corriente abajo. En dicha zona, la entrada de hidrocarburos que va a dividirse y el vapor de procedimiento asociado se precalientan hasta temperaturas de 550 a 700 °C. Además, el agua de alimentación de caldera suministrada al horno a un nivel de presión alto o superalto normalmente se precalienta a de 100 a 110 °C en la zona de convección, se evapora en el enfriador de gas de craqueo y, finalmente, se sobrecalienta en la zona de convección.

Debido a la reducida disponibilidad de calor de los gases de escape en la zona de convección, se plantea la dificultad en el caso de altas temperaturas de precalentamiento de aire, ya que, con la misma carga del horno, la capacidad de precalentamiento requerida para la entrada de hidrocarburos y el vapor de procedimiento, así como la capacidad de sobrecalentamiento requerida para la corriente de vapor saturado producida en el enfriador de gas de craqueo, prácticamente no cambian. Por tanto, la falta de calor de los gases de escape se nota en el precalentamiento de agua de alimentación, que a veces debe restringirse. Además, en el caso de los haces de convección superiores en la zona de convección, es decir, las unidades de intercambio de calor dispuestas aquí, para la transferencia de calor de los gases de escape a los medios que van a calentarse, las temperaturas de entrada de los gases de escape disminuyen significativamente en comparación con el horno no precalentado. Como resultado de la disminución de los gradientes de temperatura, el requerimiento de área de superficie de los haces de convección es, por tanto, significativamente mayor, lo que requiere un mayor desembolso estructural.

En el documento EP 3 415 587 A1 se pretende resolver este problema, por ejemplo, mediante un sistema de bomba de calor o introduciendo agua de alimentación no precalentada en el tambor de vapor. Sin embargo, las soluciones propuestas en dicho documento conducen a un elevado desembolso adicional en cuanto a aparatos, debido a la bomba de calor requerida y/o a la modificación significativa de las realizaciones de enfriamiento de gas de craqueo y generación de vapor, para las que, en particular, aún no se han proporcionado pruebas de capacidad de funcionamiento permanente.

Por tanto, la presente invención pretende proporcionar soluciones por medio de las cuales sea posible un funcionamiento económico, eficiente y prácticamente implementable de un sistema de craqueo con vapor.

Descripción de la invención

Con estos antecedentes, la presente invención propone un método y un sistema para realizar un craqueo con vapor según los preámbulos de las reivindicaciones independientes. Las realizaciones ventajosas forman el contenido de las reivindicaciones dependientes, así como la siguiente descripción.

La presente invención permite realizar un diseño extremadamente compacto de la zona de convección, visto aquí como la suma de las alturas de los haces de convección individuales en el canal de gases de escape, una construcción simple de las líneas de chimenea corriente abajo de la zona de convección y una utilización máxima del calor de los gases de escape, es decir, una temperatura de salida de los gases de escape baja en la chimenea. Además, puede lograrse un requisito mínimo de combustible con la máxima producción posible de vapor a alta presión o superalta presión sobrecalentado.

En este caso, el concepto central de la presente invención es el uso de agua de alimentación, es decir, agua que se usa posteriormente para producir vapor a (super)alta presión, para el precalentamiento del aire de combustión.

Las medidas propuestas según la invención, que conducen a un enfriamiento intermedio del agua de alimentación, contradicen la práctica habitual de aspirar a un precalentamiento máximo del agua de alimentación en la producción de vapor de las plantas de combustión. En este caso, en el contexto de la presente invención, se prescinde deliberadamente de una generación máxima de vapor para lograr la máxima recuperación de energía de los gases de escape con una complejidad estructural mínima. En este caso, la disminución de la producción de vapor es particularmente ventajosa a la luz de las futuras realizaciones de los sistemas de craqueo con vapor, ya que esto permite un mayor uso de preferiblemente lo que se conoce como electricidad verde para accionar máquinas. De esta manera, las emisiones de dióxido de carbono del sistema pueden reducirse aún más en general. El uso de la combustión se minimiza al máximo rendimiento energético de la combustión restante de combustibles fósiles.

Si bien en el caso de una aplicación de caldera de vapor puro solo debe optimizarse el grado de utilización del combustible para la generación de vapor, la situación en un horno de craqueo con vapor es mucho más difícil. La generación de vapor aquí, después de la conversión química del material de entrada, es solo la tarea secundaria o un requisito para utilizar las cantidades de calor obtenidas. Por consiguiente, el uso de las medidas según la invención en el horno de craqueo con vapor influye no solo en el grado de utilización del combustible en general, sino también, en particular, en la distribución entre el uso del procedimiento químico y la generación de vapor. Por tanto, las medidas que se proporcionan en las calderas de vapor puro no pueden transferirse fácilmente a los sistemas de craqueo con vapor.

En otras realizaciones según la invención y no según la invención, como alternativa o además de las medidas propuestas según la invención, puede tener lugar un uso de vapor a (super)alta presión específico para el horno como medio de calentamiento en el precalentamiento de aire, un uso combinado de agua de alimentación y vapor a (super)alta presión como medio de calentamiento en el precalentamiento de aire y/o gas de calentamiento, un uso de vapor a (super)alta presión como medio de calentamiento para el sobrecalentamiento de vapor de procedimiento y un uso de vapor saturado a (super)alta presión como medio de calentamiento para precalentamiento de entrada, o un uso combinado de vapor a (super)alta presión como medio de calentamiento para el sobrecalentamiento del vapor de procedimiento y el precalentamiento de entrada.

La presente invención parte de un método para hacer reaccionar uno o más hidrocarburos mediante craqueo con vapor, en el que se conducen una o más corrientes de entrada que contienen el uno o más hidrocarburos, obteniendo una o más corrientes de producto, es decir, corrientes de gas de craqueo o corrientes de gas bruto, a través de una o más zonas de radiación de uno o más hornos craqueadores, en donde una o más zonas de radiación se calientan quemando gas de calentamiento con aire de combustión, en donde al menos una parte del aire de combustión se somete a un precalentamiento de aire de combustión en donde se produce vapor a partir de agua de alimentación, y en donde el agua de alimentación se somete a precalentamiento de agua de alimentación en una o más zonas de convección de uno o más hornos craqueadores. Tal como se ha mencionado, las corrientes de entrada también pueden guiarse en una o más zonas de convección en paralelo, por ejemplo, según la división en múltiples grupos de tubos de craqueo en la zona de radiación.

Según la invención, como ya se ha mencionado, el precalentamiento de aire de combustión se lleva a cabo utilizando calor, que se extrae de al menos una parte del agua de alimentación corriente arriba del precalentamiento de agua de alimentación.

Por tanto, la invención comprende un suministro de agua de alimentación enfriada a la zona de convección de los hornos u hornos, con lo que puede lograrse el mayor enfriamiento posible y, por tanto, el uso energético de los gases de escape. Existen diversas variantes para la refrigeración del agua de alimentación, en las que, en particular, puede tenerse en cuenta la calidad del gas de calentamiento para evitar la corrosión en el conducto de gases de escape. Además del uso del agua de alimentación suministrada a los hornos como medio de calentamiento en un calentamiento de aire central o periférico, como se explica a continuación, el agua de alimentación puede usarse adicionalmente o, según realizaciones que no son según la invención, alternativamente, como medio de calentamiento en un precalentamiento de gas de calentamiento central o periférico. El enfriamiento puede, alternativamente y según realizaciones que no según la invención, tener lugar fuera del procedimiento del horno.

El precalentamiento del agua de alimentación puede llevarse a cabo en particular de tal manera que solo una primera parte del agua de alimentación, en particular ajustable, en uno o más precalentadores de aire de combustión se utilice para el intercambio de calor con al menos una parte del aire de combustión que va a calentarse y, opcionalmente, en uno o más precalentadores de gas de calentamiento para un intercambio de calor con al menos una parte del gas de calentamiento que va a calentarse y una segunda parte, en particular ajustable, del agua de alimentación se guía como un flujo de derivación alrededor del precalentador de aire de combustión y, opcionalmente, del precalentador de gas de calentamiento. La primera y la segunda partes pueden combinarse posteriormente de nuevo y luego alimentarse al agua de alimentación que se precalienta en la zona de convección.

En particular, en el caso de una capacidad de ajuste prevista de la primera y/o la segunda parte del agua de alimentación, es posible de esta manera controlar la temperatura del agua de alimentación a la entrada en la zona de convección. Esto último puede usarse en particular durante el funcionamiento para controlar la temperatura de salida

de los gases de combustión en la chimenea. Esto último depende en gran medida de la temperatura del agua de alimentación en un régimen de método de este tipo.

5 Con un control de temperatura de este tipo, es por tanto posible, en particular, por ejemplo con una composición de gas de calentamiento variable que podría conducir a un riesgo de corrosión en el caso de condensación parcial de los gases de escape, desplazar la temperatura de los gases de escape durante el funcionamiento, en particular temporalmente, hacia arriba. En este caso, se logra un menor precalentamiento del aire a través del agua de alimentación, y la potencia correspondiente puede compensarse mediante etapas posteriores de precalentamiento de aire o mediante un mayor suministro de combustible en el horno. En el caso de funcionamiento óptimo con una
10 composición de gas de calentamiento preferida, se busca una capacidad máxima de precalentamiento por medio del agua de alimentación, lo que también conduce a una utilización máxima del calor de los gases de escape.

Dicho de otro modo, la temperatura de los gases de escape puede ajustarse ajustando una parte del agua de alimentación que se usa en el precalentamiento de aire y, opcionalmente, también en el precalentamiento de gas de calentamiento, que puede tener lugar en particular en función de la temperatura de los gases de escape que se alcance o detecte en la zona de convección corriente abajo del precalentamiento de agua de alimentación.

En general, la presente invención se usa en un método en el que el vapor producido a partir del agua de alimentación comprende vapor a alta presión o superalta presión sobrecalentado o no sobrecalentado que se genera a partir del agua de alimentación corriente abajo del precalentamiento de agua de alimentación. En este caso, al menos una parte del agua de alimentación puede someterse a evaporación de agua de alimentación después del precalentamiento de agua de alimentación utilizando calor que se extrae de al menos parte de una o más corrientes de producto, en particular en uno o más enfriadores de extinción o de gas de craqueo, obteniendo vapor a alta presión o a presión superalta. Al menos una parte del vapor de alta presión o superalta presión puede someterse entonces a sobrecalentamiento de vapor en una o más zonas de convección, para obtener el vapor a alta presión o superalta presión (sobrecalentado). Para detalles
20 adicionales, se hace referencia a las explicaciones relacionadas con las Figuras 1 a 4.

En general, en este caso, en el contexto de la presente invención, el precalentamiento de aire de combustión puede llevarse a cabo utilizando calor que se elimina de una parte del vapor a alta presión o superalta presión (sobrecalentado). En las realizaciones según la invención, esto se lleva a cabo además del uso del calor del agua de alimentación y, en las realizaciones que no son según la invención, como una alternativa a esto.

Como ya se ha mencionado varias veces, el gas de calentamiento puede someterse a un precalentamiento de gas de calentamiento que también puede llevarse a cabo utilizando calor que se extrae de al menos una parte del agua de alimentación corriente arriba del precalentamiento de agua de alimentación. Esto se lleva a cabo en las realizaciones según la invención además del precalentamiento de aire de combustión, y puede tener lugar alternativamente al mismo en las realizaciones que no son según la invención.

En el contexto de la presente invención, el precalentamiento de agua de alimentación se realiza en uno o más canales de gases de escape en la una o más zonas de convección, realizándose el precalentamiento de agua de alimentación en particular a un nivel de temperatura inferior al utilizado para el sobrecalentamiento del vapor para mantener el vapor sobrecalentado a alta presión o superalta presión, se realiza el calentamiento de vapor de procedimiento para proporcionar el vapor de procedimiento que se usa para formar la una o más corrientes de entrada y la mayoría del calentamiento de entrada de la una o más corrientes de entrada. En particular, el precalentamiento de agua de alimentación tiene lugar cerca del extremo o en el extremo mismo del canal de gases de escape, desde el que salen los gases de escape enfriados de manera correspondiente, es decir, como máximo, tiene lugar una recuperación de calor adicional de los gases de escape en un punto corriente abajo (en la dirección del flujo de los gases de escape). De esta manera, la temperatura de salida de los gases de escape de la zona de convección puede controlarse de manera particularmente ventajosa.

En el contexto de la invención, el agua de alimentación puede proporcionarse en particular a un nivel de temperatura de 80 a 140 °C, en particular por medio de un sistema de agua de alimentación central o periférico, y el agua de alimentación puede enfriarse hasta un nivel de temperatura de 40 a 100 °C, a 95 °C, a 90 °C o a 85 °C, durante el precalentamiento de aire de combustión.

