

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 585 478**

51 Int. Cl.:

G01N 9/36 (2006.01)

G01N 33/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.09.2008** **E 08165283 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.05.2016** **EP 2042850**

54 Título: **Método para determinar el contenido de carbono de una mezcla que contiene hidrocarburos**

30 Prioridad:

26.09.2007 US 861651

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

06.10.2016

73 Titular/es:

AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)
7201 Hamilton Boulevard
Allentown, PA 18195-1501, US

72 Inventor/es:

PENG, XIANG-DONG;
HERB, BLAINE EDWARD;
MACCONNELL, MATTHEW H. y
HOGLEN, WINFRIED STEPHEN

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 585 478 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 para determinar el contenido de carbono de una mezcla que contiene hidrocarburos

5 ANTECEDENTES

La presente invención se refiere generalmente a la producción de hidrógeno y/o gas de síntesis y más específicamente a la determinación del contenido de carbono de una alimentación que contiene hidrocarburos para un procedimiento de producción de hidrógeno y/o gas de síntesis.

10 Una alimentación para un procedimiento de producción de hidrógeno y/o gas de síntesis, por ejemplo, reformado de metano con vapor de agua (SMR), reformado autotérmico (ATR), y oxidación parcial catalítica (CPOX), es generalmente una mezcla que contiene hidrocarburos tal como gas natural y puede incluir gas residual de refinería. Una de las propiedades de la mezcla que contiene hidrocarburos es su contenido de carbono. El contenido de
15 carbono se usa para determinar la cantidad de vapor de agua a combinar con la mezcla que contiene hidrocarburos para formar una alimentación mixta antes de introducir la alimentación mixta en un reactor de formación de hidrógeno.

La cantidad de vapor de agua a combinar con la mezcla que contiene hidrocarburos se determina por medio de un parámetro de control denominado típicamente relación de vapor de agua a carbono. La determinación precisa del
20 contenido de carbono de la mezcla que contiene hidrocarburos es importante para el procedimiento de formación de hidrógeno de modo que se añade una cantidad apropiada de vapor de agua. Una insuficiente cantidad de vapor de agua dará lugar a la formación de carbono sobre el catalizador en el reactor de formación de hidrógeno, dando como resultado de ese modo la deposición de carbono y la degradación de la actividad del catalizador, mientras que demasiado vapor de agua disminuye la eficiencia energética del procedimiento.

25 Comúnmente, el contenido de carbono se determina analizando la composición de la mezcla que contiene hidrocarburos. Típicamente, la composición se analiza por espectroscopia de masas o cromatografía de gases, que son costosas y requieren un mantenimiento frecuente. Además, la cromatografía de gases ofrece resultados con un desfase temporal, de modo que cualquier cambio brusco de la composición no se detecta hasta después de que la
30 mezcla que contiene hidrocarburos ya se ha introducido en el procedimiento de formación de hidrógeno.

Por lo tanto, debido al desfase de tiempo en las medidas, la proporción de vapor de agua a carbono se ajusta a menudo conservadoramente para proporcionar más vapor de agua del necesario para el procedimiento de formación
35 de hidrógeno. De esto modo, se puede evitar la formación de carbono sobre el catalizador a expensas de la eficiencia energética.

Sería deseable proporcionar medidas del contenido de carbono con bajo coste y bajo mantenimiento, preferentemente con poco o ningún desfase de tiempo.

40 Para evitar el coste y el mantenimiento del análisis de la composición, se han hecho intentos de usar enfoques que no usan el análisis de la composición.

Un enfoque consiste en suponer un contenido de carbono fijo para la mezcla que contiene hidrocarburos, por ejemplo, cuando la composición varía dentro de un pequeño intervalo, tal como cuando la mezcla que contiene
45 hidrocarburos es gas natural. Dado que subestimar el contenido de carbono podría conducir a la formación de carbono sobre el catalizador, el supuesto contenido de carbono se escoge conservadoramente basado en la composición histórica de la mezcla que contiene hidrocarburos como se determina por medio del análisis de la composición fuera de la línea. Por lo tanto la relación de vapor de agua a carbono es generalmente mayor que la requerida, dando como resultado una reducida eficiencia energética del procedimiento de formación de hidrógeno. El
50 catalizador también está en peligro si el contenido de carbono de la mezcla que contiene hidrocarburos aumenta por encima de su intervalo histórico.

Otro enfoque se basa en la medida de la densidad o el peso molecular de la mezcla que contiene hidrocarburos. Los
55 sensores para medir la densidad o el peso molecular son generalmente menos costosos y requieren menos mantenimiento que los espectrómetros de masas y cromatógrafos de gases.

Una correlación entre el contenido de carbono de una mezcla que contiene hidrocarburos y la densidad o el peso molecular se puede establecer en base a los datos de composición históricos de la mezcla que contiene
60 hidrocarburos. Este enfoque es más apropiado que el uso de un contenido de carbono fijo para la mezcla que contiene hidrocarburos. Un cambio en el contenido de carbono debido a un cambio en la proporción de diferentes hidrocarburos provocará un cambio en la densidad o el peso molecular, y la correlación usará este cambio para proporcionar una estimación más precisa del contenido de carbono de la mezcla que contiene hidrocarburos.

La FIGURA 1 muestra el peso molecular representado como una función del número de carbono de alcanos de
65 cadena lineal, de metano a hexano, nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrógeno. La FIGURA 1

muestra que hay una buena correlación lineal entre el peso molecular y el número de carbono de alcanos. El hidrógeno también se puede incluir con los alcanos en la correlación. Debido a la relación lineal, cuando estos alcanos e hidrógeno forman una mezcla, es útil una medida del peso molecular para determinar el número de carbono.

5 Dado que la precisión del número de carbono calculado depende de la precisión del peso molecular, sería deseable proporcionar una medida precisa del peso molecular.

10 Un problema con el uso de la densidad o el peso molecular es que la densidad y el peso molecular también dependen de los componentes no hidrocarbonados en la mezcla que contiene hidrocarburos, por ejemplo, nitrógeno, argón, dióxido de carbono, monóxido de carbono y agua. Si la cantidad de estos componentes no hidrocarbonados cae fuera del intervalo histórico en el que se desarrolló la correlación, la correlación se puede volver muy poco fiable.

15 Sería deseable proporcionar valores de contenido de carbono precisos de modo que la proporción de vapor de agua a carbono se pueda ajustar menos conservadoramente, previniendo por ello la formación de carbono sobre el catalizador y mejorando la eficiencia energética.

20 El presente método resuelve la necesidad sentida desde hace tiempo para determinar el contenido de carbono de una mezcla que contiene hidrocarburos con mejorada precisión y tiempo de respuesta, permitiendo de ese modo relaciones de vapor de agua a carbono menos conservadoras a fijar como objetivo.

Las descripciones relacionadas incluyen la solicitud de patente japonesa No. 08-291195, patente de EE.UU. No. 6.758.101 y solicitud de patente europea EP 1.213.566.

25 La solicitud de patente europea EP 1 063 525 A2 enseña un método de medición de la cantidad de calor suministrado por un gas combustible a un dispositivo, método que comprende: medir la velocidad de flujo volumétrico o másico del gas; medir la velocidad del sonido del gas en primeras condiciones de referencia; medir una de las constantes dieléctricas del gas, la velocidad del sonido del gas en las segundas condiciones de referencia, el contenido de CO₂ del gas, el contenido de N₂ del gas o densidad del gas en condiciones de referencia estándar; y determinar la cantidad de calor suministrado por el gas y el valor calorífico del gas a partir de estos parámetros.

BREVE SUMARIO

35 En un primer aspecto, la presente invención se refiere a un método para determinar un valor de contenido de carbono de una mezcla que contiene hidrocarburos.

40 El método comprende medir una primera propiedad intensiva dependiente de la composición de la mezcla que contiene hidrocarburos para determinar un primer valor de la propiedad intensiva dependiente de la composición; medir una concentración de por lo menos un componente no hidrocarbonado en la mezcla que contiene hidrocarburos para determinar un valor de concentración de componente no hidrocarbonado, siendo seleccionado el por lo menos un componente no hidrocarbonado de nitrógeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono, y/o medir una segunda propiedad intensiva dependiente de la composición de la mezcla que contiene hidrocarburos para determinar un segundo valor de la propiedad intensiva dependiente de la composición; y calcular el valor del contenido de carbono usando el valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y usando el valor de la concentración de componente no hidrocarbonado y/o el valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición en una correlación de contenido de carbono. La primera propiedad intensiva dependiente de la composición se selecciona de valor calorífico inferior, valor calorífico superior, conductividad térmica, viscosidad, capacidad calorífica molar, capacidad calorífica específica (es decir, capacidad calorífica basada en la masa), y velocidad sónica.

50 La correlación del contenido de carbono puede ser una función multivariable de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición.

55 El valor del contenido de carbono puede ser un valor del número de carbono. El valor del contenido de carbono puede ser un valor del factor de carbono.

60 La segunda propiedad intensiva dependiente de la composición se puede seleccionar del valor calorífico inferior, valor calorífico superior, conductividad térmica, viscosidad, peso molecular, densidad, capacidad calorífica molar, capacidad calorífica específica, y velocidad sónica.

