

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 821 780**

51 Int. Cl.:

**C01B 3/36** (2006.01)

**C01B 3/38** (2006.01)

**C07C 29/151** (2006.01)

**C01B 13/02** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.05.2011 PCT/US2011/037948**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.12.2011 WO11150090**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.05.2011 E 11726007 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2020 EP 2576433**

54 Título: **Generación de metanol utilizando hidrógeno ultrapuro a alta presión**

30 Prioridad:

**25.05.2010 US 348027 P**

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

**27.04.2021**

73 Titular/es:

**NIQUAN ENERGY LLC (100.0%)  
1627 K St, NW, Suite 901  
Washington, DC 20006, US**

72 Inventor/es:

**ALLAM, RODNEY J.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 821 780 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**

Generación de metanol utilizando hidrógeno ultrapuro a alta presión

## 5 Campo técnico

La presente invención se refiere a la producción de metanol y, más particularmente, a producir metanol usando una mezcla de gas de síntesis de monóxido de carbono más hidrógeno ( $\text{CO}+\text{H}_2$ ) producida a una presión superior a la requerida en el reactor de síntesis de metanol sin compresión posterior.

10

## Antecedentes

El metanol, también conocido como alcohol metílico, alcohol de madera, nafta de madera o aguarás, es un alcohol simple, con la fórmula  $\text{CH}_3\text{OH}$ , que es un alcohol líquido venenoso inflamable volátil ligero. El metanol tiene muchos usos en la producción de un rango de productos químicos que incluyen etilenglicol, ácido acético y acetato de vinilo. El metanol también se puede utilizar para producir biodiésel mediante una reacción de transesterificación. El metanol se produce naturalmente en el metabolismo anaeróbico de muchas variedades de bacterias y es omnipresente en el medio ambiente. El metanol se produce comercialmente combinando  $\text{CO}$  y  $\text{CO}_2$  con hidrógeno en un reactor catalítico que opera a presiones típicamente en el rango de 70 a 100 bar y temperaturas en el rango de 250 °C a 300 °C. Los métodos comúnmente usados para producir el gas de síntesis  $\text{CO}+\text{H}_2$  a partir de gas natural incluyen reformado catalítico de vapor/hidrocarburo (SMR), reformado catalítico autotérmico (ATR), oxidación parcial (POX) y combinaciones de los anteriores. Una combinación del ATR y un SMR calentado por convección es la base del conocido Leading Concept Ammonia Process. El sistema de generación de gas de síntesis se describe en un artículo "A Methanol Technology for the 20th Century " de R Kirkpatrick y T Fitzpatrick presentado en la World Methanol Conference San diego November 1999. En cada caso, excepto POX, el gas de síntesis de la presión de generación óptima se comprime a la presión más alta requerida por el sistema del reactor de metanol. El POX puede producir gas de síntesis a presiones en el rango de 70 a 100 bar, pero no es un método económico de forma aislada, ya que produce gas de síntesis a una temperatura muy alta de 1300 °C a 1400 °C y existe un gran requerimiento específico de oxígeno.

30

El documento US 2010/0047160 describe en diversas implementaciones, las corrientes de alimentación que incluyen metano reaccionan para producir gas de síntesis. El gas de síntesis puede procesarse adicionalmente para producir corrientes de hidrógeno ultrapuro a alta presión.

El documento US 6,669,744 describe un proceso para la producción de gas de síntesis a partir de un combustible de hidrocarburo y vapor y/o gas oxígeno en donde al menos parte de cualquier requisito de vapor se proporciona mediante el intercambio de calor contra el gas de escape de una turbina de gas que impulsa una unidad de separación de aire que suministra al menos parte de cualquier requerimiento de oxígeno para la producción de gas de síntesis. El proceso es particularmente aplicable cuando el gas de síntesis se usa para preparar un combustible de síntesis mediante síntesis de metanol o un proceso Fischer-Tropsch.

40

## Resumen

Por tanto, la invención proporciona un método para producir metanol, que comprende; producir oxígeno en una planta de separación de aire con compresores de aire conducidos por una turbina de gas; calentar una corriente de alimentación de hidrocarburo utilizando el escape de la turbina de gas;

45

hacer reaccionar exotérmicamente una primera porción de la corriente de alimentación de hidrocarburo calentada con al menos uno de vapor o un gas oxidante que comprende oxígeno molecular para producir un producto de gas de síntesis generado exotérmicamente;

50

reformar endotérmicamente una segunda porción de la corriente de alimentación de hidrocarburo con vapor sobre un catalizador en un reformador de intercambio de calor para producir un producto de gas de síntesis reformado endotérmicamente, en donde al menos una porción del calor utilizado en la generación del producto de gas de síntesis reformado endotérmicamente se obtiene recuperando calor del producto de gas de síntesis generado exotérmicamente y del producto de gas de síntesis reformado endotérmicamente;

55

combinar el producto de gas de síntesis generado exotérmicamente y el producto de gas de síntesis reformado endotérmicamente para producir una corriente de gas de síntesis combinada;

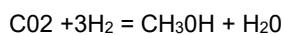
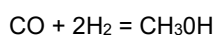
60

producir vapor en una caldera de calor residual enfriando la corriente de gas de síntesis combinada, en donde el gas de síntesis combinado enfriado se pasa a la planta de metanol a una presión en un rango de aproximadamente 70 a 100 bares;

separar agua del gas de síntesis combinado enfriado para producir una alimentación de planta de metanol a una presión sustancialmente de circuito de reacción y que tenga menos de aproximadamente 2% de contenido molar de metano y menos de aproximadamente 0.2% de contenido molar de agua;

5 después de separar el agua, pasar el gas de síntesis combinado enfriado a una planta de metanol; y combinar el efluente combustible de la planta de metanol con combustible de metano a la turbina de gas, en donde el gas de síntesis combinado enfriado se pasa a la planta de metanol sin usar un compresor de corriente de alimentación, en donde el gas de síntesis combinado enfriado se pasa a la planta de metanol a una presión en un rango de aproximadamente 70 a 100 bares, y en donde la segunda porción de la corriente de alimentación de hidrocarburo incluye una relación de vapor a carbón activo en el rango de aproximadamente 5.5 a 6.5 y en donde el reformado endotérmico se produce a una presión de aproximadamente 70 bares o más.

15 En diversas implementaciones, el metanol se produce usando gas de síntesis  $\text{CO} + \text{H}_2 + \text{CO}_2$  producido usando la combinación básica de POX+EHTR (Enhanced Heat Transfer Reformer) que puede producir metanol de acuerdo con las siguientes reacciones:



20 El gas de síntesis se puede producir a una presión en el rango de 70 bar a 100 bar con un contenido de metano que no exceda el 2% molar (base seca). La combinación de un POX + EHTR que usa una turbina de gas puede proporcionar la energía para los compresores de aire de la planta de oxígeno como se describe en los documentos US 6534551 y US 6669744. Proporcionar la energía a la turbina de gas puede resultar en una combinación de recuperación de calor en el sistema de generación de gas de síntesis y en el circuito del reactor de síntesis de metanol en circulación, que puede dar como resultado una recuperación de calor óptima o aumentada y puede proporcionar sustancialmente toda la energía del árbol y el calor del proceso para la generación de gas de síntesis, síntesis de metanol y sistemas de purificación de metanol. Los efluentes combustibles descargados del sistema de purificación de metanol pueden incinerarse a presión casi atmosférica en el calentador caldeado de escape de la turbina de gas, lo que puede producir calentamiento para las alimentaciones de vapor y gas natural al sistema de generación de gas de síntesis POX + EHTR. Este uso altamente eficiente de estos efluentes combustibles puede reemplazar la alimentación de gas natural sobre una base de liberación de calor equivalente. Los efluentes combustibles pueden incluir al menos uno de un aceite de fusel, gas de purga del circuito o gas de ventilación a partir de un recipiente de destilación y descenso de presión.