En el contexto de la presente invención, el agua de alimentación puede suministrarse al precalentamiento de aire de combustión a un nivel de presión de 30 a 60 bar (abs.), en particular de 35 a 50 bar (abs.), o de 60 a 175 bar (abs.), en particular de 80 a 125 bar (abs.), y puede someterse a este nivel de presión al precalentamiento de agua de alimentación sin aplicación adicional de presión. Alternativamente, el agua de alimentación puede suministrarse al precalentamiento de aire de combustión a un nivel de presión de 20 a 60 bar (abs.), en particular entre 25 y 50 bar (abs.) o entre 30 y 40 bar (abs.), y posteriormente, tras una aplicación de presión adicional, someterse al precalentamiento de agua de alimentación a un nivel de presión de 30 a 60 bar (abs.), en particular de 35 a 50 bar (abs.), o de 60 a 175 bar (abs.), en particular de 80 a 125 bar (abs.). En este último caso, el agua de alimentación puede llevarse ventajosamente a una presión correspondiente por medio de una o más bombas después del precalentamiento de aire de combustión.

De este modo, el aire puede precalentarse directamente utilizando agua de alimentación a un nivel de presión (súper)alta, de modo que el agua de alimentación enfriada de manera intermedia pueda alimentarse posteriormente directamente a la zona de convección. Alternativamente, el precalentamiento de aire también puede tener lugar utilizando agua de alimentación a un nivel de presión reducido, como se ha explicado. Esto último conduce a una presión de diseño significativamente menor del precalentador de aire asociado y, por tanto, a un menor desembolso para este aparato.

En el contexto de la presente invención, como también se ha mencionado anteriormente, pueden usarse múltiples hornos craqueadores, a los que se suministra el agua de alimentación por medio de un sistema central de agua de alimentación, en donde es posible que el precalentamiento de aire de combustión se lleve a cabo por separado para cada uno de la pluralidad de hornos craqueadores (precalentamiento de aire de combustión periférico) o juntos para la pluralidad de hornos craqueadores (precalentamiento del aire de combustión central).

Las realizaciones según la invención y no según la invención se explican con más detalle a continuación y, en particular, con referencia a las Figuras 5 a 22.

En todas las realizaciones de la presente invención, el precalentamiento del aire de combustión puede llevarse a cabo, en particular, en múltiples etapas, en donde es posible, por ejemplo, usar agua de alimentación como medio de calentamiento en una primera etapa, usar vapor a media presión como medio de calentamiento en una segunda etapa y usar vapor saturado o sobrecalentado a (super)alta presión como medio de calentamiento en una tercera etapa.

También pueden usarse otros posibles tipos de calentamiento o medios de calentamiento (entre otros, corriente eléctrica). Además, también pueden proporcionarse más o menos etapas de precalentamiento que las mencionadas anteriormente. En este caso, también es posible reutilizar total o parcialmente el medio de calentamiento que sale (en particular el condensado formado) en etapas anteriores (es decir, a un nivel de temperatura más bajo), preferiblemente de manera directa al mismo nivel de presión en un intercambiador de calor en el que el condensado previamente formado se enfría aún más, o después de una expansión parcial a un nivel de presión reducido y la adición de vapor sobrecalentado a este nivel de presión reducido. Opcionalmente, también es ventajoso el retorno del condensado a la generación de vapor, ya sea mediante una disposición de altura correspondiente (por encima del tambor de vapor, es decir, mediante circulación natural) o aumentando la presión (por ejemplo, utilizando una bomba).

El agua de alimentación enfriada de manera correspondiente se alimenta luego a la zona de convección, pero a una temperatura notablemente reducida.

La invención también se refiere a un sistema para hacer reaccionar uno o más hidrocarburos mediante craqueo con vapor, cuyas características, como se ha mencionado, se reproducen en la correspondiente reivindicación independiente.

Con respecto al sistema proporcionado según la invención y sus características, se hace referencia expresa a las explicaciones anteriores del método según la invención, ya que estas también se refieren a un sistema correspondiente. Lo mismo se aplica en particular a una realización de un sistema correspondiente que está configurado ventajosamente para llevar a cabo un método correspondiente en cualquier realización.

Aplicadas individualmente o preferiblemente en combinación, las medidas de la invención y no según la invención descritas en el contexto de la presente solicitud permiten mejorar considerablemente la complejidad estructural y/o la eficiencia energética de los hornos de craqueo con vapor con precalentamiento de aire, como se explica nuevamente a continuación con referencia a ejemplos específicos.

En la tabla 1 se presenta un primero de los efectos de las medidas individuales. Como primer sistema de comparación se utiliza un horno sometido a la misma carga de hidrocarburos sin precalentamiento de aire pero con precalentamiento central de gas de calentamiento (referencia A, base del 100 % para la comparación relativa de las variables de evaluación). Un horno sometido a la misma carga de hidrocarburos con precalentamiento de aire y precalentamiento central de gas de calentamiento, pero no según las características de la presente invención, se presenta como un segundo sistema de comparación. (Referencia B). Todos los casos de precalentamiento de aire enumerados en la tabla 1 se basan en una temperatura de aire de combustión resultante de 248 °C a la entrada de la zona de radiación. Las variantes indicadas con 1F, 2A, 3B, 4B, 5B y 6B se explican con referencia a las figuras y representan variantes de la invención y no son según la invención.

Tabla 1 - Comparación de la eficacia para una temperatura de precalentamiento de aire de 248 °C

Variante de la invención/referencia		Ref. A	Ref. B	Ej. 1F**	Ej. 2A*	Ej. 3B**	Ej. 4B**	Ej. 5B**	Ej. 6B**
Temperatura del aire de combustión	°C	15	248	248	248	248	248	248	248

Variante de la invención/referencia		Ref. A	Ref. B	Ej. 1F**	Ej. 2A*	Ej. 3B**	Ej. 4B**	Ej. 5B**	Ej. 6B**
Altura relativa sumada de los haces	%	100 %	136 %	141 %	86 %	108 %	92 %	106 %	91 %
Consumo relativo de combustible	%	100 %	78 %	78 %	78 %	78 %	78 %	78 %	78 %
Temperatura de los gases de escape en la salida	°C	119	138	89	189	91	91	91	91
Rel. Exportación de vapor a superalta presión desde el horno	%	100 %	64 %	73 %	59 %	61 %	59 %	61 %	58 %
*: realización sin uso de agua de alimentación en precalentamiento de aire									
**: realización con uso de agua de alimentación en precalentamiento de aire									

Todas las variantes marcadas con la adición ** en la tabla 1 están diseñadas según la invención, ya que se proporciona agua de alimentación como medio de calentamiento para el precalentamiento de aire.

La ventaja esencial del precalentamiento de aire se muestra en la comparación de la referencia A con la referencia B, en forma de un consumo de combustible reducido en un 22 %. La misma comparación muestra que, en el caso de los hornos precalentados con aire, se requieren medidas adicionales para compensar el aumento de la complejidad estructural (en forma de la altura sumada de los haces) y la reducción de la eficiencia del horno (en el sentido de la eficiencia térmica descrita anteriormente) asociada con el aumento de la temperatura de salida de los gases de escape. Las formas de realización según la invención que se describen a continuación tienen como objetivo compensar estas dos desventajas simultáneamente y de la mejor manera posible.

La comparación de la variante 1F con la referencia B muestra que el uso de agua de alimentación para el precalentamiento de aire, con la posterior alimentación a la zona de convección a un nivel de temperatura reducido (según la invención, denominada en lo sucesivo medida 1) conduce a una temperatura de salida de los gases de escape significativamente reducida y, por tanto, a una eficiencia energética mejorada del horno. El esfuerzo de construcción adicional que se aceptará a cambio es muy bajo, con un aumento de 5 puntos porcentuales y, al mismo tiempo, una disminución de la temperatura de salida de apenas 50 K. Algo similar se observa en una comparación de las variantes 2A y 3B. Estas dos comparaciones enfatizan claramente la eficacia de la medida 1, que permite, con poco esfuerzo estructural adicional, lograr mejoras significativas en la eficiencia del horno.

Otra gran ventaja de la medida 1 es el diseño simple de la guía de gases de escape después de salir de la zona de convección. Esto es muy similar al de un horno sin precalentamiento de aire y, por tanto, es significativamente más simple que cuando se usa un intercambiador de calor directo entre el flujo de gases de escape y el aire de combustión, en el que deben instalarse disposiciones de tubos de gran volumen y superficies de intercambio de calor en la trayectoria de los gases de escape de cada horno individual. La medida 1 produce un efecto de procedimiento similar, a saber, la transferencia del calor de los gases de escape al aire de combustión, pero indirectamente mediante un medio de transferencia de calor (agua de alimentación) ya presente en la región del horno, que requiere secciones transversales de tubo significativamente más pequeñas debido a su estado líquido de agregación.

Otra ventaja es el posible control de temperatura descrito a través de la guía de derivación descrita, de modo que, a diferencia de un sistema con intercambio de calor directo entre el flujo de aire de combustión y gases de escape, es posible un ajuste/cambio simple de la temperatura de los gases de escape durante el funcionamiento. De este modo, las fluctuaciones en la calidad del gas de calentamiento pueden gestionarse significativamente mejor; consulte la descripción anterior.

El efecto del precalentamiento de aire utilizando vapor saturado a (super)alta presión (considerado solo, medida no según la invención 2) puede ilustrarse mediante la comparación de las variantes 1F y 2A. Como resultado de la eliminación del vapor a (super)alta presión corriente arriba de los haces del sobrecalentador para obtener vapor a (súper)alta presión, hay proporcionalmente más calor de los gases de escape disponible para los haces ubicados más abajo en la trayectoria de los gases de escape. Las diferencias de temperatura en los haces aumentan, como resultado de lo cual el requerimiento de área de superficie y la altura resultante de la zona de convección disminuyen considerablemente. Por tanto, el uso exclusivo de la medida 2 da como resultado una minimización considerable del desembolso de construcción, pero con una disminución de la eficiencia energética del horno, ya que la temperatura de salida de los gases de escape aumenta en 100 K.

De ello se deduce que las medidas 1 y 2 tienen efectos casi contrarios. Sin embargo, al comparar la referencia B con el ejemplo 3B, está muy claro que una combinación de las medidas 1 y 2 (denominada medida de la invención 3) conduce a una mejora simultánea del horno en cuanto a complejidad de construcción y eficiencia energética.

La comparación de la variante 3B con la variante 4B muestra el efecto del sobrecalentamiento adicional del vapor de procedimiento utilizando vapor saturado a (super)alta presión (considerado solo, medida no según la invención 4). De manera similar a la medida 2, esta eliminación del vapor saturado y su uso para el sobrecalentamiento del vapor de procedimiento conducen a una reducción del desembolso de construcción, lo que, en el ejemplo dado, al combinarse con las medidas 1 (de la invención) y 2 (considerada por sí sola, no según la invención), da como resultado una eficiencia energética constante del horno.

La comparación de la variante 3B con la variante 5B muestra el efecto de un precalentamiento de entrada adicional utilizando vapor saturado a (super)alta presión (considerado solo, medida no según la invención 5). De manera similar a las medidas 2 y 4 (en cada caso, consideradas por sí solas, no según la invención), esta eliminación del vapor saturado y su uso para el precalentamiento de entrada conducen a una reducción del desembolso de construcción, lo que, en el ejemplo 5B dado, da como resultado una eficiencia energética constante del horno mediante la aplicación simultánea de las medidas 1 (de la invención) y 2 (considerada por sí solas, no según la invención).

La comparación de la variante 4B o la variante 5B con la variante 6B muestra el efecto de la aplicación conjunta del sobrecalentamiento de vapor de procedimiento y el precalentamiento de entrada utilizando vapor saturado a (super)alta presión (considerada sola, medida no según la invención 6). La eliminación máxima del vapor saturado y su uso para el sobrecalentamiento del vapor de procedimiento y el precalentamiento de la entrada conducen a una reducción máxima del desembolso de construcción, lo que, en el ejemplo dado, conduce a una eficiencia energética constante del horno, como en las variantes 3B, 4B y 5B, mediante la aplicación simultánea de las medidas 1 (de la invención) y 2 (no según la invención).

Las variantes enumeradas en la tabla 1 usan diferentes realizaciones de las secuencias del precalentador de aire, con tres etapas, con el uso de agua de lavado, vapor a presión media y/o vapor sobrecalentado a (super)alta presión, además del uso explicado de agua de alimentación y/o vapor a (super)alta presión.

Como ilustración adicional de la eficacia de las medidas reivindicadas, la tabla 2 muestra los resultados para realizaciones de diversas variantes en el caso de un precalentamiento de aire aún mayor (300 °C) y, en consecuencia, una reducción adicional del consumo de combustible. Los efectos descritos de las medidas se aplican sin cambios en este caso. La comparación de las variantes 4A* con la 4B* muestra la influencia positiva de la medida 2 sobre el esfuerzo de construcción. La comparación del ej. 4B* con 4B** muestra el valor añadido en cuanto a la eficiencia del horno con la adición de la medida 1.