La correlación del contenido de carbono puede ser una función lineal de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y una función lineal de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición.

65 La primera propiedad intensiva dependiente de la composición puede ser el valor calorífico superior o el valor calorífico inferior y la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición puede ser el peso molecular.

La primera propiedad intensiva dependiente de la composición puede ser el valor calorífico superior o el valor calorífico inferior y la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición puede ser la capacidad calorífica molar.

5 La primera propiedad intensiva dependiente de la composición puede ser el valor calorífico superior o el valor calorífico inferior y la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición puede ser la conductividad térmica.

10 La primera propiedad intensiva dependiente de la composición puede ser el valor calorífico superior o el valor calorífico inferior y la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición puede ser la viscosidad.

La primera propiedad intensiva dependiente de la composición puede ser el valor calorífico superior o el valor calorífico inferior y la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición puede ser la velocidad sónica.

15 La primera propiedad intensiva dependiente de la composición puede ser la viscosidad y la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición puede ser el peso molecular.

20 La primera propiedad intensiva dependiente de la composición puede ser la viscosidad y la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición puede ser la velocidad sónica.

El método para determinar un valor del contenido de carbono puede comprender adicionalmente medir una tercera propiedad intensiva dependiente de la composición de la mezcla que contiene hidrocarburos para determinar un tercer valor de la propiedad intensiva dependiente de la composición, en el que la etapa de calcular el valor del contenido de carbono usa adicionalmente el valor de tercera la propiedad intensiva dependiente de la composición.

Según un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un método para producir una alimentación mixta para la producción de hidrógeno o gas de síntesis usando el método para determinar el valor del contenido de carbono de una mezcla que contiene hidrocarburos según el primer aspecto de la invención.

30 El método para producir la alimentación mixta comprende: medir un primer caudal de una mezcla que contiene hidrocarburos obteniendo por ello un valor de caudal medido; medir una primera propiedad intensiva de la mezcla que contiene hidrocarburos para determinar un valor de la primera propiedad intensiva, la primera propiedad intensiva dependiente de la composición seleccionada del valor calorífico inferior, valor calorífico superior, conductividad térmica, viscosidad, capacidad calorífica molar, capacidad calorífica específica y velocidad sónica; medir una concentración de por lo menos un componente no hidrocarbonado en la mezcla que contiene hidrocarburos para determinar un valor de la concentración de componente no hidrocarbonado, siendo seleccionado el por lo menos un componente no hidrocarbonado de nitrógeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono, y/o medir una segunda propiedad intensiva dependiente de la composición de la mezcla que contiene hidrocarburos para determinar un valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición; calcular un valor de contenido de carbono usando el valor de la primera propiedad intensiva y usando el valor de la concentración del componente no hidrocarbonado y/o el valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición en una correlación del contenido de carbono; seleccionar una deseada relación de vapor de agua a carbono de la alimentación mixta; calcular un caudal objetivo de una alimentación que contiene vapor de agua necesario para obtener la relación deseada de vapor de agua a carbono de la alimentación mixta usando el valor del caudal medido y el valor del contenido de carbono, teniendo la alimentación que contiene vapor de agua un caudal de alimentación que contiene vapor de agua; regular el caudal de la alimentación que contiene vapor de agua, de modo que el caudal de la alimentación que contiene vapor de agua está más cerca o es igual al caudal objetivo, obteniendo por ello un caudal regulado; y combinar la mezcla que contiene hidrocarburos del primer caudal con la alimentación que contiene vapor de agua del caudal regulado para formar la alimentación mixta.

El método para producir la alimentación mixta según el segundo aspecto de la invención puede incluir cualquiera de las características específicas descritas para el método para determinar un valor de contenido de carbono de una mezcla que contiene hidrocarburos según el primer aspecto de la invención.

55 **BREVE DESCRIPCIÓN DE VARIAS VISTAS DE LOS DIBUJOS**

LA FIGURA 1 es un gráfico del peso molecular frente al número de carbono.

LA FIGURA 2 es un gráfico del valor calorífico superior frente al número de carbono.

60 LA FIGURA 3 es un gráfico de la capacidad calorífica molar como una función del número de carbono.

LA FIGURA 4 es un gráfico de la conductividad térmica como una función del número de carbono.

LA FIGURA 5 es un gráfico de la viscosidad como una función del número de carbono.

LA FIGURA 6 es un gráfico de la velocidad sónica como una función del número de carbono

LA FIGURA 7 es un esquema de un aparato ejemplar para realizar un método para determinar un valor de contenido de carbono de una mezcla que contiene hidrocarburos.

65 LA FIGURA 8 es un esquema de un aparato ejemplar para realizar un método para producir una alimentación

mixta.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

5 Los artículos indefinidos "un, una" y "un, una" como se usan aquí quieren decir uno o más cuando se aplican a cualquier característica en las realizaciones de la presente invención descritas en la memoria descriptiva y reivindicaciones. El uso de "un, una" y "un, una" no limita el significado a una sola característica a menos que dicho límite se indique específicamente. El artículo definido "el" que precede a nombres o frases nominales singulares o plurales denota una característica especificada en particular o características especificadas en particular y puede tener una connotación singular o plural dependiendo del contexto en el que se usa. El adjetivo "cualquier" significa 10 uno, alguno o todos indiscriminadamente de cualquier cantidad.

Con el propósito de sencillez y claridad, las descripciones detalladas de dispositivos, circuitos y métodos bien conocidos se omiten para no oscurecer la descripción de la presente invención con detalles innecesarios.

15 La presente invención se refiere a un método para determinar un valor de contenido de carbono de una mezcla que contiene hidrocarburos.

Una mezcla que contiene hidrocarburos es una mezcla fluida que contiene por lo menos un hidrocarburo. La mezcla que contiene hidrocarburos se puede formar a partir de gas natural y/o gas residual de refinería. La mezcla que 20 contiene hidrocarburos puede contener diversos hidrocarburos, y también no hidrocarburos, tales como hidrógeno, nitrógeno, argón, dióxido de carbono, monóxido de carbono, vapor de agua y otros gases.

Tal como se usa aquí, el contenido de carbono de una mezcla que contiene hidrocarburos es cualquier medida de la cantidad relativa de carbono contenido en la mezcla que contiene hidrocarburos apropiada para determinar o 25 controlar la relación de vapor de agua a carbono de una alimentación mixta para un sistema de producción de hidrógeno. El número de carbono basado en moles y el factor de carbono basado en la masa son ejemplos del contenido de carbono y son parámetros convencionales usados en el campo de la producción de hidrógeno y/o la producción de gas de síntesis. Una alimentación mixta es cualquier mezcla de especies moleculares apropiadas para introducir en un procedimiento de producción de hidrógeno, la mezcla formada a partir de por lo menos una 30 mezcla que contiene hidrocarburos y una alimentación que contiene vapor de agua.

Tal como se usa aquí, la producción de hidrógeno incluye la producción de gas de síntesis.

35 El valor del contenido de carbono puede ser un valor del número de carbono. El número de carbono, N_c , se define como los moles totales de átomos de carbono asociados con todos los hidrocarburos en un mol de la mezcla que contiene hidrocarburos. Por ejemplo, una mezcla que contiene hidrocarburos que contiene 90% en moles de metano, 5% en moles de etano y 5% en moles de nitrógeno tendría un número de carbono de 1, es decir

$$40 \quad [90\% \times \frac{1 \text{ mol de C}}{1 \text{ mol de CH}_4} + 5\% \times \frac{2 \text{ moles de C}}{1 \text{ mol de C}_2\text{H}_6} + 5\% \times \frac{0 \text{ moles de C}}{1 \text{ mol de N}_2} = 1.0]$$

El valor del contenido de carbono puede ser un valor del factor de carbono. El factor de carbono, F , se define como la masa de átomos de carbono asociada a todos los hidrocarburos por unidad de masa de la mezcla que contiene hidrocarburos. Por ejemplo, una mezcla que contiene hidrocarburos que contiene 0,90 de fracción en masa de metano, 0,05 de fracción en masa de etano, y 0,05 de fracción en masa de nitrógeno tendría un factor de carbono de 45 0,715, es decir.

$$[0,90 \times \frac{12 \text{ g de C}}{16 \text{ g de CH}_4} + 0,05 \times \frac{24 \text{ g de C}}{30 \text{ g de C}_2\text{H}_6} + 0,05 \times \frac{0 \text{ g de C}}{28 \text{ g de N}_2} = 0,715]$$

50 Un valor de contenido de carbono es un valor expreso del contenido de carbono para una composición de mezcla que contiene hidrocarburos en particular. Por ejemplo, el valor del contenido de carbono para la mezcla que contiene hidrocarburos que contiene 90% en moles de metano, 5% en moles de etano y 5% en moles de nitrógeno es un número de carbono de 1.