35 En algunas implementaciones, el sistema de producción de metanol puede incluir un POX más EHTR con una relación muy alta de vapor a carbón activo en la alimentación del reformador EHTR, el cual puede producir una mezcla de gas de síntesis que sale de la caldera de calor residual a temperaturas de 300 °C a 400 °C y una presión de 70 bar a 100 bar. La relación de vapor a carbón activo en la corriente de alimentación de EHTR está en el rango de aproximadamente 5.5 a 6.5. Para lograr un contenido de metano en el gas de síntesis seco de menos del 2% molar, el EHTR puede operar a una alta relación de vapor a carbón activo. A fin de operar el EHTR en combinación con un reactor de POX para maximizar o de otro modo aumentar la producción de gas de síntesis de una alimentación de gas natural total dada, el POX puede ser operado con una relación de oxígeno a gas natural mucho más alta de lo normal. La operación normal de un sistema de POX con oxígeno proporciona un buen rendimiento con un contenido de metano en el gas de salida sobre una base seca en el rango de 0.25% a 0.5% molar cuando la temperatura de descarga de POX está en el rango de 1300 a 1350 °C. El reactor de POX puede dar como resultado una temperatura de salida de entre 1400 °C y 1500 °C con alimentación de gas natural. Un ejemplo usa una relación de vapor a carbón activo de 6.03 en el EHTR, que puede tener una temperatura del lado de la cubierta de salida de aproximadamente 600°C, una temperatura de salida del lado del tubo de aproximadamente 900 °C, una temperatura de salida de POX de aproximadamente 1446 °C y una temperatura de entrada del lado de la cubierta mixta en el lado de la cubierta EHTR de aproximadamente 1131 °C. La temperatura del gas de síntesis a la salida de la caldera de calor residual puede ser de aproximadamente 320 °C y la presión del gas de síntesis puede ser de aproximadamente 77 bar. El gas de síntesis puede contener aproximadamente los siguientes componentes: (1)  $\text{CO}$  1b mol 1806.31; y (2)  $\text{CO}_2$  lb mol 351.18. Para la estequiometría en la producción de metanol, estos componentes pueden incluir aproximadamente  $3 \times 351.18 + 2 \times 1806.31 = 4666.16$  lb mol de  $\text{H}_2$ . El contenido real puede ser de aproximadamente 4559.56 libras mol, lo que puede permitir el pequeño exceso de  $\text{CO} + \text{CO}_2$ .

60 El gas de síntesis que sale de la caldera de calor residual se puede enfriar en un primer intercambiador de calor contra condensado y luego contra agua de alimentación de la caldera desoxigenada. El gas de síntesis enfriado se puede enfriar luego contra un sistema de enfriamiento ambiental, tal como agua de enfriamiento, a una temperatura a la cual el contenido de agua está en gran parte en la fase líquida. El agua se puede separar ya que afecta adversamente la composición de equilibrio y la conversión del gas de síntesis en metanol por paso del gas de síntesis a través del reactor de metanol. La presión del vapor generado en la caldera de calor residual puede ser considerablemente más alta que la presión de vapor utilizada para la alimentación al EHTR. El vapor saturado producido en la caldera de calor residual se puede sobrecaleentar en el calentador caldeado de escape de la turbina de gas y se puede reducir la presión para que el EHTR produzca un exceso de energía en una turbina de paso de vapor saliente. El vapor saliente se

puede sobrecalentar en el calentador a una temperatura en el rango de 450 °C a 550 °C antes o después de mezclar con la alimentación al circuito de gas de síntesis de metanol a una presión sustancialmente igual a la presión de la alimentación directa al circuito de metanol sustancialmente sin compresión de gas adicional. Además, el contenido de agua puede estar típicamente en el rango de aproximadamente 0.1 a 0.15% molar y el contenido de metano es inferior al 2%. Esta combinación de propiedades puede resultar en una alimentación de gas de síntesis ideal al circuito de metanol. Todos los efluentes inflamables del circuito de metanol se pueden quemar de manera eficiente en el calentador caldeado de turbina de gas. El uso de un propulsor de turbina de gas para el sistema de propulsión del compresor de aire de la planta de oxígeno puede provocar que la planta de metanol no utilice calderas de vapor de reserva para generar el vapor para los sistemas de propulsión del compresor, que generalmente funcionan con turbinas de vapor en las plantas de metanol existentes. La combinación de POX-EHTR propuesta con las características mostradas es un método eficaz desarrollado actualmente para la producción de gas de síntesis para la síntesis de metanol.

La operación del circuito de metanol puede estar en su totalidad a partir de este punto en adelante. El calor generado en la reacción de síntesis de metanol puede recuperarse convencionalmente y usarse parcial o totalmente para proporcionar el calor para el funcionamiento del sistema de destilación de purificación de metanol. El exceso de vapor a presión media a baja puede usarse para producir un exceso de energía en una turbina de vapor de condensación, que puede agregarse a la turbina de vapor saliente. Los detalles de una o más implementaciones se establecen en los dibujos adjuntos y la descripción a continuación.

#### Descripción de dibujos

Figura 1 ilustra un sistema de ejemplo para la producción de gas de síntesis para una planta de metanol.

Figura 2 ilustra un esquema de flujo detallado para la producción de gas de síntesis para una planta de metanol.

Figura 3 ilustra las temperaturas y presiones de los flujos de composiciones de corriente para un ejemplo de una corriente de alimentación que está siendo procesada por el sistema ilustrado en la Figura 2.

Figura. 4 ilustra otro sistema de ejemplo para la producción de gas de síntesis para una planta de metanol.

Los símbolos de referencia similares en los diversos dibujos indican elementos similares.

#### Descripción detallada

En diversas implementaciones, se puede procesar una corriente de alimentación para producir un gas de síntesis para la producción de metanol que puede tener una o más de las siguientes características: una relación estequiométrica de H<sub>2</sub> a (CO+CO<sub>2</sub>) para la producción de metanol; una presión de producción en el rango de aproximadamente 70 bar a 100 bar que puede no incluir una compresión adicional para alimentar el gas de síntesis directamente en el circuito del reactor de metanol; un gas de síntesis con menos de aproximadamente 2% molar de contenido de metano; un gas de síntesis con menos de aproximadamente 0.2% de contenido molar de agua; efluentes combustibles de la producción de metanol y un sistema de purificación que los retorna al proceso de producción de gas de síntesis para combustión; devolver el exceso de vapor producido por el proceso de producción y purificación de metanol al proceso de producción de gas de síntesis donde se puede utilizar para producir energía; y/u otros. Las corrientes de alimentación procesadas pueden incluir una variedad de corrientes de alimentación que incluyen metano, tal como gas natural, combustibles de hidrocarburo, gases ricos en metano tal como metano de mantos carboníferos o biogás (por ejemplo, corriente producida a partir de la descomposición anaeróbica de la materia). Las corrientes de alimentación pueden incluir corrientes de hidrocarburo líquidos. Un método según la invención se define en la reivindicación 1.

La siguiente descripción proporciona ejemplos de temperaturas, presiones y concentraciones de funcionamiento en relación con la descripción de los sistemas y operaciones de metanol.

La Figura 1 es un diagrama de flujo que ilustra un método 100 para generar metanol de acuerdo con algunas implementaciones de la presente divulgación. Generalmente, el método 100 describe una técnica de ejemplo para usar gas de purga de un circuito de metanol como corriente de alimentación a una turbina de gas. El método 100 contempla el uso de cualquier combinación y disposición apropiadas de elementos lógicos que implementen algunas o todas las funciones descritas.

El método 100 comienza en la etapa 102 donde se produce oxígeno en una planta de separación de aire con compresores de aire accionados por una turbina de gas. En la etapa 104, el escape de la turbina de gas se usa en un intercambiador de calor para calentar vapor, agua y precalentamiento de metano. El metano y el oxígeno se hacen reaccionar en un POX a una temperatura superior a aproximadamente 1400 °C en la etapa 106. A continuación, en la etapa 108, se usa calor de las corrientes de producto del POX y EHTR para calentar los tubos EHTR. En relación con el reciclaje de calor, el vapor y el metano se hacen reaccionar en una relación superior a aproximadamente 5 a 1 en un reformador tubular catalítico calentado por convección (por ejemplo, EHTR) en la etapa 110. A continuación, en la

etapa 112, se produce vapor utilizando el calor recuperado del enfriamiento del gas de síntesis en una caldera de calor residual. Además, el calor es recuperado del enfriamiento del gas de síntesis para el condensado y el precalentamiento del agua de alimentación de la caldera en la etapa 114. En la etapa 116, el agua se separa del gas de síntesis enfriado para producir la alimentación de la planta de metanol a la presión del circuito de reacción con menos de aproximadamente 2% de CH<sub>4</sub> y menos de aproximadamente 0.2% de H<sub>2</sub>O. A continuación, en la etapa 118, la corriente se pasa a la planta de metanol y se purifica con metanol. El Efluente combustible de la planta de metanol más metano utilizado como combustible del calentador de escape de la turbina de gas en la etapa 120.