Tabla 2: Comparación de la eficacia para una temperatura de precalentamiento de aire de 300 °C

Variante de la invención/referencia		Ref. A	Ref. B	Ej. 4A*	Ej. 4B*	Ej. 4B**	Ej. 6B**	Ej. 6C**
Temperatura del aire de combustión	°C	15	248	300	300	300	300	300
Altura relativa sumada de los haces	%	100 %	136 %	158 %	109 %	116 %	111 %	117 %
Consumo relativo de combustible	%	100 %	78 %	73 %	73 %	73 %	73 %	73 %
Temperatura de los gases de escape en la salida	°C	119	138	119	118	88	89	89
Rel. Exportación de vapor a superalta presión desde el horno	%	100 %	64 %	55 %	56 %	56 %	55 %	57 %
*: Realización sin uso de agua de alimentación en precalentamiento de aire								
**: Realización con uso de agua de alimentación en precalentamiento de aire								

Todas las variantes marcadas con la adición ** en la tabla 2 están diseñadas según la invención, ya que se proporciona agua de alimentación como medio de calentamiento para el precalentamiento de aire.

En general, se muestra que a temperaturas de precalentamiento más altas, la combinación de una pluralidad de medidas ofrece comparativamente un mayor valor añadido. Por ejemplo, el esfuerzo de construcción se reduce al comparar la variante 4B** con la 6B**, es decir, después de añadir la medida 6 a las medidas 1 y 2, en este caso en 5 puntos porcentuales. Como otra realización combinada máxima, la variante 6C** muestra la posibilidad de lograr una mayor exportación de vapor mediante una mayor complejidad de construcción en comparación con la variante 6B**, con prácticamente la misma eficiencia del horno. En este caso, esto se logra mediante una conexión en serie del sobrecalentamiento del vapor de procedimiento y el precalentamiento de entrada en el lado del medio de transferencia de calor, es decir, el condensado formado en el sobrecalentamiento del vapor de procedimiento se usa corriente abajo como medio de transferencia de calor para el precalentamiento de entrada.

Los ejemplos enumerados en la tabla 2 usan diferentes realizaciones de las secuencias del precalentador de aire, con 2, 3 ó 4 etapas, con el uso de vapor a baja presión y/o vapor sobrecalentado a (super)alta presión, además del uso explicado de agua de alimentación y/o vapor a (super)alta presión.

La presente invención también puede usarse en particular en un sistema como el descrito, por ejemplo, en el documento EP 3 415 587 A1, y en el que se lleva a cabo un enfriamiento directo del gas de craqueo contra la corriente de entrada y, por tanto, solo una parte del calor emitido durante el enfriamiento del gas de craqueo se usa para la generación de vapor a (super)alta presión. Específicamente, la aplicación de las medidas descritas en la presente solicitud también proporciona las mismas o al menos aproximadamente las mismas ventajas en un sistema de este tipo.

La presente invención también puede aplicarse en un sistema con separación del dióxido de carbono de los gases de escape. Particularmente en el caso de la aplicación de la medida de la invención 1, se logran temperaturas de salida particularmente bajas de los gases de escape al final de la zona de convección, lo que es ventajoso para la posterior eliminación del dióxido de carbono, por ejemplo, mediante un lavado químico con aminas (las temperaturas de funcionamiento típicas del lavado químico con aminas son de 20 a 60 °C).

En una realización de la invención, también puede tener lugar un enriquecimiento del aire de combustión con oxígeno. En este caso, no es necesario ningún requerimiento/concentración de pureza particular, por ejemplo, puede usarse el subproducto de la electrólisis del agua, o puede usarse cualquier otra fuente técnica, tal como una planta de separación de aire. El efecto del enriquecimiento de oxígeno es aproximadamente comparable al del precalentamiento de aire, ya que la temperatura de combustión adiabática aumenta en cada caso y, por tanto, se produce una mayor eficiencia de la zona de radiación y una cantidad reducida de gases de escape. El efecto no es (totalmente) equivalente al precalentamiento de aire, ya que el contenido de oxígeno relativamente más alto (con un contenido más bajo de nitrógeno, etc.) logra el efecto equivalente con una composición de los gases de escape algo diferente. Específicamente, se forman proporcionalmente más dióxido de carbono y agua a partir de la combustión; la primera es, por ejemplo, ventajosa en la recuperación del dióxido de carbono mediante el lavado químico con aminas y lo sería aún más en el caso de cualquier recirculación de gases de escape. La ventaja es, además, que puede lograrse la eficiencia de la zona de radiación o la reducción de los gases de escape y, por tanto, un ahorro de combustión incompleta más allá de los valores descritos para el precalentamiento de aire utilizando vapor a (super)alta presión.

Como ya se ha explicado, las medidas pueden utilizarse para hornos de craqueo con vapor con todas las posibles entradas de hidrocarburos. Los ejemplos incluyen hidrocarburos que tienen dos, tres y/o cuatro átomos de carbono (gaseosos), nafta (líquida), gasóleo (líquido) y productos de métodos de reciclaje tales como el reciclaje de plásticos (gaseosos y líquidos).

En todos los casos, puede precalentarse todo o solo una parte del aire de combustión. El precalentamiento parcial del aire puede seleccionarse, por ejemplo, para el caso de que se utilicen tanto quemadores de suelo como quemadores laterales, y solo algunos de los quemadores reciban aire precalentado, preferiblemente los quemadores de suelo. En el contexto de esta solicitud, los valores numéricos indicados para las temperaturas de precalentamiento de aire siempre se refieren a la temperatura de precalentamiento resultante de la totalidad del aire de combustión. Las corrientes de procedimiento de otros sistemas (por ejemplo, gases de escape de turbinas de gas) también pueden usarse para el precalentamiento del aire del horno.

En las variantes 4 a 6, se describe en cada caso el calentamiento de corrientes de agua o hidrocarburos separadas contra vapor a (super)alta presión. En la misma medida, puede preverse que una corriente de sustancias mixtas de hidrocarburo y agua se caliente de esta manera. Esta realización es relevante en particular para su uso en el caso de entradas gaseosas, ya que en este caso no hay ningún cambio agregado en la entrada en la zona de convección.

El uso descrito de vapor saturado se refiere al nivel hasta ahora típico y técnicamente usado de hasta aproximadamente 175 bar (abs.). Sin embargo, como alternativa, también es concebible un suministro parcial de vapor saturado a un nivel de presión y temperatura más alto (por ejemplo, 175 bar (abs.) y 355 °C) para un uso adicional de precalentamiento y/o sobrecalentamiento en la región del horno.

La presente invención se usa preferiblemente en combinación con el accionamiento eléctrico de compresores individuales o múltiples en la parte de separación asociada del sistema. Como resultado, la reducción de la exportación de vapor a (super)alta presión desde los hornos, provocada por el precalentamiento de aire según la invención, se compensa preferiblemente. Tal aumento de la electrificación del sistema permite además una mayor utilización de energías regenerativas mediante la importación de la red eléctrica. También se requiere, en menor medida, un mantenimiento de las calderas de vapor como sistemas de reserva para el arranque del sistema.

Las medidas descritas pueden aplicarse tanto en el caso de una construcción completamente nueva de hornos de craqueo con vapor como en el caso de la modernización de los hornos existentes. En este último caso, en particular, las ventajas con respecto a la altura sumada de los haces son de gran importancia si, por ejemplo, es necesario alojar estructuras de haz modificadas en una construcción de acero ya existente.

La invención se explica adicionalmente a continuación con referencia a las figuras que ilustran realizaciones de la presente invención en comparación con la técnica anterior.

Breve descripción de las Figuras

Las Figuras 1 a 4 muestran disposiciones que no son según la invención.

Las Figuras 5 a 22 muestran disposiciones según las realizaciones de la invención y, cuando se mencionan en cada caso, disposiciones que no son según la invención.

La Figura 23 resume las realizaciones de la invención y las realizaciones que no son según la invención, en un diagrama esquemático.

En la descripción adicional anterior y en la siguiente, se han descrito o se describen los sistemas y, sobre la base de los mismos, las etapas del método correspondientes que no son según la invención y las formadas según las realizaciones de la invención. Simplemente por motivos de simplicidad y para evitar repeticiones innecesarias, en este caso se han usado o se usan los mismos signos de referencia y explicaciones para las etapas del método y los componentes del sistema (por ejemplo, una etapa de enfriamiento y un intercambiador de calor utilizados para este propósito). En las figuras, se utilizan signos de referencia idénticos para componentes idénticos o comparables, y estos tampoco se explican repetidamente, simplemente por motivos de claridad.

Descripción detallada de las Figuras

Las ventajas de la invención y las realizaciones correspondientes se describen a continuación, en particular en comparación con las realizaciones según la técnica anterior mostradas en las Figuras 1 y 2 descritas anteriormente (sin precalentamiento de aire y con precalentamiento central de gas de calentamiento según la Figura 1, y con precalentamiento de aire, por ejemplo, hasta aproximadamente 248 °C según la Figura 2, pero precalentamiento central de gas de calentamiento como se ilustra en la Figura 1). En este caso, estas consideraciones se basan en un horno craqueador con nafta como entrada. Sin embargo, los diferentes aspectos de la invención se aplican igualmente a los hornos con entradas de gas o de líquidos más pesados.

La topología de la zona de convección subyacente 12 se muestra en particular en la Figura 4. Sin embargo, también pueden usarse otras disposiciones de procedimiento dentro del alcance de la invención. Esta topología comprende, en contra de la dirección de los gases de escape Z que salen, el primer precalentamiento 121 de agua de alimentación, el precalentamiento de entrada 122, el segundo precalentamiento 123 de agua de alimentación, un primer haz a alta temperatura 124, el sobrecalentamiento de vapor 125 de procedimiento, el primer sobrecalentamiento de vapor a (super)alta presión 126, el segundo sobrecalentamiento de vapor a (super)alta presión 127 y un segundo haz a alta temperatura 128.

El agua de alimentación W se conduce a través del primer precalentamiento 121 de agua de alimentación y del segundo precalentamiento 123 de agua de alimentación y, a continuación, se alimenta a un generador de vapor a (super)alta presión correspondiente, por ejemplo, en los enfriadores de gas de craqueo 13. El vapor a (super)alta presión S aún no sobrecalentado, generado allí, es guiado a través del primer sobrecalentamiento de vapor a (super)alta presión 126 y el segundo sobrecalentamiento de vapor a (super)alta presión 127, obteniendo vapor a (super)alta presión sobrecalentado T, donde es posible que tenga lugar una inyección de agua de alimentación entre el primer sobrecalentamiento de vapor a (super) alta presión 126 y el segundo sobrecalentamiento de vapor a (super) alta presión 127. La entrada de hidrocarburos H se calienta en el precalentamiento de entrada 122, y el vapor de procedimiento P se calienta en el sobrecalentamiento de vapor 125 de procedimiento, antes de que ambos se combinen para formar la corriente de alimentación F y se calienten adicionalmente en el primer haz a alta temperatura 124 y el segundo haz a alta temperatura 128.

Las explicaciones relacionadas con las Figuras 1 a 4 también se aplican a las siguientes figuras, y los signos de referencia utilizados en las Figuras 1 a 4 también se usan en las siguientes figuras. En las siguientes figuras, por motivos de claridad, no se hace referencia repetidamente a todos los flujos de material.

Las Figuras 5 a 10 ilustran variantes, denominadas 1A a 1F, de sistemas para craqueo con vapor según un primer grupo de realizaciones según la invención. La característica que los conecta es el uso de agua de alimentación enfriada para una máxima recuperación de energía. En este caso, el principio de todas las variantes 1A a 1F mostradas es, como se ha mencionado, el de usar el agua de alimentación ya presente en la unidad de horno 10 como medio de calentamiento para el precalentamiento 75 de aire y, opcionalmente, también para el precalentamiento 65 de gas de calentamiento en el intervalo de baja temperatura, es decir, en un intervalo de temperatura de hasta 100 °C. El agua de alimentación enfriada que sale del precalentamiento 75 y, si es apropiado, 65 se alimenta posteriormente a la zona 12 de convección, pero, como también se ha mencionado anteriormente, a una temperatura notablemente reducida en comparación con la técnica anterior.

El precalentamiento mostrado en las Figuras 5 a 10 puede, como se ha mencionado, consistir en múltiples etapas, por ejemplo, una primera etapa que usa agua de alimentación como medio de calentamiento, una segunda etapa que usa

vapor a presión media como medio de calentamiento y una tercera etapa que usa vapor a (super)alta presión como medio de calentamiento.

Además, pueden usarse otros posibles tipos de calentamiento o medios de calentamiento, como se ha mencionado. Además, también pueden proporcionarse más o menos etapas de precalentamiento, como también se ha mencionado. Para el uso del medio de calentamiento saliente o la recirculación del condensado en la generación de vapor, también se hace referencia a las explicaciones anteriores.