55 Una propiedad intensiva dependiente de la composición se define como cualquier propiedad física intensiva de una mezcla fluida que varía dependiendo de la concentración de los distintos componentes de la mezcla. Una propiedad intensiva de una mezcla fluida es una propiedad física de la mezcla fluida que no depende de la cantidad de la mezcla fluida. El valor calorífico inferior, valor calorífico superior, conductividad térmica, viscosidad, peso molecular, densidad, capacidad calorífica molar, capacidad calorífica específica, y velocidad sónica son ejemplos de propiedades intensivas dependientes de la composición. Las propiedades intensivas dependientes de la 60 composición se pueden seleccionar sin experimentación innecesaria a la vista de las enseñanzas de la presente solicitud.

Un valor de una propiedad intensiva dependiente de la composición es un valor expreso relacionado con una

- propiedad intensiva dependiente de la composición para una composición de mezcla que contiene hidrocarburos en particular. Un valor de una propiedad intensiva dependiente de la composición puede estar en cualquier unidad apropiada y puede ser directamente proporcional o inversamente proporcional a un valor de la propiedad intensiva dependiente de la composición usando unidades convencionales del S.I. Un valor de una propiedad intensiva dependiente de la composición puede ser también un valor en forma nativa que depende de un sensor y/o dispositivo de medida usado para medir la propiedad intensiva dependiente de la composición. Un valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición es un valor expreso relacionado con una primera propiedad intensiva dependiente de la composición para una composición de mezcla que contiene hidrocarburos en particular. Un valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición es un valor expreso relacionado con una segunda propiedad intensiva dependiente de la composición para una composición de mezcla que contiene hidrocarburos en particular. Un valor de la tercera propiedad intensiva dependiente de la composición es un valor expreso relacionado con una tercera propiedad intensiva dependiente de la composición para una composición de mezcla que contiene hidrocarburos en particular.
- 15 El valor calorífico superior, denominado también valor calorífico bruto, es el calor total obtenido de la combustión de una cantidad especificada de combustible y su cantidad estequiométrica correcta de aire, estando ambos a 60°F (16°C) cuando comienza la combustión, y siendo enfriados los productos de combustión a 60°F (16°C) antes de medir el calor desprendido. Las unidades del valor calorífico superior son BTU/lbmol o equivalente, por ejemplo, Julios/kgmol.
- 20 El valor calorífico inferior, denominado también valor calorífico neto, es el valor calorífico bruto menos el calor latente de vaporización del vapor de agua formado por la combustión de componentes en el combustible que incluyen el elemento hidrógeno, tales como hidrógeno, metano, propano, etc.. El valor calorífico inferior se expresa en las mismas unidades que el valor calorífico superior.
- 25 Tal como se usa aquí, una correlación es cualquier función o ecuación matemática que describe una relación entre variables. Una correlación generalmente describe una variable dependiente como función de una o más variables independientes.
- 30 Una correlación de contenido de carbono es una correlación del contenido de carbono como función de una o más propiedades intensivas dependientes de la composición y/o la concentración de uno o más componentes.
- 35 En el método para determinar el valor del contenido de carbono de una mezcla que contiene hidrocarburos según el primer aspecto de la invención se mide una primera propiedad intensiva dependiente de la composición de la mezcla que contiene hidrocarburos para determinar un valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición, en el que la primera propiedad intensiva dependiente de la composición se selecciona de valor calorífico inferior, valor calorífico superior, conductividad térmica, viscosidad, capacidad calorífica molar, capacidad calorífica específica, y velocidad sónica.
- 40 El método según el primer aspecto también comprende calcular el valor del contenido de carbono usando el valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición en una correlación de contenido de carbono. El valor del contenido de carbono se puede calcular explícitamente o como parte de otro cálculo. El valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición se "usa" si el valor del contenido de carbono depende directa o indirectamente del valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición.
- 45 La FIGURA 2 muestra un gráfico del valor calorífico superior, HHV, como función del número de carbono, Nc, para alcanos de cadena lineal (de metano a hexano), hidrógeno, monóxido de carbono, nitrógeno y dióxido de carbono. Como se ve en la FIGURA 2, el hidrógeno y el monóxido de carbono se pueden correlacionar convenientemente junto con los hidrocarburos. Si la mezcla que contiene hidrocarburos contiene cantidades pequeñas o aproximadamente constantes de otros no hidrocarburos, se puede usar el valor calorífico superior para proporcionar una correlación apropiada para el contenido de carbono. La correlación del contenido de carbono y el valor calorífico superior pueden dar cuenta de la presencia de hidrógeno y monóxido de carbono en la mezcla que contiene hidrocarburos, independientemente de la cantidad o cantidades relativas de hidrógeno y monóxido de carbono. Esta correlación es particularmente apropiada para una mezcla que contiene hidrógeno que contiene grandes cantidades de hidrógeno y monóxido de carbono, tal como gas residual de refinería.
- 50 La FIGURA 3 muestra un gráfico de la capacidad calorífica molar como una función del número de carbono, Nc, para alcanos de cadena lineal (de metano a hexano), hidrógeno, monóxido de carbono, nitrógeno y dióxido de carbono. La FIGURA 3 muestra que el hidrógeno, monóxido de carbono y nitrógeno aproximadamente siguen la correlación entre el número de carbono y la capacidad calorífica molar para hidrocarburos. El hidrógeno, monóxido de carbono y nitrógeno pueden estar correlacionados convenientemente junto con los hidrocarburos. Si la mezcla que contiene hidrocarburos contiene cantidades pequeñas o aproximadamente constantes de otros no-hidrocarburos, la capacidad calorífica molar se puede usar para proporcionar una correlación adecuada para el contenido de carbono. La correlación del contenido de carbono y capacidad calorífica molar puede dar cuenta de la
- 60

presencia de hidrógeno, monóxido de carbono y nitrógeno en la mezcla que contiene hidrocarburos, independientemente de la cantidad o cantidades relativas de hidrógeno, monóxido de carbono y nitrógeno.

5 Una correlación de contenido de carbono basada en la capacidad calorífica molar es especialmente adecuada para mezclas que contienen hidrocarburo que contienen grandes cantidades de hidrógeno, monóxido de carbono y nitrógeno, tales como las que se podrían encontrar cuando se usa gas residual de refinería, que tiene cantidades variables de hidrógeno y monóxido de carbono, o usando gas natural, que tiene cantidades variables de nitrógeno. Una correlación de contenido de carbono basada en la capacidad calorífica molar todavía puede ser útil para mezclas que contienen hidrocarburo que contienen dióxido de carbono, siempre que la concentración de dióxido de carbono sea pequeña o aproximadamente constante.

15 La FIGURA 4 muestra un gráfico de la conductividad térmica como una función del número de carbono, N_c , para alcanos de cadena lineal (de metano a hexano), hidrógeno, monóxido de carbono, nitrógeno y dióxido de carbono. Puede haber situaciones especiales en las que una correlación de contenido de carbono basada en la conductividad térmica sea útil, por ejemplo, cuando la concentración total de monóxido de carbono, dióxido de carbono y nitrógeno es suficientemente constante y sólo varía la proporción de estos componentes. Una correlación de contenido de carbono basada en la conductividad térmica también puede ser útil cuando la concentración de hidrógeno es suficientemente constante.

20 La FIGURA 5 muestra un gráfico de la viscosidad como una función del número de carbono, N_c , para alcanos de cadena lineal (de metano a hexano), hidrógeno, monóxido de carbono, nitrógeno y dióxido de carbono. El monóxido de carbono, dióxido de carbono y nitrógeno se pueden correlacionar convenientemente junto con los hidrocarburos. Si la mezcla que contiene hidrocarburos contiene cantidades pequeñas o aproximadamente constantes de otros no-hidrocarburos, la viscosidad se puede usar para proporcionar una correlación adecuada para el contenido de carbono. La correlación del contenido de carbono y la viscosidad puede dar cuenta de la presencia de monóxido de carbono, dióxido de carbono y nitrógeno en la mezcla que contiene hidrocarburos, independientemente de la cantidad o cantidades relativas de monóxido de carbono, dióxido de carbono y nitrógeno.

30 La FIGURA 6 muestra un gráfico de la velocidad sónica en función del número de carbono, N_c , para alcanos de cadena lineal (de metano a hexano), hidrógeno, monóxido de carbono, nitrógeno y dióxido de carbono. Una correlación de contenido de carbono basada en la velocidad sónica puede ser útil para las mezclas que contienen hidrocarburos para situaciones especiales.

35 El método según el primer aspecto en algunas realizaciones comprende adicionalmente la medida de una concentración de por lo menos un componente no hidrocarbonado para determinar un valor de concentración de componente no hidrocarbonado. En la etapa de calcular el valor del contenido de carbono, el valor de la concentración de componente no hidrocarbonado se usa a continuación también en la correlación de contenido de carbono. El por lo menos un componente no hidrocarbonado se selecciona de nitrógeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono.