La Figura 2 es un esquema de flujo detallado que muestra el gas de síntesis, el metanol, el sistema de energía y el sistema de tratamiento de agua de acuerdo con algunas implementaciones de la presente divulgación. Las corrientes 5 y 6 de alimentación precalentadas pueden introducirse en los sistemas 4 y 53 de generación de gas de síntesis. Por ejemplo, una corriente de alimentación, tal como el gas natural, puede introducirse en un sistema de generación de gas de síntesis POX/EHTR, como se ilustra, ese incluye un Reactor de Oxidación Parcial (POX) combinado con un Reformador Catalítico Calentado por Gas (EHTR), en el que el gas producto del POX combinado y el gas producto del EHTR se utilizan para proporcionar el total o al menos una porción sustancial del calor requerido del EHTR calentado por convección. Como se ilustra, una corriente 2 de oxígeno calentado comprimido se puede generar en una Unidad de Separación de Aire (ASU) 3 criogénica de oxígeno líquido bombeado. La corriente 2 de oxígeno se puede precalentar (por ejemplo, mediante el calor de la corriente 14 de vapor de condensación y proporcionar a un POX con una corriente 5 de alimentación de gas natural. Una turbina 15 de gas puede impulsar un compresor 18 de aire, que puede proporcionar la corriente 16 de aire de alimentación a aproximadamente 5.8 bar a la ASU 3. Una porción de la corriente 16 de aire de alimentación se comprime adicionalmente, por ejemplo, a aproximadamente 70 bar en un compresor 19 de refuerzo. El compresor 19 de refuerzo puede ser accionado por un motor eléctrico que deriva su energía eléctrica de un generador acoplado a la turbina 15 de gas. Una porción de la corriente 46 de alimentación (por ejemplo, gas natural) puede ser suministrada como combustible a la turbina 15 de gas. La corriente 46 puede comprender gas natural mezclado con la corriente 23 de gas de purga del circuito de metanol derivada de la planta de metanol y adecuadamente reducida en presión. Se precalienta a una temperatura de, por ejemplo, aproximadamente 250°C. El escape 20 de la turbina de gas puede estar en, por ejemplo, aproximadamente 537 °C. El escape 20 de la turbina de gas, que puede incluir oxígeno, puede proporcionarse como la corriente de aire de combustión para el quemador 21 calentador caldeado que usa una combinación de 2 corrientes de combustible. En primer lugar, el efluente combustible gaseoso a baja presión de la planta de metanol y, en segundo lugar, una corriente 22 de combustible líquido inflamable de la planta de metanol. El producto de combustión 29 del quemador 21 entra en la sección de convección del calentador 28 caldeado. El gas 30 de escape enfriado se descarga del calentador a la atmósfera a una temperatura de, por ejemplo, aproximadamente 137°C.

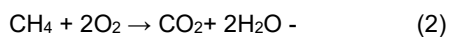
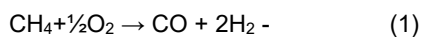
La corriente 54 de alimentación de gas natural a 40 bar se comprime a 82 bar en el compresor 55 y entra en el calentador como corriente 25 a 80°C. Esta corriente se calienta a 500°C y se divide en la corriente 5, la alimentación de POX y la corriente 26 que se puede mezclar con la corriente 47 de vapor sobrecalentado a aproximadamente 500°C. La corriente 6 combinada es la alimentación a los tubos llenos de catalizador del EHTR. Se extrae una corriente secundaria de gas natural precalentado a 320°C para formar parte de la corriente 46 de combustible de la turbina de gas.

En el POX 4, la corriente 5 de gas natural puede oxidarse parcialmente con la corriente 2 de oxígeno para producir la corriente 27 de gas de síntesis (por ejemplo, una corriente que incluye hidrógeno y monóxido de carbono). La corriente 27 de gas de síntesis puede incluir alimentación sin reaccionar de la corriente 5 de gas natural y/o subproductos tales como dióxido de carbono, metano, nitrógeno, argón, oxígeno y vapor de agua. La corriente 27 de gas de síntesis está a una temperatura de 1446 °C y entra en el lado de la cubierta del reactor 53 EHTR. Esta temperatura puede ser mucho más alta que la temperatura de salida normal de un reactor de POX alimentado con gas natural que sería de aproximadamente 1345 °C. El exceso de calor presente en el gas de salida de POX debido a la temperatura más alta puede permitir que el EHTR funcione a una presión de 80 bar con una relación de vapor a carbón activo de 6.03, de modo que el flujo de salida total de POX más la corriente 7 de EHTR pueda tener una concentración de metano de 1.8% molar (base seca).

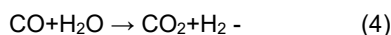
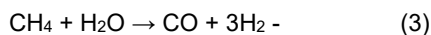
En algunas implementaciones, una corriente 6 que incluye una mezcla de gas natural y/o vapor (por ejemplo, a aproximadamente 500 °C) también puede ser alimentada al EHTR. La mezcla de gas natural y vapor puede fluir hacia abajo a través del catalizador en el EHTR (por ejemplo, tubos verticales abiertos llenos de catalizador) y puede salir de los tubos EHTR como una mezcla de hidrógeno y monóxido de carbono más algo de dióxido de carbono, metano, nitrógeno, argón y vapor de agua. Este gas puede salir a aproximadamente 900 °C. Esta corriente de gas también puede mezclarse con la corriente 27 de gas producto del POX. La corriente combinada (por ejemplo, el gas que sale de los tubos de catalizador mezclado con la corriente de producto del POX) puede fluir hacia arriba a través del lado de la cubierta de EHTR y/o puede proporcionar el calor requerido para las reacciones de reformado de vapor/hidrocarburo. La corriente 7 de gas producto puede salir del EHTR a aproximadamente 600 °C. La corriente 7 de gas producto puede incluir gas de síntesis y puede enfriarse para producir una corriente 8 enfriada. La corriente 7 de gas producto puede enfriarse en una caldera de calor residual de 600°C a 340°C produciendo una corriente 41 de vapor a partir de una corriente 56 de agua de alimentación de caldera precalentada. La corriente 41 de vapor a 330°C y 125 bar que sale de la caldera 30 de calor residual se sobrecalienta a 500°C a medida que pasa por el calentador 28 caldeado que sale como corriente 42. Esta corriente entra en una turbina 44 saliente donde su presión se reduce

a 80.5 bar a una temperatura de 432°C. La corriente de salida se divide. La corriente 14 se condensa en el calentador 48 de oxígeno, mientras que el resto, la corriente 45, entra en el calentador 28 caldeado y se calienta, por ejemplo, a 500°C. La corriente 47 luego se mezcla con la corriente 26 de gas natural precalentado, convirtiéndose en la corriente 6 de alimentación del lado del tubo EHTR. La corriente 8 de gas de síntesis se enfría en el intercambiador 31 de calor a 201°C mientras se calienta la corriente 51 de agua de alimentación de la caldera a 310°C. Puede haber una gran cantidad de vapor no condensado presente en la corriente 9. El gas de síntesis se enfría, por ejemplo, a 164°C en el intercambiador 57 de calor, que puede usarse para precalentar y evaporar una corriente 35 de agua de alimentación de la caldera a, por ejemplo, 6.9 bar que sale como corriente 36 para entrar en el calentador 28 caldeado donde su temperatura se eleva a, por ejemplo, 330°C. La corriente 52 produce energía en la turbina 50 de vapor de condensación. La corriente 58 de agua condensada junto con todas, sustancialmente todas u otras corrientes de agua entran en el sistema 37 de purificación y tratamiento de agua. Una corriente 48 de agua tratada puede descargarse del sistema. La corriente 24 de gas de síntesis se enfría luego a 40°C contra las corrientes 11 a 12 de agua de enfriamiento de calentamiento en el intercambiador 59 de calor. El agua condensada se separa en 33 y la corriente 13 de gas de síntesis entra en el circuito de síntesis de metanol y el sistema 38 de purificación. Se puede producir metanol sustancialmente puro a una tasa de, por ejemplo, aproximadamente 730 toneladas métricas/día como corriente 39. La corriente 13 de gas de síntesis se puede recalentar en 59 a 150°C antes de entrar en el circuito de metanol para aumentar la producción de vapor en exceso del sistema de purificación y síntesis de metanol.