En la variante 1A ilustrada en la Figura 5, una parte del agua de alimentación W se usa como corriente de calentamiento correspondiente WH en el precalentamiento 75 central de aire. Una parte adicional puede guiarse como una derivación WB más allá del precalentamiento 75 central de aire, para realizar la posibilidad de control explicada. Este último también es el caso en las variantes 1B a 1F que se explican a continuación.

En la variante 1B ilustrada en la Figura 6, partes del agua de alimentación W se usan como corrientes de calentamiento WH1, WH2 en el precalentamiento 75 central de aire y en el precalentamiento 65 central de gas de calentamiento.

En la variante 1C ilustrada en la Figura 7, el precalentamiento 75 periférico de aire se calienta usando agua de alimentación WH, mientras que no tiene lugar ningún precalentamiento de gas de calentamiento.

En la variante 1D ilustrada en la Figura 8, tanto el precalentamiento 75 periférico de aire se calienta utilizando el agua de alimentación WH1 como el precalentamiento periférico de gas de calentamiento 65 se calienta utilizando el agua de alimentación WH2.

En la variante 1E ilustrada en la Figura 9, tiene lugar el precalentamiento 75 periférico de aire para calentar el agua de alimentación WH1, pero también se calienta el precalentamiento 65 central de gas de calentamiento utilizando el agua de alimentación WH2. El resultado son dos derivaciones, denominadas WB1 y WB2.

En la variante 1F ilustrada en la Figura 10, el precalentamiento 75 periférico de aire se calienta utilizando agua de alimentación WH, mientras que el precalentamiento 65 central de gas de calentamiento se lleva a cabo sin calentamiento utilizando agua de alimentación.

Las Figuras 11 a 13 ilustran variantes, denominadas 2A a 2C, de sistemas para craqueo con vapor según un segundo grupo de realizaciones según la invención. La característica que los conecta es el uso de vapor saturado a (super)alta presión específico para el horno como medio de calentamiento en el precalentamiento 75 del aire. El principio de las variantes mostradas es el de usar el vapor saturado S generado en el generador 13 de vapor del mismo horno craqueador 10, en parte como medio de calentamiento para el calentamiento 75 de aire en el intervalo de temperatura media a alta, es decir, en un intervalo de temperatura de 150 a 330 °C. La cantidad de vapor saturado suministrado a los sobrecalentadores 126, 127 de vapor en la zona 12 de convección (véase la Figura 4) se reduce en consecuencia, como resultado de lo cual, proporcionalmente más calor de los gases de escape está disponible para los intercambiadores 121 a 125 de calor dispuestos corriente abajo en la trayectoria de los gases de escape Z en la zona 12 de convección.

En las variantes 2A y 2B ilustradas en las Figuras 11 y 12, estas medidas se usan junto con el precalentamiento 75 periférico de aire, el precalentamiento central de aire también presente en la variante 2B ilustrada en la Figura 12, cuyo precalentamiento central se indica con 75' para una mejor diferenciación. Sin embargo, la variante 2C ilustrada en la Figura 13 comprende solo un precalentamiento central de aire. En todos los casos, la corriente de vapor saturado correspondiente utilizada para el calentamiento se indica con SH. El condensado formado a partir de esto se denomina SC. En los ejemplos ilustrados, esto se devuelve al sistema 50 central de vapor.

Como se muestra en las Figuras 11, 12 y 13 con respecto a las variantes 2A, 2B y 2C, el condensado a (super)alta presión resultante puede alimentarse al sistema central de vapor de la planta, para continuar utilizando la energía residual contenida en el mismo y, finalmente, alimentarlo a una preparación de condensado adecuada. Aquí también es posible reutilizar el condensado formado, total o parcialmente, en etapas de precalentamiento anteriores (es decir, a un nivel de temperatura más bajo), preferiblemente después de una expansión parcial hasta un nivel de presión reducido y la adición de vapor sobrecalentado a este nivel de presión reducido. Sin embargo, también es posible proporcionar un subenfriamiento del condensado durante el precalentamiento, sin expansión previa ni mezcla de vapor sobrecalentado.

Las Figuras 14 y 15 ilustran variantes, denominadas 3A y 3B, de sistemas para craqueo con vapor según un tercer grupo de realizaciones según la invención. La característica que los conecta es el uso combinado de agua de alimentación y vapor saturado a (super)alta presión S como medio de calentamiento en el aire y/o precalentamiento 65, 75 de gas de calentamiento. El principio de todas las variantes mostradas es aplicar las medidas explicadas anteriormente con respecto al primer y segundo grupo de realizaciones juntas, es decir, usar agua de alimentación W para el precalentamiento 65, 75 de aire y/o gas de calentamiento en el intervalo de baja temperatura de hasta 100 °C, y además usar vapor saturado para el precalentamiento 75 de aire en el intervalo de temperatura media o alta de 150 a 330 °C.

Como se ha mencionado, el precalentamiento puede consistir en múltiples etapas, por ejemplo, una primera etapa que usa agua de alimentación como medio de calentamiento, una segunda etapa que usa vapor a presión media como

medio de calentamiento y una tercera etapa que usa vapor a superalta presión como medio de calentamiento. Además, pueden usarse otros posibles tipos de calentamiento o medios de calentamiento, como se ha mencionado. Además, también pueden proporcionarse más o menos etapas de precalentamiento, como también se ha mencionado. Para el uso del medio de calentamiento saliente o la recirculación del condensado en la generación de vapor, también se hace referencia a las explicaciones anteriores.

En la variante 3A ilustrada en la Figura 14, estos medios de calentamiento se usan juntos para el precalentamiento 75 periférico de aire, mientras que en la variante 3B ilustrada en la Figura 15 se proporciona adicionalmente el precalentamiento central de aire, denominado 75' para una mejor diferenciabilidad, el precalentamiento 75 periférico de aire utilizando vapor saturado a (super)alta presión S, y el precalentamiento 76 central de aire utilizando agua de alimentación W.

Las Figuras 16 y 17 ilustran variantes, denominadas 4A y 4B, de sistemas para craqueo con vapor según un cuarto grupo de realizaciones, la Figura 6 muestra una realización que no es según la invención y la Figura 17 muestra una realización según la invención. La característica que los conecta es el uso de vapor saturado a (super)alta presión S como medio de calentamiento para el sobrecalentamiento del vapor de procedimiento P. El principio de todas las variantes mostradas es el de usar en parte el vapor saturado S generado en el generador 13 de vapor del mismo horno 10 como medio de calentamiento para el sobrecalentamiento del vapor de procedimiento P en el intervalo de temperatura media a alta, es decir, en el intervalo de temperatura de 150 a 330 °C. La cantidad de vapor saturado suministrado a los sobrecalentadores 126, 127 de vapor para el vapor saturado S en la zona 12 de convección (véase la Figura 4) se reduce por consiguiente, como resultado de lo cual, proporcionalmente más calor de los gases de escape a un nivel de temperatura superior está disponible para los intercambiadores 121 a 125 de calor dispuestos corriente abajo en la trayectoria de los gases de escape Z en la zona 12 de convección. Sin embargo, además, esto también reduce la carga del sobrecalentador 125 de vapor de procedimiento en la zona 12 de convección, en parte o completamente, de modo que aún más calor de los gases de escape a un nivel de temperatura superior está disponible para los intercambiadores de calor 121 a 124 dispuestos corriente abajo del sobrecalentador 125 de vapor de procedimiento en la trayectoria de los gases de escape Z en la zona 12 de convección.

En las variantes 4A y 4B ilustradas en las Figuras 16 y 17, el calentamiento periférico con vapor 35 de procedimiento se proporciona en cada caso, en la variante 4A ilustrada en la Figura 16 solo se calienta este calor, pero por el contrario, en la variante ilustrada en la Figura 17, el precalentamiento 75' periférico de aire también se calienta, utilizando vapor saturado a (super)alta presión S como medio de calentamiento. La variante ilustrada en la Figura 17 tiene además, como realización según la invención, un uso de agua de alimentación para el precalentamiento de aire, en este caso en un precalentamiento 75 central de aire corriente arriba.

Las Figuras 18 y 19 ilustran variantes, denominadas anteriormente 5A y 5B, de sistemas para craqueo con vapor según un quinto grupo de realizaciones, la Figura 18 muestra una realización que no es según la invención y la Figura 19 muestra una realización según la invención. La característica que los conecta es el uso de vapor saturado a (super)alta presión S como medio de calentamiento para el precalentamiento de la alimentación de hidrocarburos H. El principio de todas las variantes mostradas es utilizar el vapor saturado S producido en el generador 13 de vapor del mismo horno de craqueo 10, en parte como medio de calentamiento para el precalentamiento de la alimentación de hidrocarburos H (incluyendo la posible evaporación parcial en el caso de entradas de líquido) en el intervalo de temperatura media a alta de 100 a 330 °C. En este caso, se produce un precalentamiento monofásico de la corriente de entrada en el lado de entrada (líquido o gaseoso). Además, también puede tener lugar una transición de fase parcial o completa de líquido a gaseoso (según la temperatura de entrada y salida). La cantidad de vapor saturado suministrado a los sobrecalentadores 126, 127 de vapor para el vapor saturado S en la zona 12 de convección (véase la Figura 4) se reduce por consiguiente, como resultado de lo cual, proporcionalmente más calor de los gases de escape a un nivel de temperatura superior está disponible para los intercambiadores 121 a 125 de calor dispuestos corriente abajo en la trayectoria de los gases de escape Z en la zona 12 de convección. Además, la carga del precalentador de entrada 121 en la zona 12 de convección se reduce parcial o completamente, de modo que hay incluso más calor de los gases de escape disponible a un nivel de temperatura más alto para el intercambiador de calor 121 situado corriente abajo.

Sin embargo, en este caso, en las variantes 5A y 5B ilustradas en las Figuras 18 y 19 a, el calentamiento periférico de entrada 25 se proporciona en cada caso, en la variante 5A ilustrada en la Figura 18 solo se calienta este calor, pero por el contrario, en la variante ilustrada en la Figura 19, el precalentamiento 75' periférico de aire también se calienta, utilizando vapor saturado a (super)alta presión S como medio de calentamiento. La variante ilustrada en la Figura 19 tiene además, como realización según la invención, un uso de agua de alimentación para el precalentamiento de aire, en este caso en un precalentamiento 75 central de aire corriente arriba.

Las Figuras 20 a 22 ilustran variantes, denominadas anteriormente 6A 6C, de sistemas para craqueo con vapor según un sexto grupo de realizaciones, mostrando la Figura 20 una realización que no es según la invención y mostrando las Figuras 21 y 22 realizaciones según la invención. La característica que los conecta es el uso combinado de vapor saturado a (super)alta presión S como medio de calentamiento para el sobrecalentamiento de vapor de procedimiento y el precalentamiento de la entrada. El principio de todas las variantes mostradas es utilizar el vapor saturado S generado en el generador 13 de vapor del mismo horno de craqueo 10, en parte como medio de calentamiento tanto

5 para el sobrecalentamiento del vapor de procedimiento P en el intervalo de temperatura media a alta de 150 a 330 °C como para el precalentamiento de la corriente de entrada de hidrocarburos H (incluyendo la posible evaporación parcial en el caso de entradas de líquido) en el intervalo de temperatura media a alta de 100 a 330 °C. La cantidad de vapor saturado suministrado a los sobrecalentadores 126, 127 de vapor para el vapor saturado a (super)alta presión S en la zona 12 de convección (véase la Figura 4) se reduce por consiguiente, como resultado de lo cual, proporcionalmente más calor de los gases de escape a un nivel de temperatura superior está disponible para los intercambiadores 121 a 125 de calor dispuestos corriente abajo en la trayectoria de los gases de escape Z en la zona 12 de convección. Además, la carga del sobrecalentador 125 para el vapor de procedimiento P en la zona 12 de convección se reduce parcial o completamente, de modo que queda disponible aún más calor de los gases de escape a un nivel de temperatura más alto para los intercambiadores 121 a 124 de calor corriente abajo.

15 En este caso, en las variantes 6A a 6C ilustradas en las Figuras 20 a 22, se proporcionan en cada caso un calentamiento periférico de entrada 25 y un sobrecalentamiento 35 periférico de vapor de procedimiento. En las variantes 6A y 6B ilustradas en las Figuras 20 y 21, estas unidades se cargan con vapor saturado S de la manera mostrada. En la variante 6C ilustrada en la Figura 22, el sobrecalentamiento del vapor 35 de procedimiento y el precalentamiento 25 de entrada están conectados en serie en el lado del medio portador de calor. En las variantes 6B y 6C ilustradas en las Figuras 21 y 22, el precalentamiento 75' periférico de aire se carga adicionalmente con vapor saturado S. Las variantes ilustradas en las Figuras 21 y 22 también tienen, como realizaciones según la invención, un uso de agua de alimentación para el precalentamiento de aire, en este caso en el precalentamiento 75 central de aire corriente arriba.