40 La concentración de varias especies no hidrocarbonadas se puede medir usando varios medios. Por ejemplo, para el hidrógeno, COSA/Xentaur ofrece un analizador de hidrógeno continuo comercial (CHA). El dispositivo tiene un sensor electroquímico que produce una señal continua que corresponde directamente a la concentración de hidrógeno. Para el monóxido de carbono y/o dióxido de carbono, Servomex ofrece un analizador continuo, por ejemplo, el Servomex 1440 Gas Analyzer, que usa tecnología de infrarrojos de un solo haz de una sola longitud de onda para medir selectivamente monóxido de carbono y/o dióxido de carbono. Para el nitrógeno, hidrógeno, monóxido de carbono y/o dióxido de carbono, se puede usar un cromatógrafo de gases para medir las concentraciones de estos componentes. Los cromatógrafos de gases son ofrecidos por varias compañías, incluyendo Perkin Elmer. La patente de EE.UU. No. 7.010.433 describe también la medida de las concentraciones de nitrógeno y dióxido de carbono en una mezcla que contiene hidrocarburos.

Una correlación del contenido de carbono que usa valores de concentración de componentes no hidrocarbonados se puede formular de varias maneras.

55 Una correlación del número de carbono se puede formular para hidrocarburos y otros componentes que se pueden convenientemente agrupar con los hidrocarburos. Por ejemplo, el hidrógeno y monóxido de carbono se pueden convenientemente agrupar con los hidrocarburos en una correlación que usa el valor calorífico superior. Los restantes componentes, en este ejemplo nitrógeno y dióxido de carbono, se consideran componentes atípicos. El hidrógeno se puede convenientemente agrupar con los hidrocarburos en una correlación que usa el peso molecular o la densidad. Los restantes componentes, en este ejemplo nitrógeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono, se consideran componentes atípicos. La correlación para los hidrocarburos y los componentes no atípicos se denomina aquí la principal correlación de número de carbono, se puede escribir:

65
$$N_c^0 = a_1 \times P_{HC} + c_1 \quad \text{(Ecuación 6)}$$

en la que N_c^0 es el principal número de carbono, P_{HC} es una propiedad intensiva dependiente de la composición para los componentes hidrocarbonados y componentes no atípicos, a_1 es un coeficiente determinado por análisis de regresión, y c_1 es una constante determinada por análisis de regresión.

- 5 Las propiedades intensivas dependientes de la composición se pueden aproximar por varias reglas de mezcla, por ejemplo:

$$P = \left(1 - \sum_i y_i\right) \times P_{HC} + \sum_i y_i \times P_i \quad (\text{Ecuación 7})$$

- 10 en la que P es la propiedad intensiva dependiente de la composición de toda la mezcla, y_i es la fracción molar del componente i atípico, y P_i es el valor de la propiedad del componente puro para el componente i atípico.

El número de carbono de la mezcla que contiene hidrocarburos se puede calcular de

$$N_c = \left(1 - \sum_i y_i\right) \times N_c^0 \quad (\text{Ecuación 8})$$

- 15 Substituyendo y reorganizando da el número de carbono como una función de la propiedad intensiva dependiente de la composición medida, P , y la fracciones molares de componentes atípicos, y_i .

$$N_c = a_1 \times \left(P - \sum_i y_i P_i\right) + c_1 \times \left(1 - \sum_i y_i\right) \quad (\text{Ecuación 9})$$

- 20 La ecuación 9 se puede usar a continuación para calcular el número de carbono a partir de una medida de la propiedad intensiva dependiente de la composición y de la fracción molar de la una o más especies atípicas.

- 25 También se pueden formular métodos alternativos para usar el valor de la concentración de especies no hidrocarbonadas en la correlación de contenido de carbono. El ejemplo anterior es para fines ilustrativos y no pretende limitar el alcance de las reivindicaciones.

- 30 El método según el primer aspecto en otras realizaciones comprende adicionalmente medir una segunda propiedad intensiva dependiente de la composición de la mezcla que contiene hidrocarburos para determinar un valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición. En la etapa de calcular el valor del contenido de carbono, el valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición se usa a continuación también en la correlación de contenido de carbono.

- 35 La segunda propiedad intensiva dependiente de la composición es una propiedad intensiva dependiente de la composición diferente de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición. Por ejemplo, si se escoge el valor calorífico superior para ser la primera propiedad intensiva dependiente de la composición, la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición no es el valor calorífico superior. Los pares apropiados de propiedades intensivas dependientes de la composición se pueden seleccionar sin excesiva experimentación.

- 40 La medida de las propiedades intensivas dependientes de la composición puede ser mediante cualquier sensor apropiado conocido en la técnica. Por ejemplo, el valor calorífico se puede medir por COSA 9600 de COSA Instrument Corporation. La conductividad térmica se puede medir mediante el analizador de conductividad térmica Servomex K1550. La capacidad calorífica se puede medir por medidas de calorimetría y/o medidas de la velocidad del sonido con un tubo de Kundt. La viscosidad se puede medir mediante un viscosímetro capilar. La medida de la velocidad sónica se describe en la patente de EE.UU. No. 5.467.637. La persona experta es capaz de seleccionar sensores apropiados.

- 45 Las medidas de las propiedades intensivas pueden ser por técnicas directas o inferidas. La medida incluye cualquier etapa para producir una señal de salida representativa de la propiedad intensiva. Por ejemplo, la densidad se puede medir de hecho midiendo la frecuencia de un tubo vibrante, como en un densitómetro de tubo vibrante. El valor de la propiedad intensiva dependiente de la composición puede ser una frecuencia que se relaciona directamente con la densidad de la mezcla que contiene hidrocarburos. En otra de varias alternativas, la frecuencia se puede usar para calcular la densidad de la mezcla que contiene hidrocarburos en unidades convencionales del S.I.

- 50 El método según el primer aspecto puede comprender por lo tanto calcular el valor del contenido de carbono usando por lo menos el valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y el valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición en una correlación de contenido de carbono. El valor del contenido de carbono se puede calcular explícitamente o como parte de otro cálculo. El valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y el valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la

composición se “usan” si el valor del contenido de carbono depende directa o indirectamente del valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y del valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición.

5 La correlación de contenido de carbono puede estar relacionada con dos o más propiedades intensivas dependientes de la composición. Para facilidad de aplicación, la correlación de contenido de carbono puede describir el contenido de carbono como la variable dependiente y las dos o más propiedades intensivas dependientes de la composición como variables independientes.

10 En el método según el primer aspecto, la correlación de contenido de carbono puede ser una función de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición. La correlación de contenido de carbono puede ser una sola función que describe la relación entre el contenido de carbono y la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición.

15 En el método según el primer aspecto, la correlación de contenido de carbono puede comprender una función multivariable de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición y opcionalmente propiedades intensivas dependientes de la composición adicionales.

20 Una función multivariable es una función en la que una variable independiente no está relacionada por funciones separadas e independientes de varias variables dependientes. Una función separada es una función que relaciona una variable independiente con una variable dependiente sin tener en cuenta otras variables dependientes. Por ejemplo, el contenido de carbono se puede correlacionar con la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y correlacionar por separado con la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición. Este ejemplo no representaría una función multivariable.

25 En el método según el primer aspecto, la correlación de contenido de carbono puede ser una función lineal de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y una función lineal de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición. Por ejemplo, el contenido de carbono, expresado en términos de un número de carbono N_c puede tener la forma funcional:

$$N_c = b_1 \times P + b_2 \times Q + b_3 \quad \text{(Ecuación 10)}$$

35 en la que P es la primera propiedad intensiva dependiente de la composición, Q es la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición, b_1 y b_2 son coeficientes determinados por análisis de regresión, y b_3 es una constante determinada por análisis de regresión.

40 Esta función lineal es un ejemplo de una función multivariable. El contenido de carbono se relaciona con la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición en la misma ecuación.

45 Una correlación de contenido de carbono se puede producir de varias maneras diferentes. La correlación de contenido de carbono se puede producir usando muestras reales de mezclas que contienen hidrocarburo de un procedimiento de producción de hidrógeno y las medidas reales de propiedades intensivas dependientes de la composición de esas muestras. La correlación de contenido de carbono se puede producir usando muestras reales de mezclas que contienen hidrocarburo y simulaciones de propiedades intensivas. La correlación de contenido de carbono se puede producir usando muestras hipotéticas de mezclas que contienen hidrocarburo y simulaciones de propiedades intensivas.

50 Para el método según el primer aspecto, la correlación de contenido de carbono se puede producir por: tomar una pluralidad de muestras de mezclas que contienen hidrocarburo; determinar el valor del contenido de carbono de la pluralidad de muestras que contienen hidrocarburo de la mezcla por análisis de la composición, formar por ello una matriz de valor de contenido de carbono; medir una primera propiedad intensiva dependiente de la composición para la pluralidad de muestras de mezcla que contiene hidrocarburos para obtener una primera matriz de valores de propiedad intensiva dependiente de la composición; medir una segunda propiedad intensiva dependiente de la composición para la pluralidad de muestras de mezcla que contiene hidrocarburos para obtener una segunda matriz de valores de propiedad intensiva dependiente de la composición; y correlacionar la matriz de valores de contenido de carbono con la primera matriz de valor de la propiedad intensiva dependiente de la composición y la segunda matriz de valores de propiedad intensiva dependiente de la composición para formar la correlación de contenido de carbono. La correlación de contenido de carbono puede estar en la forma de una función multivariable de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición.