En general, la corriente 5 de alimentación puede sufrir una oxidación parcial (ecuación 1) en un reactor de POX, por ejemplo. Además, puede ocurrir algo de oxidación total (ecuación 2) y puede haber una reacción de desplazamiento (ecuación 4). Las reacciones pueden incluir:



El gas de síntesis producto de las reacciones de POX produce una mezcla de gases a muy alta temperatura que puede usarse para proporcionar parte del calor endotérmico de reacción para el reformado de vapor/hidrocarburo en un reformador catalítico secundario calentado por convección (EHTR) aguas abajo. La parte restante del requerimiento de calor se proporciona mezclando el gas producto de los tubos EHTR a 900°C con el gas producto del POX a 1446°C antes de que la corriente de gas total se utilice para calentar el GHR. Las reacciones de reformado con vapor pueden incluir:



La corriente 7 de gas de síntesis puede incluir hidrógeno y monóxido de carbono. La corriente 7 de gas de síntesis también puede incluir metano, vapor de agua, dióxido de carbono, argón y/o nitrógeno. Las concentraciones relativas de monóxido de carbono e hidrógeno pueden depender, por ejemplo, de la composición de la alimentación de hidrocarburo (por ejemplo, el metano solo se usa en estas ecuaciones por simplicidad, pero otros componentes pueden estar presentes en la alimentación y oxidarse y/o reformarse), presión, temperatura de salida de POX. La temperatura de salida del tubo del catalizador EHTR, la temperatura de alimentación de oxígeno, gas natural y vapor a POX y EHTR, la relación de vapor a carbón activo en la alimentación a la EHTR y la temperatura de salida del lado de la cubierta desde el EHTR. La pureza del oxígeno puede estar en el rango de 90 a cerca del 100% en volumen de O<sub>2</sub> y, más particularmente, puede estar en el rango de 95% a 99.5% de O<sub>2</sub> en volumen. La pureza ideal del oxígeno está en el rango de 99% a 99.9% molar para minimizar la pérdida de gas de purga del circuito de metanol.

En algunas implementaciones, el metanol se produce directamente a partir del sistema de generación de gas de síntesis con alta pureza (por ejemplo, 95% o más). La operación del sistema de generación de gas de síntesis propuesto se lleva a cabo a presiones en el rango de 70 bar a 100 bar, lo que permite que el gas de síntesis producido ingrese al circuito del reactor de síntesis de metanol en circulación independientemente o sin usar un compresor de gas de alimentación. Las reacciones 1 a 3 se ven afectadas negativamente por presiones más altas, mientras que la reacción 4 es independiente de la presión. Las reacciones 1 y 2 pueden compensar una presión más alta mediante el aumento de la temperatura de reacción, lo que puede lograrse mediante un ligero aumento en la relación de oxígeno a hidrocarburo en la alimentación de POX. El aumento de la relación de oxígeno a hidrocarburo y el aumento de la temperatura no causarán problemas significativos en el diseño del equipo.

Para que el sistema EHTR funcione como un reactor de reformado de vapor/hidrocarburo a altas presiones por encima de 70 bar, el sistema 100 puede utilizar una relación muy alta de vapor a carbón activo en la alimentación del GHR para controlar la concentración de metano en el producto 7 de gas de síntesis. Este se encuentra en el intervalo de 5.5 a 6.5. La relación real de vapor a carbón activo en la alimentación al GHR depende de la presión y la temperatura de salida del tubo del catalizador del GHR. La relación puede elegirse para limitar la relación de CH<sub>4</sub> a (H<sub>2</sub>+CO) en el producto de gas de síntesis que sale de los tubos de GHR a al menos aproximadamente un 5%, tal como, en el intervalo de 5% a 10% (molar). Esto puede resultar en una concentración de metano en la corriente 7 de producto de gas de síntesis por debajo del 2% molar (base seca). Para compensar la carga de calor adicional en el EHTR, la

temperatura de salida de POX puede ser más alta que una cifra normal de aproximadamente 1340°C. La temperatura de salida de POX puede aumentarse aumentando la relación de oxígeno a hidrocarburo en la alimentación de POX de modo que la temperatura de salida de POX esté por encima de, por ejemplo, 1400°C, tal como en el intervalo de 1425°C a 1500°C. Cuando se usa un ATR, la temperatura de salida puede estar en general por debajo de 1050°C y, en este caso, la relación de gas de síntesis del ATR al del EHTR puede aumentarse.

Para que el sistema EHTR funcione como un reactor de reformado de vapor/hidrocarburo a altas presiones (por encima de 70 bar), se puede utilizar una relación muy alta de vapor a carbón activo en la alimentación. Por tanto, para la producción de gas de síntesis, se puede producir un mayor contenido de metano en el gas de salida del EHTR. Sin embargo, es posible que la corriente de gas de salida del POX no tenga un contenido de metano más alto porque está funcionando a una temperatura de descarga más alta. Dado que aproximadamente el 70% del gas de síntesis se produce a partir del reactor de POX y solo aproximadamente el 30% del EHTR, es posible tolerar un contenido de CH<sub>4</sub> mucho mayor en el gas de salida de GHR que, por ejemplo, de un reformador autónomo de vapor/gas natural. Aunque no es posible aumentar la temperatura de salida del ATR, la temperatura de salida superior a 1000°C significa que el contenido de CH<sub>4</sub> puede ser inferior al 1% en el rango de presión de 70 bar a 100 bar, por lo que un aumento causado por el deseo de aumentar la presión de reacción puede no tener un efecto significativo. Sin embargo, es preferible utilizar la combinación POX/EHTR ya que esto da una menor concentración de metano en el gas de síntesis alimentado al circuito de metanol y, por tanto, minimiza o reduce de otro modo la pérdida de gas de purga del circuito. Una característica adicional del diseño EHTR utilizado en este proceso es el hecho de que los tubos llenos de catalizador EHTR se montan en un haz vertical con una lámina de tubo de entrada en el extremo superior más frío y con los extremos de salida calientes inferiores abiertos, de modo que los tubos son libres de expandirse hacia abajo cuando se calientan a temperaturas de salida operativas, que pueden estar en el rango de 800°C a 900°C. Esto significa que la diferencia de presión entre el interior y el exterior de los tubos GHR, cuando funcionan en las condiciones de diseño, puede ser pequeña. La suma de la caída de presión en el tubo lleno de catalizador más la caída de presión del lado de la cubierta puede tener un valor máximo en el extremo superior frío de los tubos GHR y aproximadamente cero en el extremo caliente inferior de los tubos. El GHR puede operar a cualquier presión hasta una limitación económica causada por el diseño del recipiente a presión y cualquier restricción de presión en el sistema de purificación de gas elegido causada por la presión de gas progresivamente más alta. En algunas implementaciones, esta operación puede ser diferente de un reformador de vapor/gas natural, donde el horno opera a presión casi atmosférica, y la resistencia de los tubos impone una limitación de presión sobre la presión del gas de síntesis que generalmente está por debajo de 35 a 40 atm. Estas características pueden producir el gas de alimentación CO+CO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub> para un sistema de síntesis de metanol a baja presión que funciona a una presión de circuito en el rango de 70 a 100 bar.

Los beneficios de esta divulgación son que se puede aumentar la eficiencia general de la planta de metanol y se puede reducir el coste al operar el sistema de gas de síntesis a alta presión, lo que puede reducir el tamaño y el coste del equipo. Además, el sistema de metanol elimina sustancialmente el sistema de compresión de gas de síntesis convencional e introduce gas de alimentación caliente en el circuito y puede permitir la producción de energía de subproducto adicional.