25 La Figura 23 resume las realizaciones de la invención y las realizaciones que no son según la invención en un diagrama esquemático, no designándose los materiales de flujo correspondientes de nuevo de manera separada. La Figura 23 ilustra en particular la posibilidad de suministro central y periférico de las unidades explicadas anteriormente.

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Método para hacer reaccionar uno o más hidrocarburos mediante craqueo con vapor, en donde se conducen una o más corrientes de entrada (F) que contienen el uno o más hidrocarburos (H), obteniendo una o más corrientes de producto (C), a través de una o más zonas (11) de radiación de uno o más hornos craqueadores (10), en donde la una o más zonas (11) de radiación se calientan quemando gas de calentamiento (X) con aire de combustión (L), en donde al menos una parte del aire de combustión (L) se somete a un precalentamiento (75) de aire de combustión, en donde se produce vapor (S, T) a partir de agua de alimentación (W), y en donde el agua de alimentación (W) se somete a precalentamiento de agua de alimentación en una o más zonas (12) de convección de uno o más hornos craqueadores (10), **caracterizado porque** el precalentamiento (75) de aire de combustión se lleva a cabo al menos en parte y/o al menos temporalmente usando calor extraído de al menos una parte del agua de alimentación (W) corriente arriba del precalentamiento de agua de alimentación.
2. Método según la reivindicación 1, en donde el vapor generado a partir del agua de alimentación (W) comprende vapor a alta presión o superalta presión sobrecalentado y/o no sobrecalentado (T) formado a partir del agua de alimentación (W) después del precalentamiento de agua de alimentación.
3. Método según la reivindicación 2, en donde al menos una parte del agua de alimentación (W) se somete a evaporación de agua de alimentación después del precalentamiento de agua de alimentación utilizando el calor extraído de al menos una parte de una o más corrientes de producto (C), obteniendo vapor a alta presión o superalta presión (S).
4. Método según la reivindicación 3, en donde al menos una parte del vapor a alta presión o superalta presión (S) se somete a sobrecalentamiento de vapor en una o más zonas (12) de convección para obtener vapor a alta presión o superalta presión sobrecalentado (T).
5. Método según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en donde el precalentamiento (75) de aire de combustión se realiza además utilizando el calor extraído de una parte del vapor a alta presión o superalta presión sobrecalentado (T).
6. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el gas de calentamiento (X) se somete a un precalentamiento (65) de gas de calentamiento que también se lleva a cabo utilizando calor que se extrae de al menos una parte del agua de alimentación (W) corriente arriba del precalentamiento de agua de alimentación.
7. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el precalentamiento de agua de alimentación se realiza en uno o más canales de gases de escape en la una o más zonas (12) de convección, realizándose el precalentamiento de agua de alimentación a un nivel de temperatura inferior al del sobrecalentamiento de vapor, para obtener el vapor a alta presión o superalta presión sobrecalentado (T), y para un sobrecalentamiento de vapor de procedimiento para proporcionar un vapor de procedimiento suficientemente calentado que se usa para formar la una o más corrientes de entrada (F).
8. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el agua de alimentación (W) se proporciona a un nivel de temperatura de 80 a 140 °C y en donde el agua de alimentación (W) se enfría hasta un nivel de temperatura de 40 a 100 °C en el precalentamiento (75) de aire de combustión.
9. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el agua de alimentación (W) se suministra al precalentamiento (75) de aire de combustión a un nivel de presión de 30 a 60 bar de presión absoluta o de 60 a 175 bar de presión absoluta y se somete al precalentamiento de agua de alimentación a este nivel de presión.
10. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde el agua de alimentación (W) se suministra al precalentamiento (75) de aire de combustión a un nivel de presión de 20 a 60 bar de presión absoluta y se somete al precalentamiento de agua de alimentación a un nivel de presión de 30 a 60 bar de presión absoluta o de 60 a 175 bar de presión absoluta.
11. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se utilizan múltiples hornos craqueadores (10) a los que se suministra el agua de alimentación (W) por medio de un sistema (40) central de agua de alimentación, realizándose el precalentamiento (75) de aire de combustión por separado para cada uno de los múltiples hornos craqueadores (10) o de forma conjunta para los múltiples hornos craqueadores (10).
12. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el precalentamiento del aire se lleva a cabo además utilizando vapor saturado y/o condensado de vapor formado a partir del mismo.
13. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el precalentamiento de una o más corrientes de entrada (F) y/o una o más corrientes de sustancias utilizadas para la formación de las mismas se lleva a cabo utilizando vapor saturado y/o condensado de vapor formado a partir de las mismas.

14. Sistema para hacer reaccionar uno o más hidrocarburos mediante craqueo con vapor, que comprende uno o más hornos craqueadores (10) que tienen una o más zonas (11) de radiación y que está diseñado para guiar una o más corrientes de entrada (F), que contienen uno o más hidrocarburos (H), a través de una o más zonas (11) de radiación de uno o más hornos craqueadores (10), obteniendo una o más corrientes de productos (C), comprendiendo el sistema uno o más quemadores para calentar las una o más zonas (11) de radiación mediante la combustión de gas de calentamiento (X) con aire de combustión (L), teniendo el sistema un precalentamiento (75) de aire de combustión y diseñándose para calentar al menos una parte del aire de combustión (L) en el precalentamiento (75) de aire de combustión, teniendo el sistema uno o más generadores de vapor que están diseñados para generar vapor (S, T) a partir del agua de alimentación (W), y estando diseñado el sistema para someter el agua de alimentación (W) a una o más zonas (12) de convección de uno o más hornos craqueadores (10) para alimentar el precalentamiento de agua, **caracterizado porque** el precalentamiento (75) de aire de combustión comprende medios de transferencia de calor que están diseñados para transmitir al aire de combustión al menos temporalmente el calor, que se extrae de al menos una parte del agua de alimentación (W) corriente arriba del precalentamiento del agua de alimentación.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