65 Los datos para generar la correlación se pueden obtener de la instalación de producción de hidrógeno. Un sensor

para la medida de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición o densidad y, opcionalmente, un sensor para la medida de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición puede medir la mezcla que contiene hidrocarburos in situ, y una muestra recogida para el análisis de la composición fuera de la línea. Alternativamente, se pueden recoger muestras con las medidas y análisis realizados fuera de la línea.

5 Para el método según el primer aspecto, la correlación de contenido de carbono se puede producir por: tomar una pluralidad de muestras de mezcla que contiene hidrocarburos de una instalación de producción de hidrógeno; determinar la composición de la muestra y el valor del contenido de carbono de la pluralidad de muestras de la mezcla por análisis de la composición, formar por ello una matriz de valores de contenido de carbono; calcular una matriz de valores de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición usando una simulación de la propiedad intensiva de la composición de la muestra a partir del análisis de la composición; calcular una matriz de valores de la segunda propiedad intensiva que depende de la composición usando una simulación de propiedades intensivas de la composición de la muestra a partir del análisis de la composición; y correlacionar la matriz del valor del contenido de carbono con la matriz del valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y la matriz del valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición para formar la correlación de contenido de carbono. La correlación de contenido de carbono puede estar en la forma de una función multivariable de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición.

20 La pluralidad de muestras de mezcla que contiene hidrocarburos puede cubrir el intervalo más amplio de composiciones esperadas para proporcionar la correlación más apropiada.

25 Para el método según el primer aspecto, la correlación de contenido de carbono se puede producir por: especificar una pluralidad de composiciones de mezcla hipotética que representa un intervalo apropiado de composiciones de mezcla esperadas de una instalación de producción de hidrógeno; calcular el valor del contenido de carbono de la pluralidad de composiciones de mezcla hipotética, formar por ello una matriz del valor del contenido de carbono; calcular una primera matriz del valor de la propiedad intensiva dependiente de la composición usando una simulación de propiedades intensivas de la pluralidad de composiciones de mezcla hipotética; calcular una segunda matriz de valores de propiedad intensiva dependiente de la composición usando una simulación de propiedades intensivas de la pluralidad de composiciones de mezcla hipotética; y correlacionar la matriz de valores de contenido de carbono con la matriz del valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y la matriz del valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición para formar la correlación de contenido de carbono. La correlación de contenido de carbono puede estar en la forma de una función multivariable de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición.

40 La correlación puede ser mediante cualquier conocida rutina de regresión, por ejemplo, regresión lineal por mínimos cuadrados. Las rutinas de regresión están fácilmente disponibles. Los datos se pueden ponderar de otro modo, si se desea.

45 Con referencia ahora a los dibujos, en los que números de referencia similares se refieren a elementos similares en todas las figuras, la FIGURA 7 muestra un esquema de un aparato 1 ejemplar para realizar el método para determinar un valor de contenido de carbono de una mezcla que contiene hidrocarburos según el primer aspecto de la invención. La mezcla 5 que contiene hidrocarburos es analizada por el sensor 30 para medir una primera propiedad intensiva dependiente de la composición. El sensor 30 mide uno de valor calorífico inferior, valor calorífico superior, conductividad térmica, viscosidad, capacidad calorífica molar, capacidad calorífica específica y velocidad sónica. El sensor 30 envía una señal al ordenador 20 y se determina un valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición.

50 La mezcla 5 que contiene hidrocarburos puede ser analizada por el sensor 40 para medir una segunda propiedad intensiva dependiente de la composición. En este caso, el sensor 40 envía una señal al ordenador 20 y se determina un valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición. Alternativa o adicionalmente, la mezcla 5 que contiene hidrocarburos es analizada por el sensor 50 para medir una concentración de por lo menos un componente no hidrocarbonado en la mezcla que contiene hidrocarburos. En este caso, el sensor 50 envía una señal al ordenador 20 y se determina un valor de concentración de componente no hidrocarbonado. El ordenador 20 tiene una correlación 10 de contenido de carbono para calcular un valor de contenido de carbono como una función de propiedades intensivas dependientes de la composición y/o concentraciones de los componentes no hidrocarbonados. El ordenador 20 calcula el valor del contenido de carbono usando el valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y usando el valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición y/o el valor de la concentración del componente no hidrocarbonado en una correlación 10 de contenido de carbono. El valor del contenido de carbono se puede usar a continuación por el procedimiento de producción de hidrógeno para generar una relación deseada de vapor de agua a carbono.

65 El sensor 30, sensor 40 y sensor 50 pueden estar orientados de varios modos. El sensor 30, sensor 40, y sensor 50 pueden estar montados en la conducción que contiene la mezcla que contiene hidrocarburos. Alternativamente, una

- o más corrientes secundarias se pueden tomar de la conducción que contiene la mezcla que contiene hidrocarburos. El sensor 30, sensor 40 y sensor 50 puede estar montado para medir las una o más corrientes secundarias. La corriente secundaria puede estar acondicionada, por ejemplo, cuando la temperatura y/o presión están modificadas con respecto a las condiciones de la corriente de procedimiento. En otra alternativa, uno o más del sensor 30, sensor 40 y sensor 50 puede estar montado en la conducción que contiene la mezcla que contiene hidrocarburos y el(los) sensor(s) restante(s) montado(s) para medir una corriente secundaria.
- El método para determinar un valor de contenido de carbono de una mezcla que contiene hidrocarburos según el primer aspecto de la invención se puede usar en un método para producir una alimentación mixta para la producción de hidrógeno.
- Un método para producir una alimentación mixta para la producción de hidrógeno o gas de síntesis mediante el un método para determinar el valor del contenido de carbono de una mezcla que contiene hidrocarburos según el primer aspecto se describe con referencia a la FIGURA 8. La FIGURA 8 muestra un esquema de un ejemplo de aparato 2 para realizar el método para la producción de una alimentación mixta.
- El método para producir una alimentación mixta usando el método para determinar el valor del contenido de carbono según el primer aspecto comprende medir un caudal de una mezcla que contiene hidrocarburos obteniendo por ello un caudal medido. Como se muestra en la FIGURA 8, el caudal de la mezcla que contiene hidrocarburos se mide por el caudalímetro 90 y el caudalímetro 90 envía una señal al ordenador 20 indicativa del caudal. Los dispositivos adecuados para medir el caudal son conocidos en la técnica.
- El método para producir una alimentación mixta también comprende medir una primera propiedad intensiva dependiente de la composición de la mezcla que contiene hidrocarburos para determinar un valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición, y medir una segunda propiedad intensiva dependiente de la composición de la mezcla que contiene hidrocarburos para determinar un valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición y/o medir una concentración de por lo menos un componente no hidrocarbonado en la mezcla que contiene hidrocarburos para determinar un valor de la concentración de componente no hidrocarbonado. Como se muestra en la FIGURA 8, la mezcla 5 que contiene hidrocarburos es analizada por el sensor 30 para medir una primera propiedad intensiva dependiente de la composición, opcionalmente analizada por el sensor 40 para medir una segunda propiedad intensiva dependiente de la composición y, opcionalmente analizada por el sensor 50 para medir una concentración de por lo menos un componente no hidrocarbonado. El sensor 30 y, opcionalmente, el sensor 40 y el sensor 50 envían señales al ordenador 20 y se determina un valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y, opcionalmente, un valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición y el valor de la concentración del componente no hidrocarbonado.
- El método para producir la alimentación mixta comprende adicionalmente calcular un valor de contenido de carbono usando el valor de la primera propiedad intensiva y usando el valor de la segunda propiedad intensiva y/o el valor de la concentración de componente no hidrocarbonado en una correlación de contenido de carbono como se discutió anteriormente. El ordenador 20 tiene una correlación 10 de contenido de carbono para calcular un valor de contenido de carbono como una función de las propiedades intensivas dependientes de la composición y opcionalmente la(s) concentración(es) de componente(s) no hidrocarbonado(s). El ordenador 20 calcula el valor del contenido de carbono usando el valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y usando el valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición y/o el valor de la concentración del componente no hidrocarbonado en la correlación 10 de contenido de carbono.
- El método para producir la alimentación mixta comprende adicionalmente seleccionar una relación deseada de vapor de agua a carbono de la alimentación mixta. La relación deseada de vapor de agua a carbono se puede seleccionar dependiendo del catalizador usado, consideraciones de eficiencia térmica, y otros parámetros de funcionamiento. La relación de vapor de agua a carbono es típicamente siempre en base molar pero puede ser en base a la masa, si se desea.
- El método para producir la alimentación mixta comprende adicionalmente calcular un caudal objetivo de una alimentación que contiene vapor de agua requerido para obtener la relación deseada de vapor de agua a carbono de la alimentación mixta. Esta etapa de cálculo usa el caudal medido y el valor del contenido de carbono como se conoce en la técnica. El ordenador 20 puede calcular el caudal objetivo de la alimentación que contiene vapor de agua. La correlación de contenido de carbono puede ser explícita o implícita en una ecuación para calcular el caudal de vapor de agua.
- El método para producir la alimentación mixta comprende adicionalmente regular el caudal de alimentación que contiene vapor de agua, de modo que el caudal de alimentación que contiene vapor de agua está cerca o es igual al caudal objetivo. Con referencia a la FIGURA 8, el ordenador 20 envía una señal a la válvula 80 y el caudal de la alimentación que contiene vapor de agua es regulado por la válvula 80. El caudal resultante es un caudal regulado.
- El método para producir la alimentación mixta comprende adicionalmente combinar la mezcla que contiene

hidrocarburos al caudal medido con la alimentación que contiene vapor de agua, mostrada en la FIGURA 8 como alimentación mixta 60, al caudal regulado para formar la alimentación mixta, mostrada en la FIGURA 8 como alimentación mixta 70.