La Figura 3 ilustra un gráfico 300 que incluye las condiciones de funcionamiento del sistema de metanol de la Figura 1. Con base en las condiciones definidas en el gráfico 300 y el diagrama de flujo de la Figura 2, el sistema puede incluir una o más de las siguientes características de rendimiento: producción de metanol en aproximadamente 730 toneladas métricas/día; suministro total de gas natural en aproximadamente 828.26 millones de BTU/día (base LHV); rata de calor específica en aproximadamente 26.43 millones de BTU (base LHV) por tonelada métrica de metanol; flujo de oxígeno a aproximadamente 364 toneladas métricas/día a 99.5% de pureza molar 85 bar; y/u otros. En algunas implementaciones, el gráfico 300 puede basarse en el uso de una turbina de gas Siemens SGT-300. Con una eficiencia teórica de aproximadamente el 55% (base LHV) para aproximadamente 3.9Mw de energía de exportación, la eficiencia térmica de la producción de metanol puede ser de aproximadamente 71.5% (base LHV).

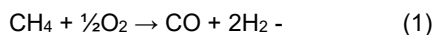
La Figura 4 ilustra otro ejemplo de un sistema de metanol 400 que integra el sistema de gas de síntesis con el intercambio de calor. Como se indicó anteriormente, una corriente de alimentación se procesa, en diversas implementaciones, para producir corrientes de gas de síntesis de alta presión (más de aproximadamente 70 bares) que comprenden mezclas de CO+CO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub> de composición adecuada para la producción de metanol en, por ejemplo, un proceso catalítico. Las corrientes de alimentación procesadas pueden incluir una variedad de corrientes de alimentación que incluyen metano, tal como gas natural, combustibles de hidrocarburo, gases ricos en metano tales como metano de mantos carboníferos o biogás (por ejemplo, corriente producida a partir de la descomposición anaeróbica de la materia). Las corrientes de alimentación pueden incluir corrientes de hidrocarburo líquido. Se puede introducir una corriente 405 de alimentación precalentada en los sistemas 404 y 407 de generación de gas de síntesis. Por ejemplo, se puede introducir una corriente de alimentación, tal como gas natural, en un sistema de generación de gas de síntesis POX/EHTR, como se ilustra, que incluye un Reactor de Oxidación Parcial (POX) combinado con un Reformador Catalítico Calentado por Gas (EHTR), en el que el gas producto de POX combinado y el gas producto del EHTR se utilizan para proporcionar el total o al menos una porción sustancial del requisito de calor del EHTR. Como otro ejemplo, la corriente de alimentación se puede alimentar a un sistema de generación de gas de síntesis combinado ATR/EHTR que incluye un Reformador Autotérmico (ATR) combinado con un EHTR, en el que el gas del producto ATR combinado y el gas del EHTR se utilizan para proporcionar el total o al menos una porción sustancial del requerimiento de calor del EHTR. Como se ilustra, se puede generar una corriente 402 de oxígeno comprimido en una

Unidad de Separación de Aire (ASU) criogénica de oxígeno líquido bombeado. La corriente 402 de oxígeno puede precalentarse (por ejemplo por el calor del vapor calentado por el combustible 438 quemado en un quemador calentador caldeado), y suministrarse a un POX con una corriente 405 de alimentación de gas natural. La corriente 405 de alimentación de gas natural puede precalentarse (por ejemplo por calor generado por un combustible 438 y/o gas natural 447, tal como gas natural de la corriente de alimentación, quemado en un quemador calentador caldeado).

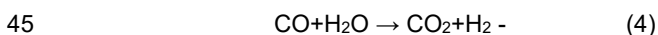
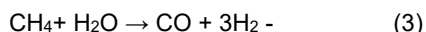
En el POX, la corriente 405 de gas natural puede oxidarse parcialmente para producir la corriente 404 de gas de síntesis (por ejemplo, una corriente que incluye hidrógeno y monóxido de carbono). La corriente 404 de gas de síntesis puede incluir alimentación sin reaccionar de la corriente 405 de gas natural y/o subproductos tales como dióxido de carbono, metano, nitrógeno, oxígeno y vapor de agua. La corriente 404 de gas de síntesis puede entrar en el lado de la cubierta del EHTR 407.

En algunas implementaciones, una corriente 406 que incluye una mezcla de gas natural y/o vapor (por ejemplo, a aproximadamente 550°C) también se puede alimentar al EHTR. La corriente 406 puede precalentarse (por ejemplo, mediante el calor generado por el combustible 438 quemado en un quemador calentador caldeado). La mezcla de gas natural y vapor puede fluir hacia abajo a través del catalizador en el EHTR (por ejemplo, tubos verticales abiertos llenos de catalizador) y puede salir del EHTR como una mezcla de hidrógeno y dióxido de carbono más algo de monóxido de carbono, nitrógeno, argón y vapor de agua. Este gas puede salir a aproximadamente 900°C. Esta corriente de gas también puede mezclarse con la corriente 404 de gas producto del POX. La corriente combinada (por ejemplo, el gas que sale de los tubos de catalizador mezclado con la corriente de producto del POX) puede fluir hacia arriba a través del lado de la cubierta del EHTR y/o puede proporcionar el calor requerido para las reacciones de reformado de vapor/hidrocarburo. La corriente 407 de gas producto puede salir del GHR a aproximadamente 600°C. La corriente 407 de gas producto puede incluir gas de síntesis y puede enfriarse para producir una corriente 408 enfriada. La corriente 407 de gas producto puede enfriarse en una caldera de calor residual que produce una corriente 431 de vapor a partir de una corriente 429 de agua de alimentación de la caldera precalentada. La corriente 431 de vapor que sale la caldera de calor residual puede incluir vapor saturado y puede sobrecalentarse al pasar por el calentador caldeado.

En general, la corriente 405 de alimentación puede sufrir una oxidación parcial (ecuación 1) en un reactor de POX, por ejemplo. Además, puede ocurrir algo de oxidación total (ecuación 2) y puede haber una reacción de desplazamiento (ecuación 3). Las reacciones pueden incluir:



El gas de síntesis del producto de las reacciones de POX produce una mezcla de gases de muy alta temperatura que puede usarse para proporcionar parte del calor endotérmico de reacción para el reformado de vapor/hidrocarburo en un reformador catalítico secundario calentado por gas (EHTR) aguas abajo. La parte restante del requisito de calor se proporciona mezclando el gas producto del EHTR con el gas producto del POX antes de que la corriente de gas total se utilice para calentar el EHTR. Las reacciones de reformado con vapor pueden incluir:



La corriente 531 de gas de síntesis puede incluir hidrógeno y monóxido de carbono. La corriente 531 de gas de síntesis también puede incluir componentes de alimentación sin reaccionar, agua, dióxido de carbono, argón y/o nitrógeno. Las concentraciones relativas de monóxido de carbono e hidrógeno pueden depender, por ejemplo, de la composición de la alimentación de hidrocarburo (por ejemplo, el metano solo se usa en estas ecuaciones por simplicidad, pero otros componentes pueden estar presentes en la alimentación y oxidarse y/o reformarse), presión y/o temperatura de salida de los mantos de catalizador. La pureza del oxígeno puede estar en el intervalo de 90 a cerca del 100% en volumen de O<sub>2</sub> y, más particularmente, puede estar en el intervalo de 95% a 99.5% de O<sub>2</sub> en volumen.

El objetivo de este proceso es producir metanol directamente del sistema de generación de gas de síntesis con alta pureza. Las reacciones 1 a 3 se ven afectadas negativamente por presiones más altas, mientras que la reacción 4 es independiente de la presión. Las reacciones 1 y 2 pueden compensar la presión más alta mediante un aumento relativamente pequeño de la temperatura de reacción, que puede lograrse mediante un ligero aumento en la relación de oxígeno a hidrocarburo. El aumento de la relación de oxígeno a hidrocarburo y el pequeño aumento de temperatura no causarán problemas importantes en el diseño del equipo.