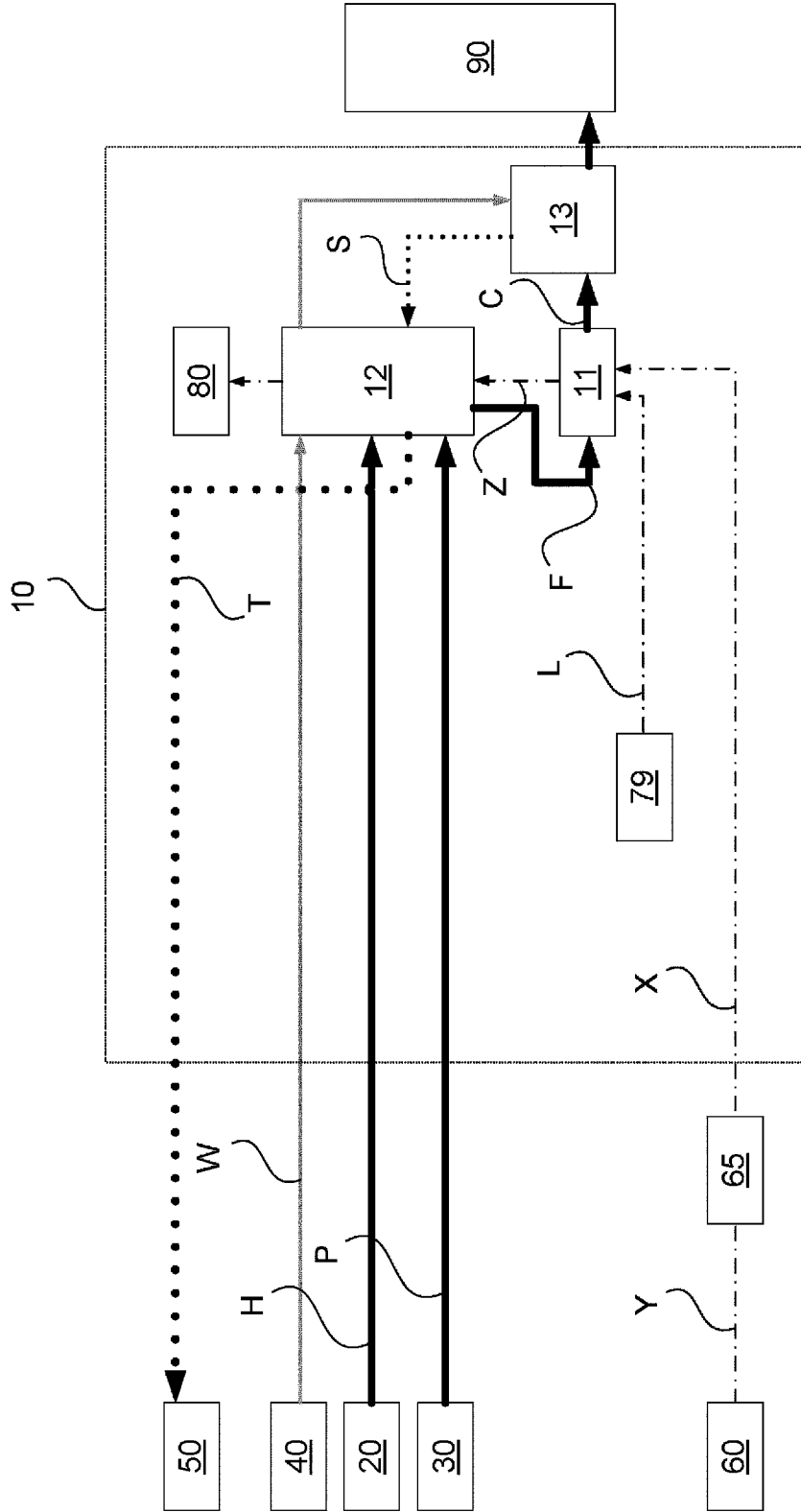


Figura 1

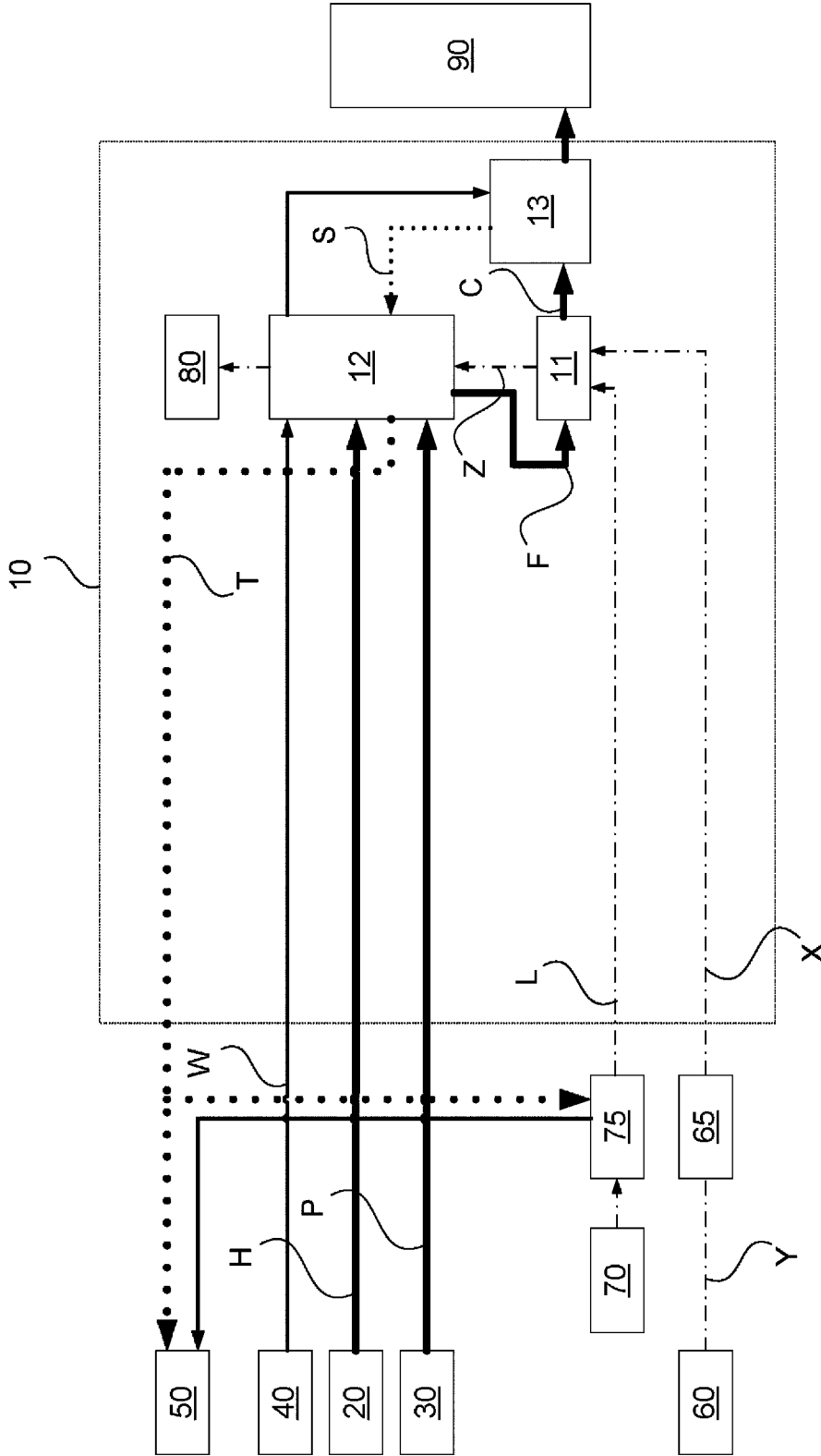


Figure 2

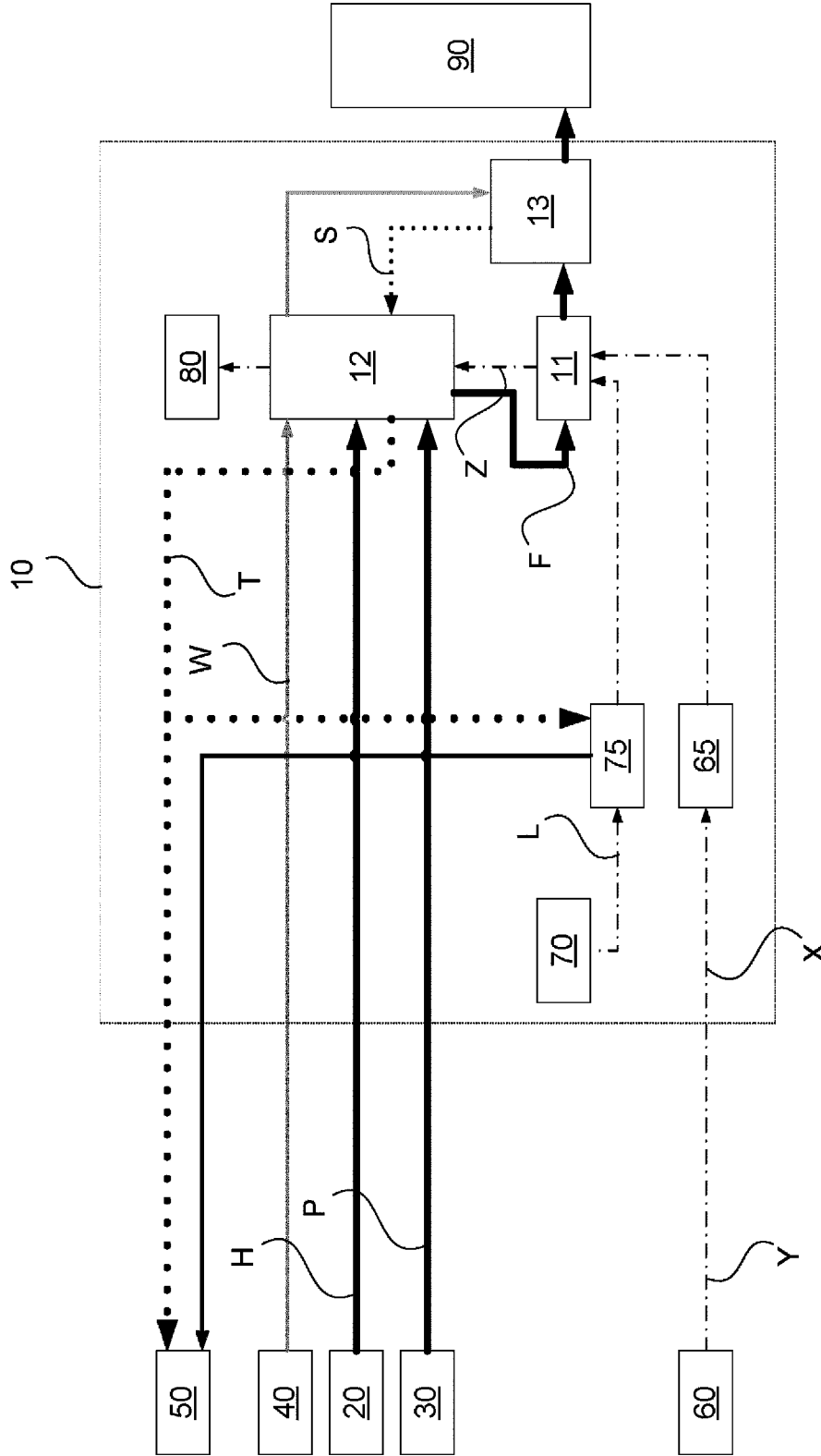


Figure 3

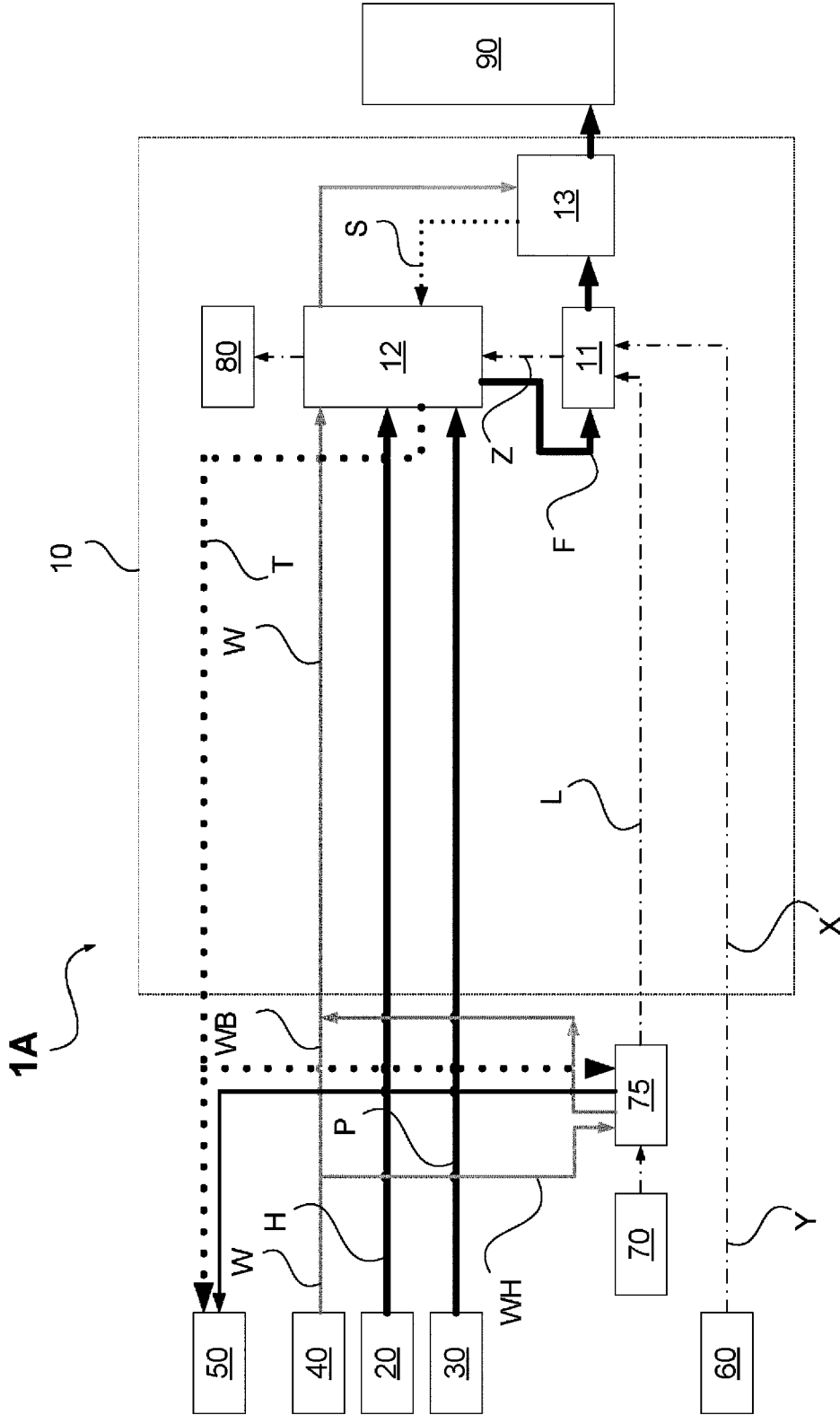


Figura 5