- 5 Cualquiera de las diversas características descritas para el método para determinar un valor de contenido de carbono según el primer aspecto de la invención se puede usar en un método para producir una alimentación mixta para la producción de hidrógeno.

Ejemplos

- 10 Los siguientes ejemplos comparan los números de carbono calculados a partir de varias correlaciones frente a los números de carbono reales para 11 muestras de mezclas que contienen hidrocarburo que tienen composición conocida. Las composiciones de estas 11 muestras se dan en la Tabla 1, en la que las composiciones tienen unidades de % en moles. $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$ es isobutano, $i\text{-C}_4\text{H}_8$ es isobuteno, $i\text{-C}_5\text{H}_{12}$ es isopentano, y $\text{cis-2-C}_5\text{H}_{10}$ es cis-2-penteno. Varias propiedades intensivas dependientes de la composición se dan también en la Tabla 1 para las muestras 1 a 11.

- 15 Las muestras 1 a 10 son composiciones que corresponden a muestras reales tomadas de una instalación de producción de hidrógeno. Algunas de las muestras corresponden a la mezcla que contiene hidrocarburos formada a partir de gas natural. Otras muestras corresponden a la mezcla que contiene hidrocarburos formada a partir de una mezcla de gas natural y butano. Mientras que otras muestras corresponden a la mezcla que contiene hidrocarburos formada a partir de gas natural, butano y gas residual de refinería.

Todas las correlaciones generadas por los ejemplos usaron los datos de las muestras 1 a 10.

- 25 La muestra 11 es una muestra hipotética en la que la muestra 9 se modifica sustituyendo 4% en moles del metano por 4% en moles de nitrógeno. La muestra 11 se usa para ilustrar el error potencial cuando una mezcla que contiene hidrocarburos tiene una composición fuera del intervalo de los datos usados para formar la correlación de contenido de carbono.

- 30 Los pesos moleculares mostrados en la Tabla 1 se calcularon a partir del peso molecular de los componentes individuales y de la concentración de ese componente.

- 35 Los valores caloríficos superiores, valores caloríficos inferiores, capacidades caloríficas molares, capacidades caloríficas específicas, viscosidades, conductividad térmica y las velocidades sónicas mostradas en la Tabla 1 se calcularon a partir de software de simulación de propiedades físicas.

Ejemplo 1 (Comparativo) - Peso Molecular

- 40 En el Ejemplo 1, una correlación de contenido de carbono está basada en una sola propiedad intensiva dependiente de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función del peso molecular (MW).

La Tabla 2 muestra números de carbono previstos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 2%.

- 45 El error relativo medio es la media aritmética de los valores absolutos del error relativo del número de carbono. El error relativo es la diferencia entre el número de carbono predicho y el número de carbono real, la diferencia dividida entre el número de carbono real.

- 50 El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 16%. Aunque el error relativo medio para las muestras 1 a 10 es bueno, el error para la muestra 11 no es bueno. Esto ilustra el problema potencial con una correlación de una sola propiedad intensiva dependiente de la composición si la composición está fuera del intervalo usado para desarrollar la correlación de contenido de carbono.

Ejemplo 2 - Peso molecular y valor calorífico superior

- 55 En el Ejemplo 2, una correlación de contenido de carbono está basada en dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función multivariable lineal del valor calorífico superior (HHV) y el peso molecular (MW).

- 60 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11 para el ejemplo 2. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 es de alrededor del 0,06%.

- 65 El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 0,07%. Este ejemplo pone de manifiesto que se puede obtener una mejora de la determinación del contenido de carbono usando por lo menos dos propiedades intensivas dependientes de la composición, incluso cuando la composición de la mezcla que contiene hidrocarburos cae fuera del intervalo de los datos usados para el desarrollo de la correlación de contenido de carbono.

- 5 El alcance de la mejora usando dos propiedades intensivas dependientes de la composición en una función multivariable en la correlación fue inesperado. La mejora para el error relativo medio para las muestras 1 a 10 es de casi un orden de magnitud. La mejora para la muestra 11 era de varios órdenes de magnitud, 16% frente a 0,07%.
- Un resultado similar se puede esperar para un método y/o correlación en el que se usa el valor calorífico inferior en lugar del valor calorífico superior.
- 10 **Ejemplo 3 - Peso molecular y capacidad calorífica molar**
En el Ejemplo 3, una correlación de contenido de carbono está basada en dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función multivariable lineal del peso molecular (MW) y la capacidad calorífica molar (Cp).
- 15 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 1,2%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 3%.
- Aunque no tan buenos como los resultados en el Ejemplo 2, este ejemplo muestra una mejora sobre el uso del peso molecular solo como para el Ejemplo 1.
- 20 **Ejemplo 4 - Peso Molecular y conductividad térmica**
En el Ejemplo 4, una correlación de contenido de carbono está basada en dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función multivariable lineal del peso molecular (MW) y la conductividad térmica (k).
- 25 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 1,8%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 17%.
- Estos resultados son del orden del error usando el peso molecular solo como para el Ejemplo 1.
- 30 **Ejemplo 5 - Peso molecular y viscosidad**
En el Ejemplo 5, una correlación de contenido de carbono está basada en dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función multivariable lineal del peso molecular (MW) y la viscosidad (μ).
- 35 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era del 1,1%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 2,4%.
- Aunque no tan buenos como los resultados en el Ejemplo 2, este ejemplo muestra una mejora sobre el uso del peso molecular solo como para el Ejemplo 1.
- 40 **Ejemplo 6 - Peso Molecular y velocidad sónica**
En el Ejemplo 6, una correlación de contenido de carbono está basada en dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función multivariable lineal del peso molecular (MW) y la velocidad sónica (V_s).
- 45 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 1,9%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 11,6%.
- Aunque no tan buenos como los resultados en el Ejemplo 2, este ejemplo muestra una ligera mejora sobre el uso del peso molecular solo como para el Ejemplo 1.
- 50 **Ejemplo 7 - Peso Molecular y capacidad calorífica específica**
En el Ejemplo 7, una correlación de contenido de carbono está basada en dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función multivariable lineal del peso molecular (MW) y la capacidad calorífica específica (C_p).
- 55 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 1,2%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 3,8%.
- 60 Aunque no tan buenos como los resultados en el Ejemplo 2, este ejemplo muestra una ligera mejora sobre el uso del peso molecular solo como para el Ejemplo 1.
- 65 **Ejemplo 8 - Valor calorífico superior y capacidad calorífica molar**
En el Ejemplo 8, una correlación de contenido de carbono está basada en dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una

función del valor calorífico superior (HHV) y la capacidad calorífica molar (C_p).

La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 0,2%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 1,3%.

5 Aunque no tan buenos como los resultados en el Ejemplo 2, este ejemplo muestra una notable mejora sobre el uso del peso molecular solo como para el Ejemplo 1.

Ejemplo 9 – Valor calorífico superior y conductividad térmica

10 En el Ejemplo 9, una correlación de contenido de carbono está basada en dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función del valor calorífico superior (HHV) y la conductividad térmica (k).

15 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 0,2%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 1,9%.

Aunque no tan buenos como los resultados en el Ejemplo 2, este ejemplo muestra una notable mejora sobre el uso del peso molecular solo como para el Ejemplo 1.

20 Se puede esperar un resultado similar para un método y/o correlación en el que se usa el valor calorífico inferior en lugar del valor calorífico superior.

Ejemplo 10 – Valor calorífico superior y viscosidad

25 En el Ejemplo 10, una correlación de contenido de carbono está basada en dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función del valor calorífico superior (HHV) y la viscosidad (μ).

30 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 0,3%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 1,6%.

Aunque no tan buenos como los resultados en el Ejemplo 2, este ejemplo muestra una notable mejora sobre el uso del peso molecular solo como para el Ejemplo 1.

35 Se puede esperar un resultado similar para un método y/o correlación en el que se usa el valor calorífico inferior en lugar del valor calorífico superior.

Ejemplo 11 – Valor calorífico superior y velocidad sónica

40 En el Ejemplo 9, una correlación de contenido de carbono está basada en dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función del valor calorífico superior (HHV) y la velocidad sónica (V_s).

La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 0,1%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 0,3%.