Para que el sistema EHTR funcione como un reactor de reformado de vapor/hidrocarburo a altas presiones por encima de 70 bar, el sistema 100 puede usar una relación muy alta de vapor a carbón activo en la alimentación del EHTR para controlar la concentración de metano en el producto 407 de gas de síntesis. Este debería ser superior a 5, y preferiblemente en el intervalo de 5 a 10. La relación real de vapor a carbón activo en la alimentación de hidrocarburo al GHR depende de la presión y de la temperatura de salida del tubo del catalizador EHTR. La relación se elige para



limitar la relación de CH<sub>4</sub> a (H<sub>2</sub>+CO) en el producto de gas de síntesis que sale de los tubos EHTR a al menos aproximadamente 5% y preferiblemente en el intervalo de 5% a 10% (molar). Para compensar la carga de calor adicional en el EHTR causada por la diferencia de temperatura entre la alimentación a los tubos EHTR y la temperatura de la corriente 407 de producto que sale del lado de la cubierta, la temperatura de salida de POX debe ser más alta que una cifra normal de aproximadamente 1340°C. La temperatura de salida de POX se puede elevar aumentando la relación de oxígeno a hidrocarburo en la alimentación de POX de modo que la temperatura de salida de POX esté por encima de 1400°C y preferiblemente en el intervalo de 1425°C a 1500°C. Cuando se utiliza un ATR, la temperatura máxima de salida será, en general, inferior a 1050°C y, en este caso, aumentará la relación entre el gas de síntesis del ATR y el del EHTR.

Para que el sistema EHTR funcione como un reactor de reformado de vapor/hidrocarburo a altas presiones (por encima de 70 bar), se puede utilizar una relación muy alta de vapor a carbón activo en la alimentación. Por tanto, para la producción de gas de síntesis, se producirá un mayor contenido de metano en el gas de salida del EHTR y ATR. Sin embargo, es posible que la corriente de gas de salida del POX no tenga un mayor contenido de metano. Dado que aproximadamente el 70% del gas de síntesis se produce a partir del reactor POX y solo aproximadamente el 30% del GHR, es posible tolerar un contenido de CH<sub>4</sub> mucho mayor en el gas de salida del EHTR que, por ejemplo, un reformador autónomo de vapor/gas natural. Aunque no es posible aumentar la temperatura de salida del ATR, la temperatura de salida superior a 1000°C significa que el contenido de CH<sub>4</sub> será inferior al 1%, por lo que un aumento causado por el deseo de aumentar la presión de reacción no tendrá un efecto significativo. Una característica adicional del diseño EHTR utilizado en este proceso es el hecho de que los tubos llenos de catalizador EHTR se montan en un haz vertical con una lámina de tubo de entrada en el extremo superior más frío y con los extremos inferiores de salida caliente abiertos, de modo que los tubos son libres de expandirse hacia abajo cuando se calientan a temperaturas de salida operativas, que estarán en el rango de 800°C a 900°C. Esto significa que la diferencia de presión entre el interior y el exterior de los tubos EHTR, cuando funcionan en las condiciones de diseño, es bastante pequeña. La suma de la caída de presión en el tubo lleno de catalizador más la caída de presión del lado de la cubierta es un valor máximo en el extremo superior frío de los tubos EHTR y aproximadamente cero en el extremo caliente inferior de los tubos. El EHTR puede operar a cualquier presión hasta una limitación económica causada por el diseño del recipiente a presión y cualquier restricción de presión en el sistema de purificación de gas elegido causada por la presión de gas progresivamente más alta. Esto es bastante diferente de un reformador de vapor/gas natural, donde el horno funciona a presión casi atmosférica, y la resistencia de los tubos impone una limitación de presión sobre la presión del gas de síntesis que generalmente está por debajo de 35 a 40 atm.

La corriente 407 de gas de producto de síntesis total está a una temperatura en el rango de 600°C a 800°C. Se pasa a través de una caldera de vapor de recuperación de calor, que recibe una corriente 429 de agua de alimentación de la caldera y produce una corriente 31 de vapor. La corriente 8 de gas de síntesis enfriada pasa a través del convertidor 104 de metanol. En algunas implementaciones, la corriente 408 de gas de síntesis puede ser de aproximadamente 77 bares en un punto inmediatamente aguas arriba de la recuperación de calor (calderines 514). La corriente 408 puede incluir una gran cantidad de vapor, por lo que un intercambiador 501 de calor paralelo a los calderines 514 puede producir calentamiento por el punto 428 de corriente de agua de alimentación de la caldera. La corriente de agua de alimentación de entrada desde el punto 426 de bomba puede precalentarse en un intercambiador 502, que puede colocarse en paralelo con el condensador 518 del circuito. Además o alternativamente, el intercambiador 502 de calor puede colocarse aguas arriba y en serie con el condensador 518 del circuito. El sistema 400 introduce parcialmente la corriente 408 a la salida del convertidor 504 de metanol y parcial o totalmente directamente en el intercambiador 501 de calor. Un separador de agua puede estar ubicado en el punto B para separar el agua condensada de la corriente 408 directamente sin diluir el producto de metanol y aumentar los costes de separación. El agua de alimentación de la caldera se puede calentar como se describe anteriormente. El punto 447 de corriente de gas natural proporcionará el combustible requerido por el quemador calentador caldeado complementado con los gases de purga producidos en el circuito de metanol y el sistema de destilación de metanol.

Estas características pueden producir el gas de alimentación CO+CO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub> para un sistema de síntesis de metanol a baja presión a una presión de circuito en el rango de 50 a 100 bar y a una temperatura en el rango de 200°C a 400°C, que está cerca de la temperatura de funcionamiento del reactor 504 de síntesis de metanol.

Los beneficios de esta invención son que aumenta la eficiencia general de la planta de metanol y reduce el coste al operar el sistema de gas de síntesis a alta presión, reduciendo así el tamaño y el coste del equipo, que elimina el sistema convencional de enfriamiento y compresión del gas de síntesis y que introduce alimentación de gas caliente en el circuito y permite una producción de energía de subproducto adicional.

Una turbina de gas puede impulsar un compresor de aire, que puede proporcionar la corriente de aire de alimentación a la ASU. Una porción de la corriente 446 de alimentación (por ejemplo, gas natural) puede proporcionarse a la turbina de gas como combustible. El escape 417 de la turbina de gas puede estar a aproximadamente 450°C. El escape 417 de la turbina de gas, que incluye oxígeno, puede proporcionarse como corriente de aire de combustión para el quemador calentador caldeado.

El calentador caldeado puede calentar una primera parte 423 de la corriente de alimentación (por ejemplo, gas natural) que se proporcionará al POX. La primera parte 423 puede comprimirse, y la primera parte 424 comprimida puede

calentarse mediante el calentador caldeado para producir una corriente 405 de alimentación precalentada que se proporciona al POX. El calentador caldeado también puede calentar una segunda parte 420 de la corriente de alimentación que se proporcionará al EHTR. La segunda parte 420 se puede comprimir, y la segunda parte 421 comprimida se puede calentar en el calentador caldeado para producir una corriente 422 de alimentación precalentada que se proporcionará al EHTR. El agua 442 de proceso, junto con la corriente 431 de vapor saturado, también se puede calentar para producir múltiples corrientes 444, 433, 432 y una corriente 434 de vapor sobrecalentado total de vapor a 80 bar 500°C para el proceso. La corriente 434 de vapor se divide en la corriente 435, utilizada para precalentar la alimentación de O<sub>2</sub> al POX o ATR y las corrientes 436 y 437, la corriente 436, se agregan a la corriente 422 para producir el vapor 406 de gas de alimentación total al lado del tubo del EHTR, y la corriente 437, incluye el vapor sobrecalentado a alta presión restante, que pasa a través de una turbina de vapor de condensación acoplada a un generador eléctrico. Por tanto, mediante el uso de diversas corrientes para la combustión y/o transferencia de calor, la eficiencia térmica del proceso puede ser superior al 60%. Por ejemplo, la eficiencia térmica del proceso, basada en el LHV del producto de metanol en comparación con el gas natural de alimentación total, puede ser superior a aproximadamente el 70% y puede ser superior al 75%.

En algunas implementaciones, al menos una porción de las corrientes de gas residual separadas, que pueden incluir gases inertes y óxidos de carbono, se puede usar como parte de una corriente de gas combustible en un calentador caldeado usando como aire de combustión el escape de la turbina de gas y/o un corriente de aire. El calor generado se puede utilizar para precalentar el hidrocarburo y el vapor alimentado a las unidades de generación de gas de síntesis. Dado que una cantidad significativa de argón y nitrógeno, que puede provenir de la corriente de oxígeno y/o corrientes de alimentación, puede incluirse en las corrientes de gas residual, un simple reciclado del CH<sub>4</sub>/Ar/N<sub>2</sub> en las corrientes de regreso al punto de alimentación del sistema de generación de gas de síntesis puede provocar la acumulación de estos componentes en el sistema. Por tanto, el uso de corrientes de gases residuales separados como combustible puede reducir las corrientes residuales del proceso y/o mejorar la rentabilidad de los procesos (por ejemplo, debido al reciclado como combustible).