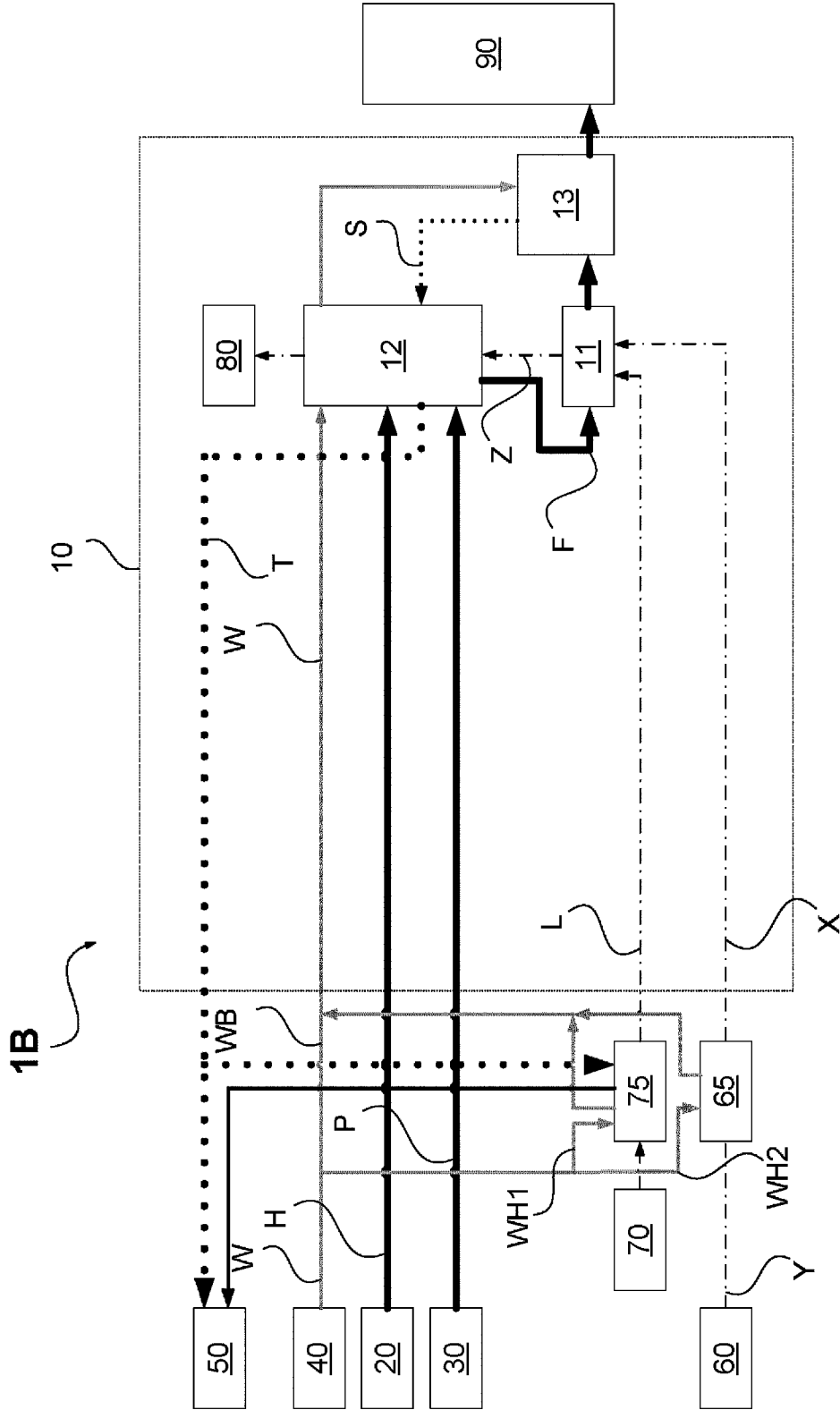


Figura 6

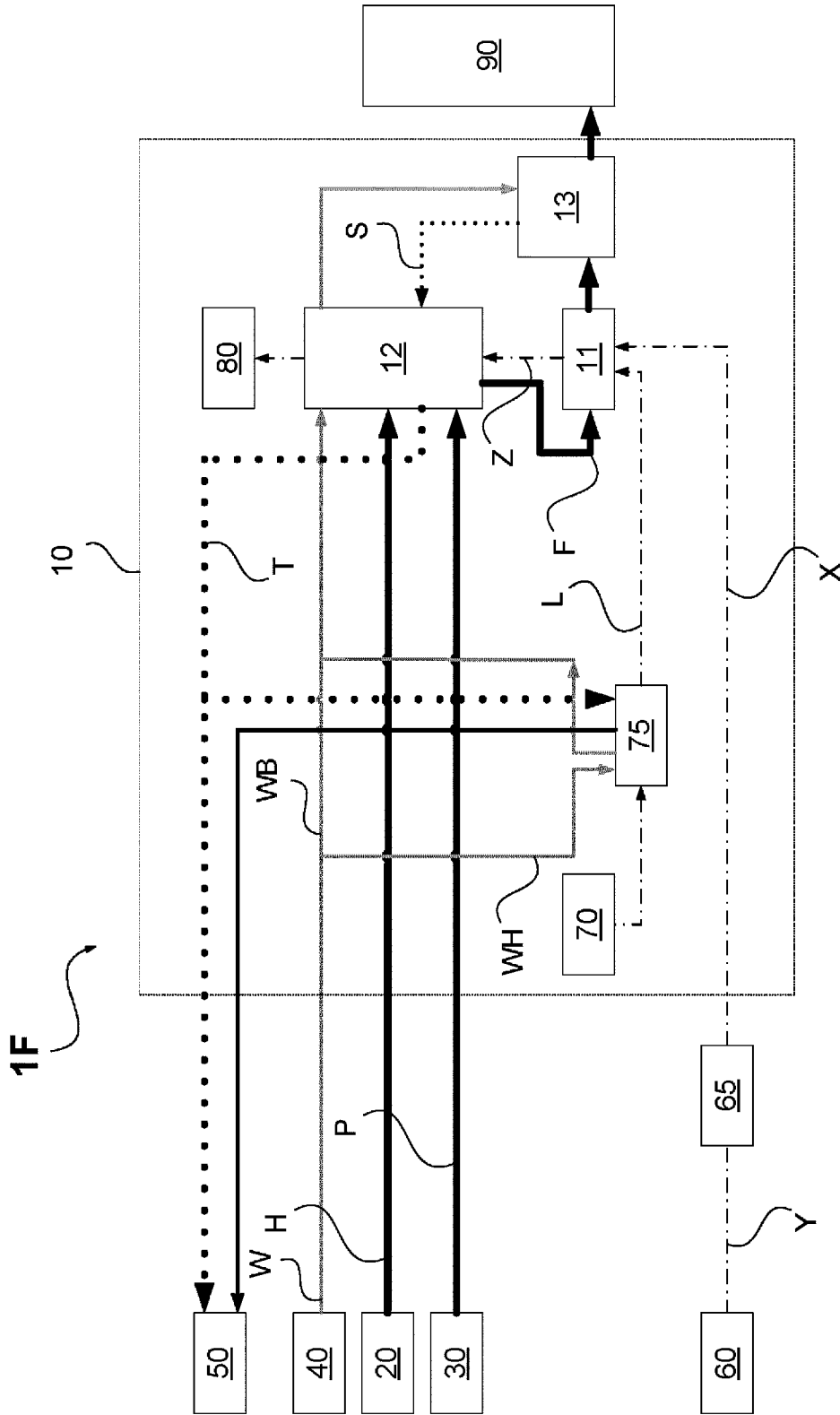


Figure 10

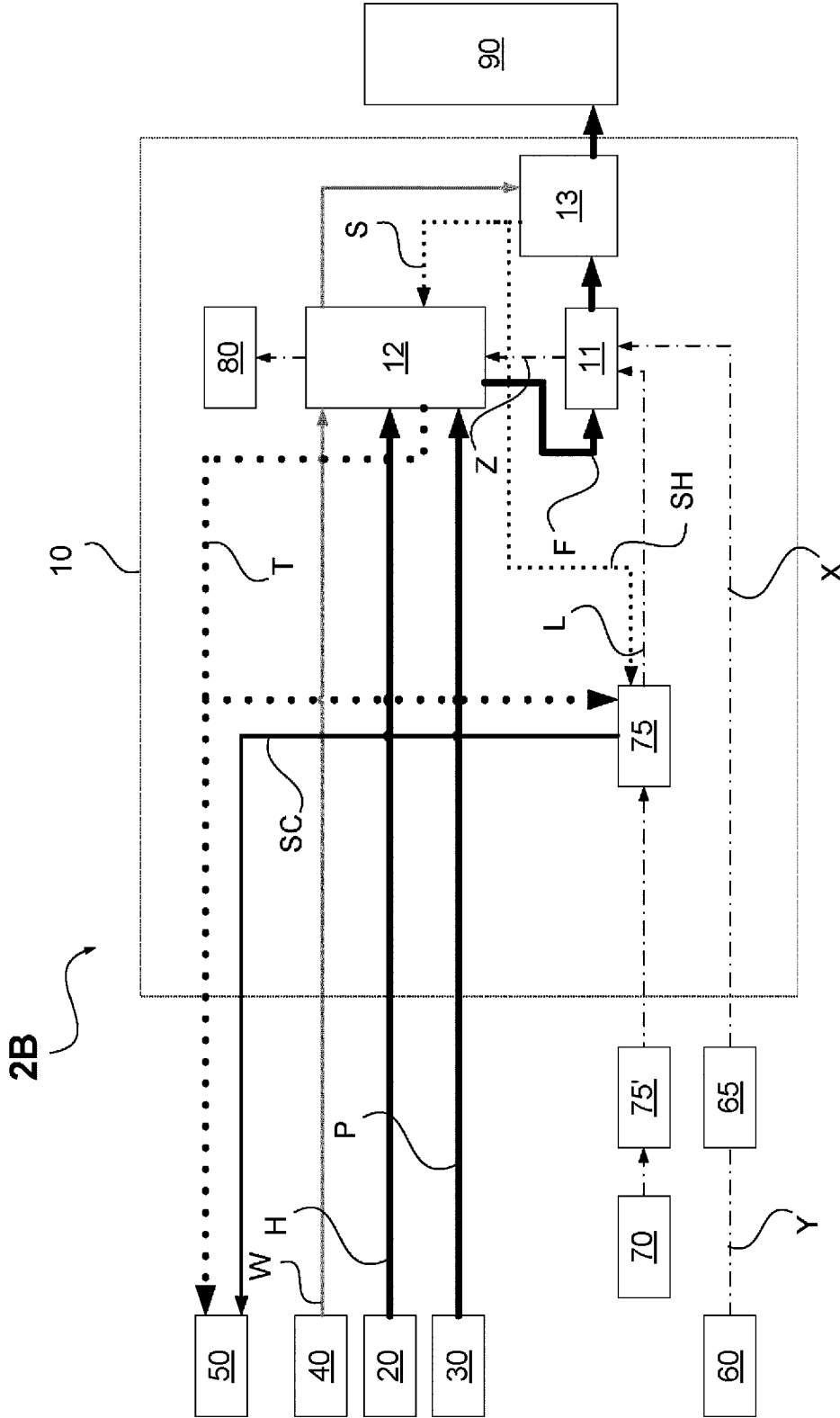


Figure 12

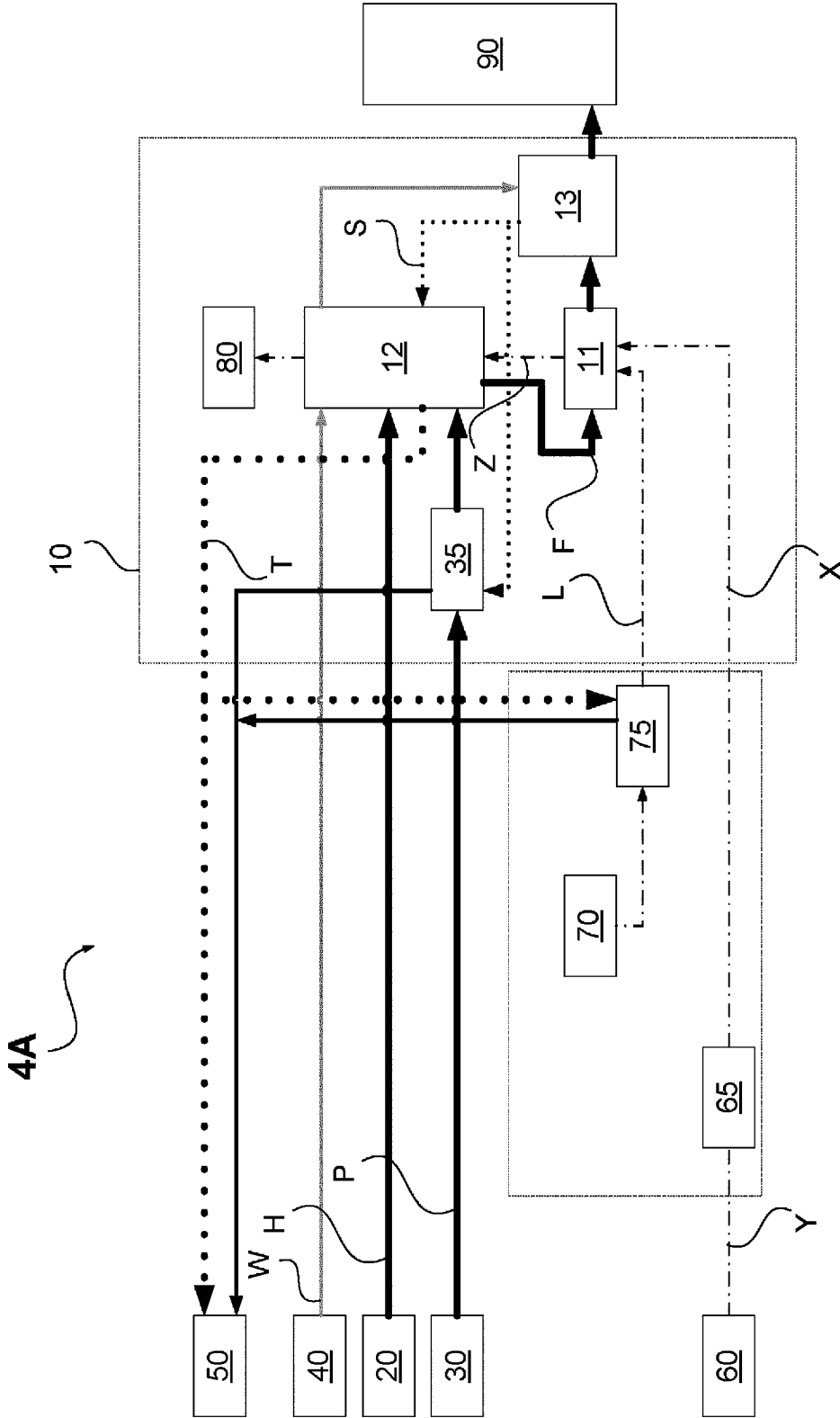


Figure 16