45 Estos resultados son casi tan buenos como los resultados en el Ejemplo 2. Este ejemplo muestra una notable mejora sobre el uso del peso molecular solo como para el Ejemplo 1.

Se puede esperar un resultado similar para un método y/o correlación en el que se usa el valor calorífico inferior en lugar del valor calorífico superior.

50 Ejemplo 12 – Valor calorífico superior y capacidad calorífica específica
En el Ejemplo 12, una correlación de contenido de carbono está basada en dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función del valor calorífico superior (HHV) y la capacidad calorífica específica (C_p).

55 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 0,1%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 0,5%.

60 Los resultados para el valor calorífico superior y la capacidad calorífica específica son comparables a los resultados en el Ejemplo 2. Este ejemplo muestra una notable mejora sobre el uso del peso molecular solo como para el Ejemplo 1.

Se puede esperar un resultado similar para un método y/o correlación en el que se usa el valor calorífico inferior en lugar del valor calorífico superior.

65

Ejemplo 13 – Conductividad térmica y capacidad calorífica molar

En el Ejemplo 13, una correlación de contenido de carbono está basada en dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función de la conductividad térmica y la capacidad calorífica molar (C_p).

5 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 0,5%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 5%.

10 Aunque no tan buenos como los resultados en el Ejemplo 2, este ejemplo muestra una notable mejora sobre el uso del peso molecular solo como para el Ejemplo 1.

Ejemplo 14 – Conductividad térmica y viscosidad

En el Ejemplo 14, una correlación de contenido de carbono está basada en dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función de la conductividad térmica y la viscosidad (μ).

15 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 1%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 8%.

20 Aunque no tan buenos como los resultados en el Ejemplo 2, este ejemplo muestra una notable mejora sobre el uso del peso molecular solo como para el Ejemplo 1.

Ejemplo 15 – Conductividad térmica y velocidad sónica

En el Ejemplo 15, una correlación de contenido de carbono está basada en dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función de la conductividad térmica y la velocidad sónica (V_s).

25 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 1,5%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 15%.

30 Estos resultados son del orden del error usando el peso molecular solo como para el Ejemplo 1.

Ejemplo 16 – Conductividad térmica y capacidad calorífica específica

En el Ejemplo 16, una correlación de contenido de carbono está basada en dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función de la conductividad térmica y la capacidad calorífica específica (c_p).

35 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 6%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 17%.

40 El error usando estas propiedades intensivas dependientes de la composición es peor que el error usando el peso molecular solo como para el Ejemplo 1.

Ejemplo 17 – Velocidad sónica y capacidad calorífica molar

En el Ejemplo 17, una correlación de contenido de carbono está basada en dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función de la velocidad sónica (V_s) y la capacidad calorífica molar (C_p).

45 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 1%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 2%.

50 Aunque no tan buenos como los resultados en el Ejemplo 2, este ejemplo muestra una notable mejora sobre el uso del peso molecular solo como para el Ejemplo 1.

Ejemplo 18 – Velocidad sónica y viscosidad

En el Ejemplo 18, una correlación de contenido de carbono está basada en dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función multivariable lineal de la velocidad sónica (V_s) y la viscosidad (μ).

55 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 1%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 2%.

60 Aunque no tan buenos como los resultados en el Ejemplo 2, este ejemplo muestra una notable mejora sobre el uso del peso molecular solo como para el Ejemplo 1.

65

Ejemplo 19 – Velocidad sónica y capacidad calorífica específica

En el Ejemplo 19, una correlación de contenido de carbono está basada en dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función multivariable lineal de la velocidad sónica (V_s) y la capacidad calorífica específica (c_p).

5 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 1%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 4%.

10 Aunque no tan buenos como los resultados en el Ejemplo 2, este ejemplo muestra una notable mejora sobre el uso del peso molecular solo como para el Ejemplo 1.

Ejemplo 20 – Valor calorífico superior, capacidad calorífica molar y peso molecular

En el Ejemplo 20, una correlación de contenido de carbono está basada en tres propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función multivariable lineal del valor calorífico superior (HHV) y capacidad calorífica molar (C_p) y peso molecular (MW).

15 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11 para el Ejemplo 20. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 0,04%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 0,08%.

20 Los resultados para el valor calorífico superior, capacidad calorífica molar y peso molecular son aproximadamente los mismos que los resultados en el Ejemplo 2. Este ejemplo muestra una notable mejora sobre el uso del peso molecular solo como para el Ejemplo 1.

25 Se puede esperar un resultado similar para un método y/o correlación en el que se usa el valor calorífico inferior en lugar del valor calorífico superior.

Ejemplo 21 – Valor calorífico superior, conductividad térmica y peso molecular

En el Ejemplo 21, una correlación de contenido de carbono está basada en tres propiedades intensivas dependientes de la composición. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función multivariable lineal del valor calorífico superior (HHV), conductividad térmica (k) y peso molecular (MW).

30 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11 para el Ejemplo 21. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 0,04%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 0,07%.

35 Los resultados para el valor calorífico superior, conductividad térmica y peso molecular son ligeramente mejores que los resultados en el Ejemplo 2. Este ejemplo muestra una notable mejora sobre el uso del peso molecular solo como para el Ejemplo 1.

40 Se puede esperar un resultado similar para un método y/o correlación en el que se usa el valor calorífico inferior en lugar del valor calorífico superior.

Ejemplo 22 – Valor calorífico superior y peso molecular

En el Ejemplo 22, una correlación de contenido de carbono está basada en una función no lineal de dos propiedades intensivas dependientes de la composición. La función incluye términos cruzados y de segundo orden. La correlación de contenido de carbono fue desarrollada para el número de carbono como una función del valor calorífico superior (HHV) y peso molecular (MW).

45 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 0,01%.

50 El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 1%.

Este ejemplo ilustra que se pueden usar también funciones no lineales que también proporcionan buenos resultados.

55 Se puede esperar un resultado similar para un método y/o correlación en el que se usa el valor calorífico inferior en lugar del valor calorífico superior.

Ejemplo 23 (Comparativo) – Valor calorífico superior

En el Ejemplo 23, una correlación de contenido de carbono está basada en una sola propiedad intensiva dependiente de la composición, el valor calorífico superior.

60

La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11 para el ejemplo 23. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 0,45%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor del 2,12%.

5 Este ejemplo muestra una notable mejora sobre el uso del peso molecular solo como para el Ejemplo 1.

Ejemplo 24 – Valor calorífico superior y concentración de nitrógeno

10 En el Ejemplo 24, una correlación de contenido de carbono basada en la Ecuación 9 y basada en una función del valor calorífico superior y concentración de nitrógeno. El hidrógeno y monóxido de carbono se agrupan con los hidrocarburos. En este caso, dado que la concentración de dióxido de carbono es pequeña, el dióxido de carbono también se agrupa con los hidrocarburos para esta correlación. El único componente atípico considerado es el nitrógeno.

15 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a reales para las muestras 1 a 11 para el Ejemplo 24. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor del 0,14%. El error relativo para la muestra 11 era de alrededor del 0,12%.

Este ejemplo muestra la mejora proporcionada por incluir una corrección para la concentración de nitrógeno.

20 Ejemplo 25 (Comparativo) – Peso molecular y concentración de nitrógeno

En el Ejemplo 25, una correlación de contenido de carbono basada en la Ecuación 9 y basada en una función del peso molecular y la concentración de nitrógeno. El hidrógeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono se agrupan con los hidrocarburos. El único componente atípico considerado es el nitrógeno.

25 La Tabla 2 muestra números de carbono predichos frente a los reales para las muestras 1 a 11 para el Ejemplo 25. El error relativo medio para las muestras 1 a 10 era de alrededor de 0,38%. El error relativo para la muestra 11 es de alrededor de 0,56%.

30 Este ejemplo muestra la mejora proporcionada por incluir una corrección para la concentración de nitrógeno.

ES 2 585 478 T3

TABLA 1

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
Componente						
N ₂	1,050	1,020	0,788	0,795	1,520	1,360
CO ₂	0,290	0,310	0,960	0,477	0,380	0,760
CO	0,360	0,370	0,000	0,298	0,210	0,000
H ₂	10,896	10,197	0,000	7,659	4,780	0,000
CH ₄	75,773	74,780	95,774	80,465	85,631	95,089
C ₂ H ₄	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C ₂ H ₆	2,109	2,099	2,275	1,907	1,590	2,380
C ₃ H ₆	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000
C ₃ H ₈	0,250	0,260	0,153	0,248	0,180	0,290
i-C ₄ H ₁₀	0,530	0,580	0,019	0,199	0,056	0,034
C ₄ H ₁₀	8,677	10,297	0,021	7,172	5,469	0,048
i-C ₄ H ₈	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
i-C ₅ H ₁₂	0,026	0,035	0,006	0,526	0,140	0,011
C ₅ H ₁₂	0,010	0,014	0,004	0,219	0,019	0,010
cis-2-C ₅ H ₁₀	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C ₆ H ₁₄	0,029	0,038	0	0,025	0,025	0,019
Propiedad						
N _c (mol C/mol)	1,18	1,24	1,01	1,18	1,12	1,01
MW (g/gmol)	19,05	19,86	16,79	19,11	18,39	16,89
HHV (kJ/gmol)	1014	1052	894	1015	972	895
LHV (kJ/gmol)	918	953	806	919	879	806
C _p (kJ/kg K)	2,786	2,760	2,735	2,758	2,739	2,726
C _p (kJ/kgmol K)	53,05	54,82	45,93	52,70	50,37	46,04
k (W/m K)	0,0687	0,0671	0,0611	0,0657	0,0638	0,0610
μ (N/m ² s)	1,63 x10 ⁻⁵	1,62 x10 ⁻⁵	1,69 x10 ⁻⁵	1,63 x10 ⁻⁵	1,65 x10 ⁻⁵	1,69 x10 ⁻⁵
V _s (m/s)	498	486	538	497	509	536