Aunque la corriente de alimentación se describe como que incluye metano, la corriente de alimentación puede incluir otros componentes tales como otros hidrocarburos (por ejemplo, etano, propano, butano, pentano, benceno), otros compuestos que contienen carbono e hidrógeno (por ejemplo, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno, alcoholes, etc.), compuestos orgánicos, nitrógeno, argón, etc. La corriente de alimentación puede ser gas natural, gases asociados con la producción de gasolina, gases de escape combustibles de otros procesos, hidrocarburos líquidos, etc. En algunas implementaciones, cuando la corriente de alimentación se puede procesar con gas natural, por ejemplo, los compuestos de azufre en el gas natural se pueden eliminar o al menos eliminar parcialmente para evitar daños en el catalizador.

Aunque se describe que el gas de síntesis incluye monóxido de carbono e hidrógeno, el gas de síntesis también puede incluir otros componentes, tales como gases inertes (por ejemplo, nitrógeno o argón). En algunas implementaciones, los óxidos de carbono pueden incluir óxidos de carbono, tales como monóxido de carbono y dióxido de carbono. Aunque se ha descrito que las corrientes incluyen diversos componentes en las implementaciones, las corrientes pueden incluir uno o más de otros componentes.

Se pueden utilizar diversas otras implementaciones en combinación con sistemas, tales como el sistema 400 ilustrado en la Figura 1. Además, se pueden agregar, modificar y/u omitir diversas etapas. Como ejemplo, el dióxido de carbono separado de la corriente de gas de síntesis del producto puede proporcionarse a otros procesos (por ejemplo, procesos de producción de urea o como una corriente comprimida para secuestro). Alternativamente, una porción del CO<sub>2</sub> separado puede reciclarse de nuevo a la sección de generación de gas de síntesis y agregarse al gas de alimentación del POX, ATR o EHTR.

Aunque la ilustración anterior incluye diversas corrientes que se calientan y/o comprimen, otras corrientes pueden calentarse y/o comprimirse y/o las corrientes mostradas pueden no calentarse y/o comprimirse, como se ilustra.

Aunque anteriormente se describe una implementación específica del sistema, se pueden agregar, eliminar y/o modificar diversos componentes. Además, las diversas temperaturas y/o concentraciones se describen a modo de ejemplo. Las temperaturas y/o concentraciones pueden variar, según corresponda.

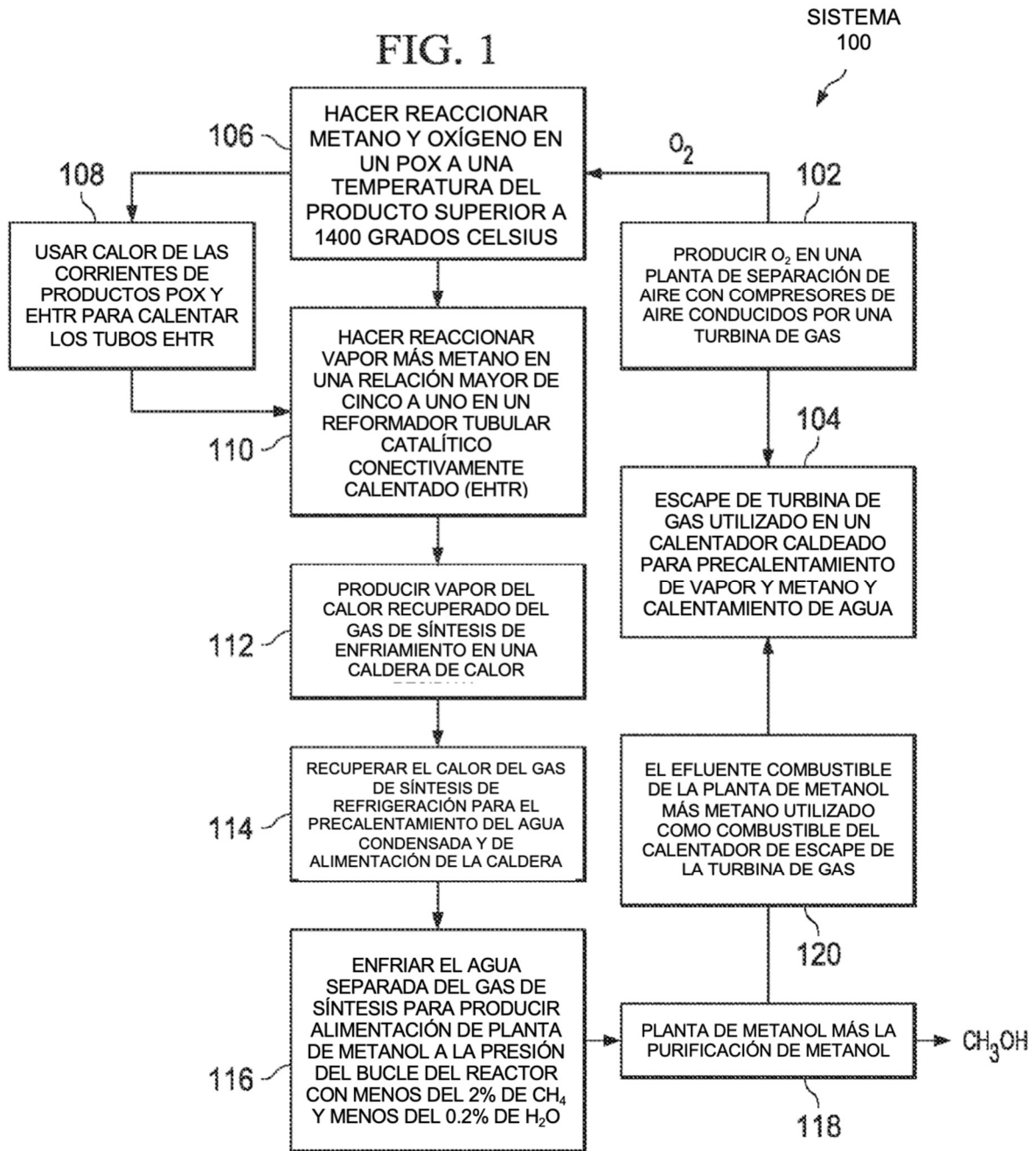
Se han descrito varias implementaciones. No obstante, se entenderá que se pueden realizar diversas modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones.