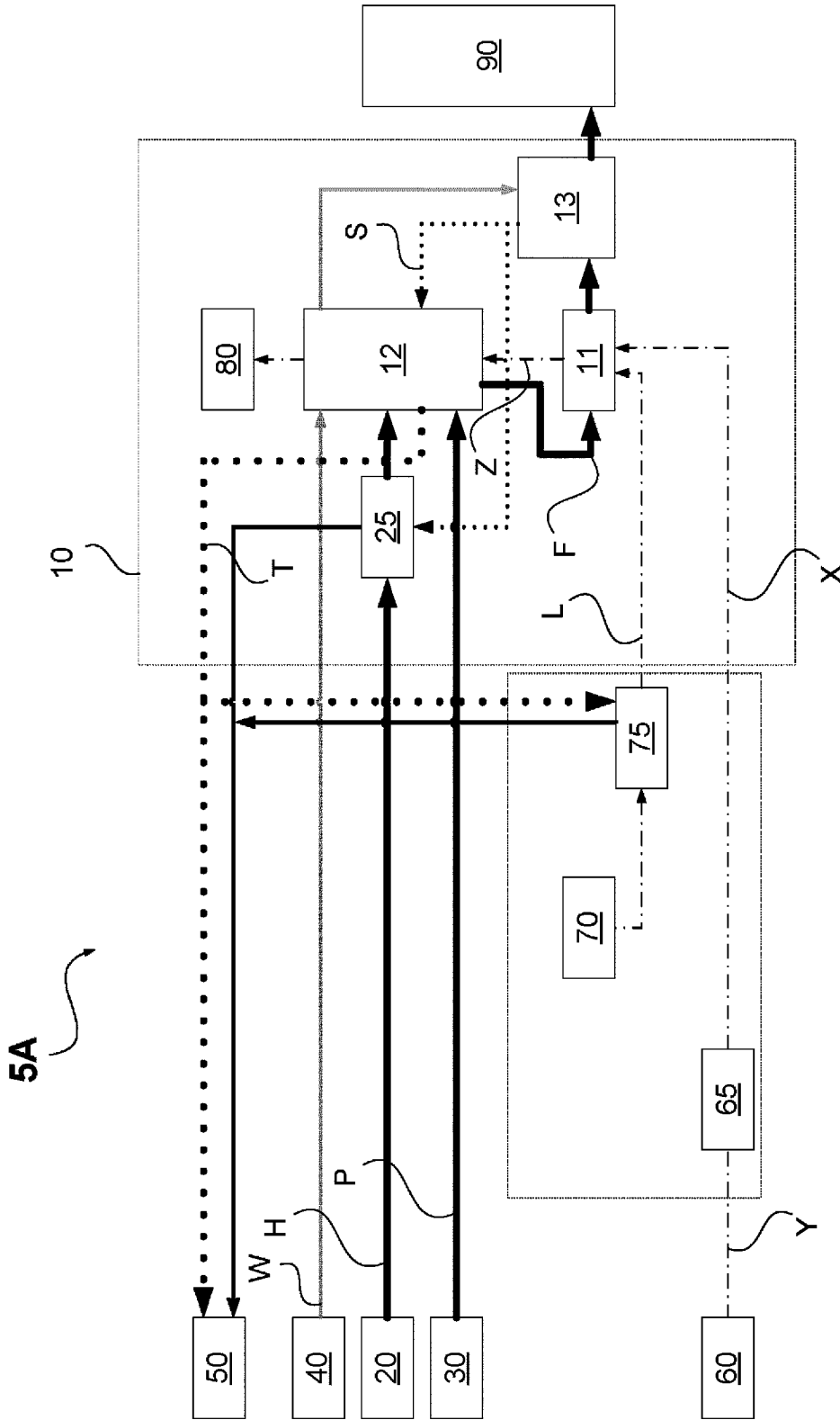


Figure 18

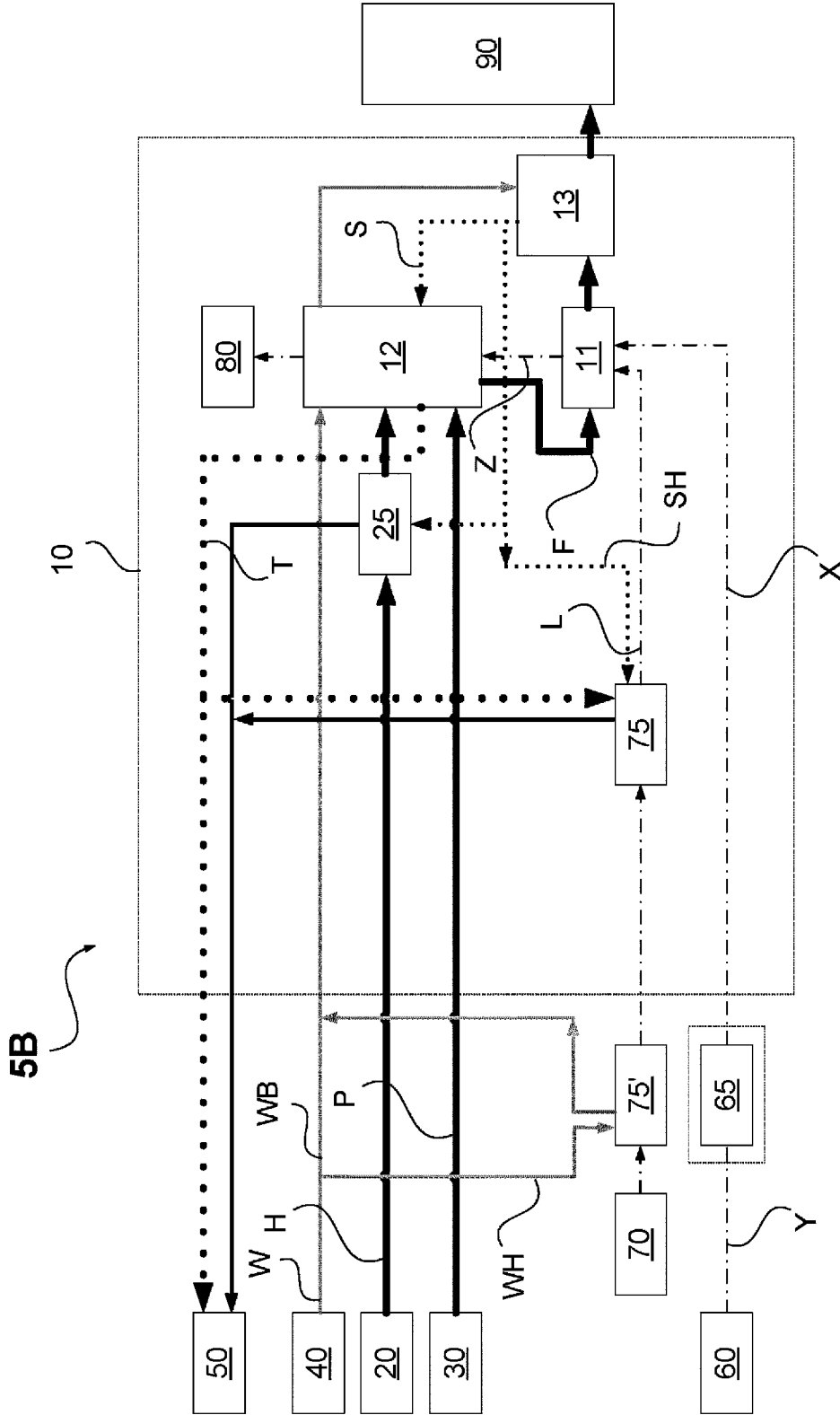


Figure 19

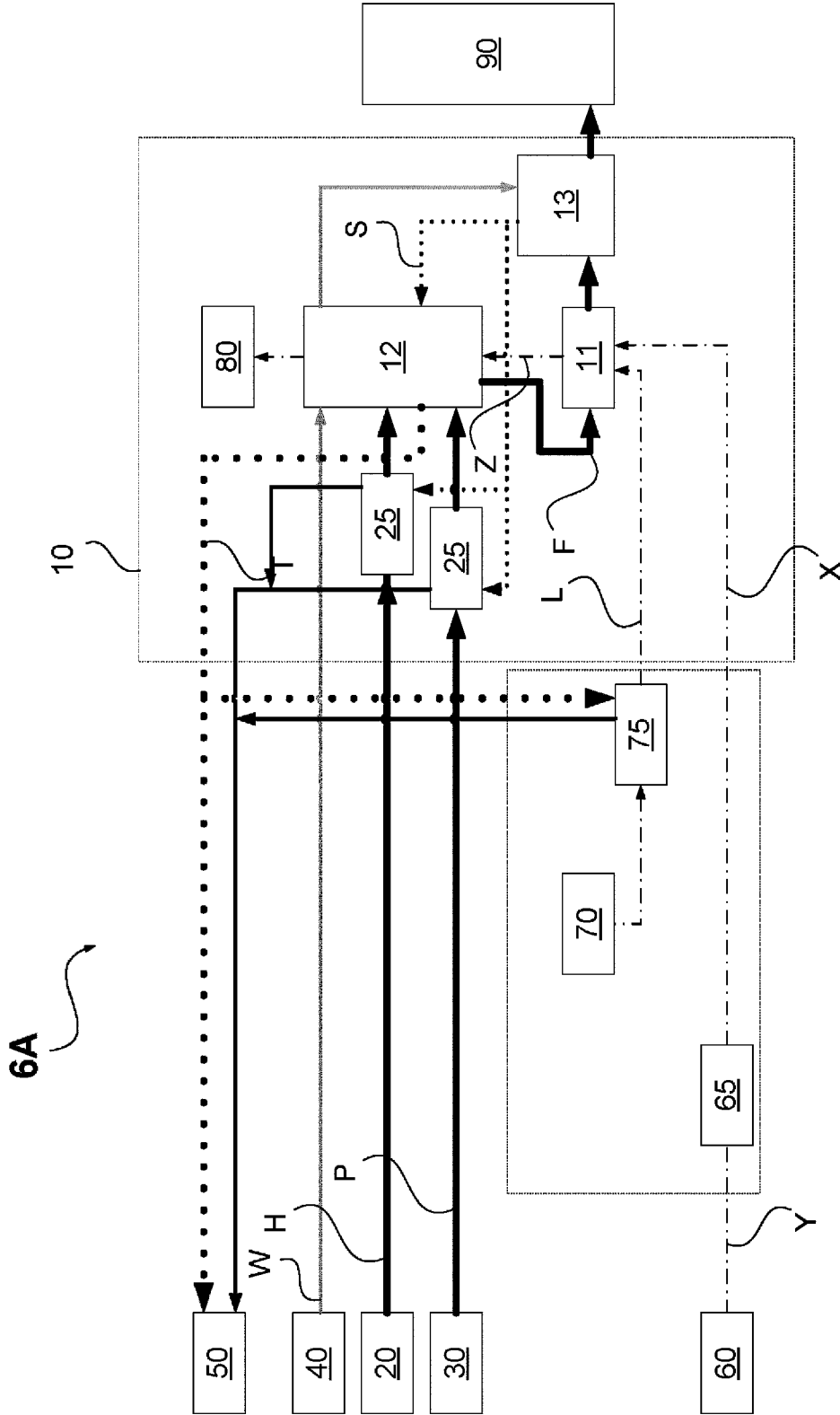


Figure 20

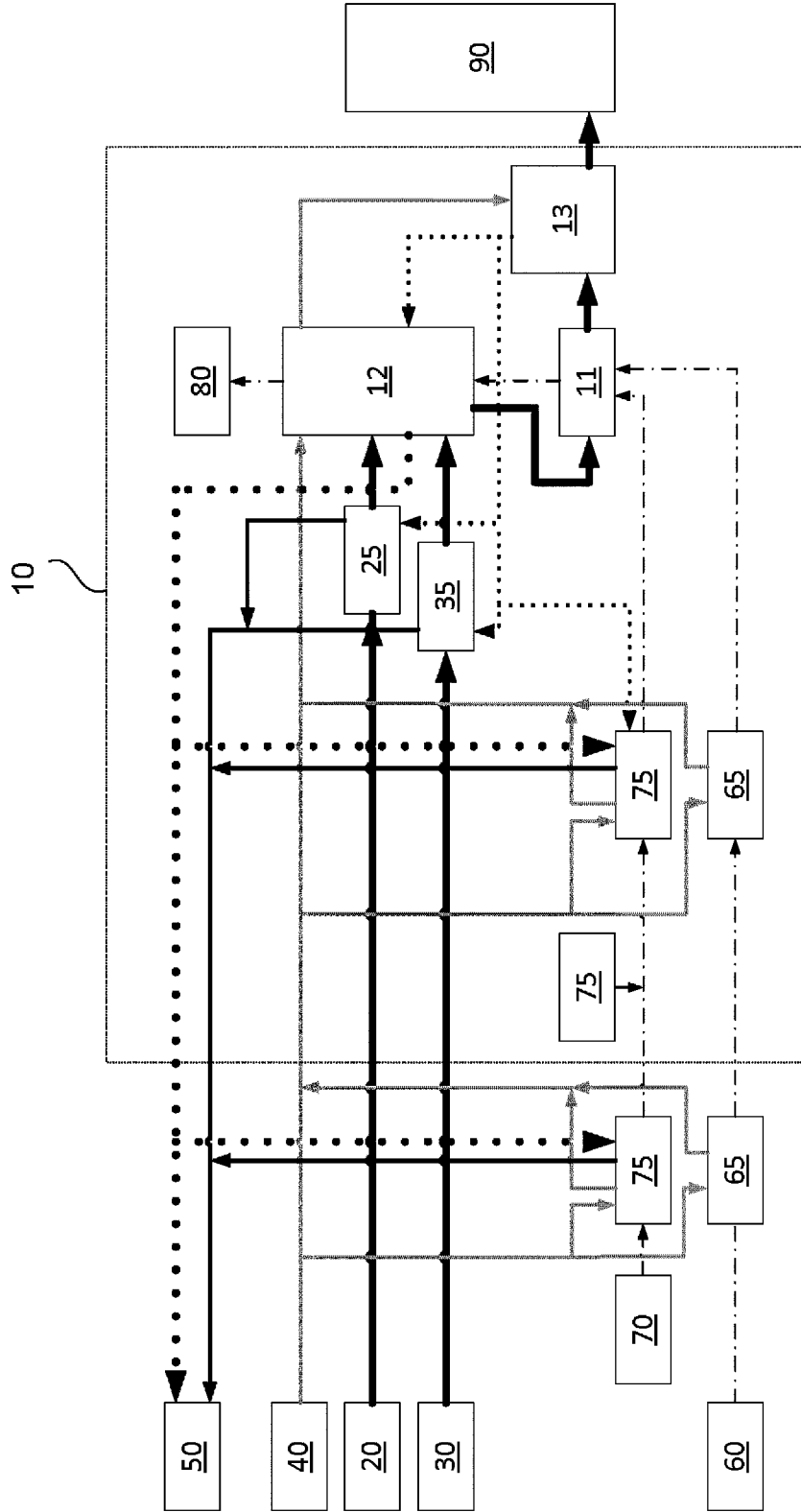


Fig. 23