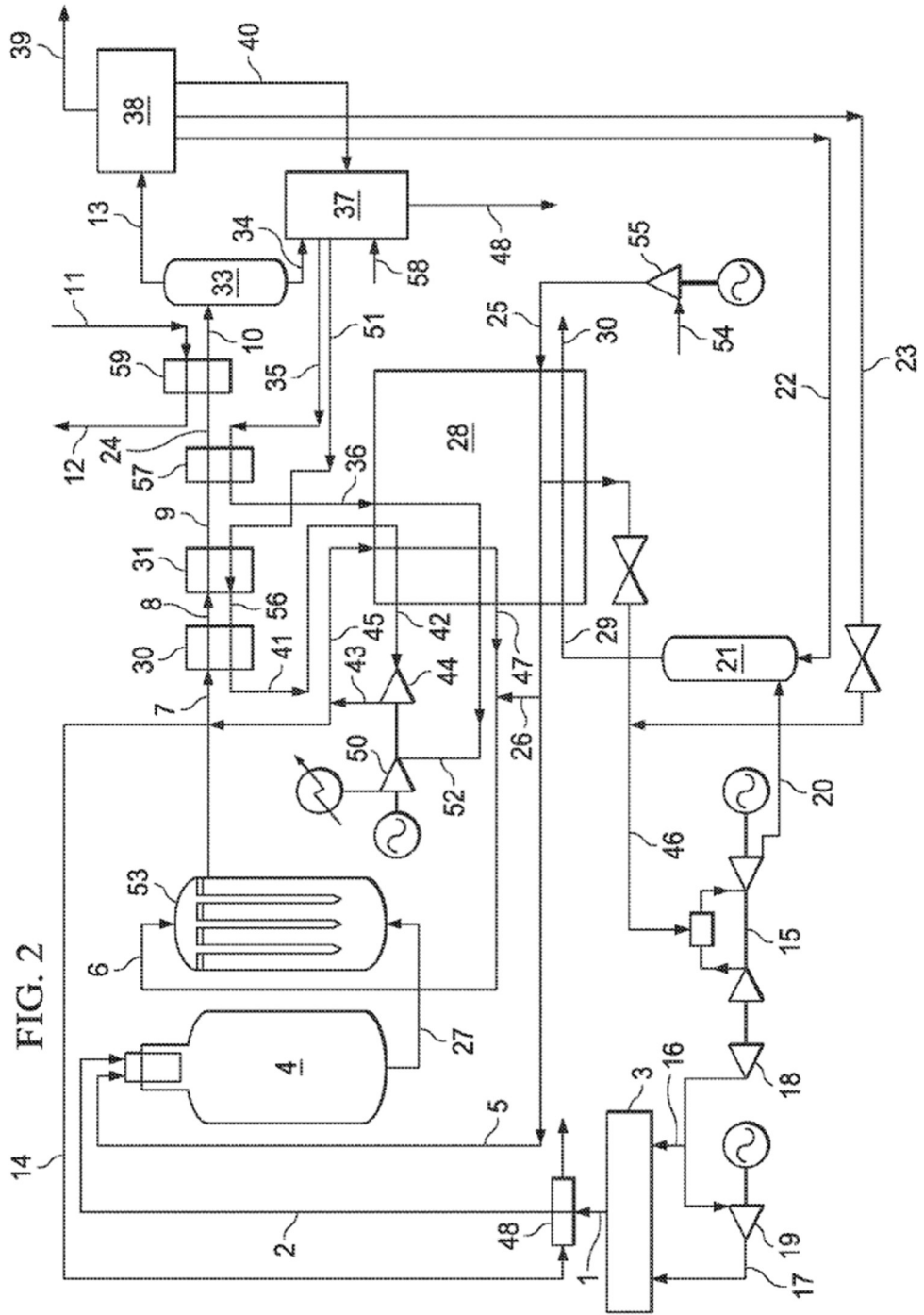
Debe entenderse que las implementaciones no se limitan a sistemas o procesos particulares descritos que, por supuesto, pueden variar. También debe entenderse que la terminología utilizada en este documento tiene el propósito de describir implementaciones particulares solamente, y no pretende ser limitante. Como se usa en esta especificación, las formas singulares "un", "una" y "el" incluyen referentes plurales a menos que el contenido indique claramente lo contrario. Así, por ejemplo, la referencia a "un reactor" incluye una combinación de dos o más reactores y la referencia a "una materia prima" incluye diferentes tipos de materias primas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para producir metanol, que comprende;
- 5 producir oxígeno en una planta de separación de aire con compresores de aire accionados por una turbina de gas;
- calentar una corriente de alimentación de hidrocarburo utilizando el escape de la turbina de gas; hacer reaccionar exotérmicamente una primera porción de la corriente de alimentación de hidrocarburo calentado con al menos uno de vapor o un gas oxidante que comprende oxígeno molecular para producir un producto de gas de síntesis generado exotérmicamente;
- 10 reformar endotérmicamente una segunda porción de la corriente de alimentación de hidrocarburo con vapor sobre un catalizador en un reformador de intercambio de calor para producir un producto de gas de síntesis reformado endotérmicamente, en donde al menos una porción del calor utilizado en la generación del producto de gas de síntesis reformado endotérmicamente se obtiene recuperando calor del producto de gas de síntesis generado exotérmicamente y del producto de gas de síntesis reformado endotérmicamente;
- 15 combinar el producto de gas de síntesis generado exotérmicamente y el producto de gas de síntesis reformado endotérmicamente para producir una corriente de gas de síntesis combinada;
- 20 producir vapor en una caldera de calor residual enfriando la corriente de gas de síntesis combinada, en donde el gas de síntesis combinado enfriado se pasa a la planta de metanol a una presión en un intervalo de aproximadamente 70 a 100 bares;
- 25 separar agua del gas de síntesis combinado enfriado para producir una alimentación de planta de metanol sustancialmente a una presión de circuito de reacción y que tenga menos de aproximadamente 2% de contenido molar de metano y menos de aproximadamente 0.2% de contenido molar de agua;
- 30 después de separar el agua, pasar el gas de síntesis combinado enfriado a una planta de metanol; y
- combinar el efluente combustible de la planta de metanol con combustible de metano a la turbina de gas,
- en donde el gas de síntesis combinado enfriado se pasa a la planta de metanol sin utilizar un compresor de corriente de alimentación, en donde el gas de síntesis combinado enfriado se pasa a la planta de metanol a una presión en un rango de aproximadamente 70 a 100 bares, y
- 35 en donde la segunda porción de la corriente de alimentación de hidrocarburo incluye una relación de vapor a carbón activo en un rango de aproximadamente 5.5 a 6.5 y
- 40 en donde el reformado endotérmico se produce a una presión de aproximadamente 70 bares o más.
2. El método de la reivindicación 1, en donde el producto de gas de síntesis generado exotérmicamente se genera usando un quemador de oxidación parcial seguido de una sección de reformado catalítico en un reformador de vapor más hidrocarburo calentado por convección.
- 45
3. El método de la reivindicación 1, en donde el producto de gas de síntesis generado exotérmicamente tiene una temperatura superior a aproximadamente 1000°C.
4. El método de la reivindicación 1, en donde un reformador catalítico calentado por gas (GHR) produce el producto de gas de síntesis reformado endotérmicamente usando tubos llenos de catalizador montados en un haz vertical con una lámina de tubo de entrada en un extremo superior y extremos de salida inferiores abiertos.
- 50

FIG. 1





MISMA COMPOSICIÓN  
QUE EL PUNTO 7

FIG. 3A

	2	5	6	7	8	9	10	41	42
lbmol/hr									
CO		1574.2	1806.3						
H <sub>2</sub>		2761.4	4559.6						
CO <sub>2</sub>		11.2	4.3	63.6	351.2				
H <sub>2</sub> O			3760.5	409.5	3371.2				
CH <sub>4</sub>		1492.7	571.3	11.1	122.4				
O <sub>2</sub>	1044.2		3.5						
N <sub>2</sub> +Ar	5.3	9.1		14.4	17.9				
C <sub>2</sub>		49.8	19.1						
C <sub>3</sub>		8.5	3.3						
C <sub>4</sub>		1.6	0.6						
C <sub>5</sub>		0.3	0.1						
C <sub>6</sub>		0.6	0.2						
TEMPERATURA °C		500	494	1446	600	340	201	40	330
PRESIÓN BAR		80	80	79	78	77.8	77.5	77.0	125
FLUJO lbmol/hr									

BASADO EN UNA TURBINA DE GAS SIEMENS SGT-300 RENDIMIENTO EN  
CONDICIONES ISO

PRODUCCIÓN DE METANOL PURO 730 MT / DÍA

MISMA COMPOSICIÓN IGUAL QUE EL PUNTO 7

**FIG. 3B**

	43	47	46	25	26	24	20	29	30	13	35	52
lbmol/hr												
CO										1806.3		
H <sub>2</sub>										4559.6		
CO <sub>2</sub>							254			351.2		
H <sub>2</sub> O		3760.5					595			10	1233.6	1233.6
CH <sub>4</sub>										122.4		
O <sub>2</sub>							1126.2					
N <sub>2</sub> +Ar							5333.2			17.9		
C <sub>2</sub>												
C <sub>3</sub>												
C <sub>4</sub>												
C <sub>5</sub>												
C <sub>6</sub>												
TEMPERATURA °C	432	500	250	80	500	164	537	653	137	40	40	330
PRESIÓN BAR	80.5	80	25	82	80	77.2	1.98	1.06	1.02	77.0	6.9	6.9
FLUJO lbmol/hr			244.1	2341.8	602.3							

BASADO EN UNA TURBINA DE GAS SIEMENS SGT-300 RENDIMIENTO EN CONDICIONES ISO

PRODUCCIÓN DE METANOL PURO 730 MT / DÍA