TABLA 1 (Continuación)

	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 10	Muestra 11
Componente					
N ₂	2,103	2,920	6,000	4,512	10
CO ₂	0,573	0,586	0,756	0,230	0,76
CO	0,000	0,000	0,000	0,500	0
H ₂	0,000	0,000	0,000	19,408	0
CH ₄	94,777	94,282	90,802	55,922	86,8
C ₂ H ₄	0,000	0,000	0,000	4,602	0
C ₂ H ₆	2,204	1,888	2,183	9,324	2,18
C ₃ H ₆	0,000	0,000	0,000	1,371	0
C ₃ H ₈	0,226	0,228	0,178	3,021	0,18
i-C ₄ H ₁₀	0,034	0,038	0,027	0,090	0,03
C ₄ H ₁₀	0,039	0,041	0,025	0,190	0,02
i-C ₄ H ₈	0,000	0,000	0,000	0,100	0

ES 2 585 478 T3

i-C ₅ H ₁₂	0,012	0,000	0,000	0,170	0
C ₅ H ₁₂	0,009	0,000	0,000	0,150	0
cis-2-C ₅ H ₁₀	0,000	0,000	0,000	0,090	0
C ₆ H ₁₄	0,023	0,017	0,030	0,320	0,03
Propiedad					
N _c (mol C/mol)	1,00	0,99	0,96	1,02	0,92
MW (g/gmol)	16,89	16,93	17,37	17,66	17,85
HHV (kJ/gmol)	888	878	850	900	814
LHV (kJ/gmol)	800	791	766	815	734
C _p (kJ/kg K)	2,714	2,692	2,599	2,760	2,494
C _p (kJ/kgmol K)	45,83	45,58	45,15	48,75	44,51
k (W/m K)	0,0609	0,0608	0,0599	0,0770	0,0589
μ (N/m ² s)	1,69 x10 ⁻⁵	1,7 x10 ⁻⁵	1,72 x10 ⁻⁵	1,66 x10 ⁻⁵	1,74 x10 ⁻⁵
V _s (m/s)	537	537	530	522	524

TABLA 2

Muestra	N _c real	Ejemplo 1	Ejemplo 2	Ejemplo 3	Ejemplo 4	Ejemplo 5	Ejemplo 6
1	1,18	1,17	1,18	1,19	1,17	1,18	1,18
2	1,24	1,24	1,24	1,23	1,24	1,23	1,22
3	1,01	0,98	1,01	1,00	0,98	1,00	0,98
4	1,18	1,17	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
5	1,12	1,11	1,12	1,11	1,12	1,12	1,13
6	0,96	1,03	0,96	0,97	1,03	0,97	1,01
7	1,01	0,99	1,01	1,00	0,99	1,00	0,99
8	1,00	0,99	1,00	0,99	0,99	1,00	0,99
9	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
10	1,02	1,05	1,03	1,07	1,04	1,07	1,07
11	0,92	1,07	0,92	0,95	1,08	0,94	1,03

TABLA 2 (Continuación)

Muestra	Ejemplo 7	Ejemplo 8	Ejemplo 9	Ejemplo 10	Ejemplo 11	Ejemplo 12	Ejemplo 13
1	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
2	1,23	1,23	1,23	1,23	1,24	1,24	1,24
3	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00
4	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
5	1,11	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
6	0,97	0,96	0,95	0,95	0,96	0,96	0,98
7	1,00	1,01	1,02	1,02	1,01	1,01	1,00
8	0,99	1,00	1,01	1,01	1,00	1,01	1,00
9	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
10	1,07	1,03	1,02	1,02	1,03	1,02	1,02
11	0,96	0,91	0,90	0,91	0,92	0,92	0,97

ES 2 585 478 T3

TABLA 2 (Continuación)

Muestra	Ejemplo 14	Ejemplo 15	Ejemplo 16	Ejemplo 17	Ejemplo 18	Ejemplo 19	Ejemplo 20
1	1,18	1,17	1,15	1,19	1,18	1,19	1,18
2	1,23	1,23	1,11	1,23	1,23	1,22	1,24
3	1,03	0,98	1,09	1,00	1,00	1,00	1,01
4	1,18	1,18	1,11	1,17	1,18	1,18	1,18
5	1,12	1,12	1,09	1,11	1,12	1,12	1,12
6	0,93	1,03	0,91	0,97	0,97	0,97	0,96
7	1,03	0,99	1,07	1,00	1,00	1,00	1,01
8	1,01	0,99	1,06	1,00	1,00	0,99	1,00
9	0,99	0,99	1,03	0,99	0,99	0,99	0,99
10	1,03	1,04	1,11	1,07	1,07	1,08	1,02
11	0,85	1,06	0,77	0,94	0,94	0,96	0,92

TABLA 2 (Continuación)

Muestra	Ejemplo 21	Ejemplo 22	Ejemplo 23	Ejemplo 24	Ejemplo 25
1	1,18	1,18	1,19	1,18	1,18
2	1,24	1,24	1,24	1,23	1,24
3	1,01	1,01	1,02	1,01	1,02
4	1,18	1,18	1,19	1,18	1,19
5	1,12	1,12	1,13	1,12	1,12
6	0,96	1,01	1,02	1,01	1,02
7	1,01	1,00	1,01	1,00	1,00
8	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99
9	0,99	0,96	0,95	0,96	0,97
10	1,02	1,02	1,02	1,03	1,01
11	0,92	0,93	0,90	0,92	0,93

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para determinar un valor de contenido de carbono de una mezcla que contiene hidrocarburos, comprendiendo el método:
- 10 medir una primera propiedad intensiva dependiente de la composición de la mezcla que contiene hidrocarburos para determinar un valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición, siendo seleccionada la primera propiedad intensiva dependiente de la composición de valor calorífico inferior, valor calorífico superior, conductividad térmica, viscosidad, capacidad calorífica molar, capacidad calorífica específica, y velocidad sónica;
- 15 medir una concentración de por lo menos un componente no hidrocarbonado en la mezcla que contiene hidrocarburos para determinar un valor de concentración del componente no hidrocarbonado, siendo seleccionado el por lo menos un componente no hidrocarbonado de nitrógeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono, y/o medir una segunda propiedad intensiva dependiente de la composición de la mezcla que contiene hidrocarburos para determinar un valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición; y
- 20 calcular el valor del contenido de carbono usando el valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y usando el valor de la concentración de componente no hidrocarbonado y/o el valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición en una correlación de contenido de carbono.
2. El método de la reivindicación 1, en el que:
- 25 la concentración de por lo menos un componente no hidrocarbonado en la mezcla que contiene hidrocarburos se mide para determinar el valor de la concentración de componente no hidrocarbonado; y la etapa de calcular el valor del contenido de carbono usa el valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y el valor de la concentración del componente no hidrocarbonado en la correlación de contenido de carbono.
3. El método de la reivindicación 1 o 2, en el que:
- 30 la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición de la mezcla que contiene hidrocarburos se mide para determinar el valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición; y la etapa de calcular el valor del contenido de carbono usa el valor de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y el valor de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición en la correlación de contenido de carbono.
4. El método de la reivindicación 3, en el que la correlación de contenido de carbono es una función multivariable de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición.
5. El método de la reivindicación 3 o 4, en el que la correlación de contenido de carbono es una función lineal de la primera propiedad intensiva dependiente de la composición y una función lineal de la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición.
6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, en el que la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición se selecciona de valor calorífico inferior, valor calorífico superior, conductividad térmica, viscosidad, peso molecular, densidad, capacidad calorífica molar, capacidad calorífica específica, y velocidad sónica.
7. El método de cualquier reivindicación precedente, en el que la primera propiedad intensiva dependiente de la composición es el valor calorífico superior o el valor calorífico inferior.
8. El método de la reivindicación 7 cuando depende de la reivindicación 2, en el que el por lo menos un componente no hidrocarbonado se selecciona de nitrógeno y dióxido de carbono.
9. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, en el que la primera propiedad intensiva dependiente de la composición es la viscosidad y la segunda propiedad intensiva dependiente de la composición es el peso molecular o la velocidad sónica.
10. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 9 que comprende adicionalmente:
- medir una tercera propiedad intensiva dependiente de la composición de la mezcla que contiene hidrocarburos para determinar un valor de la tercera propiedad intensiva dependiente de la composición, en el que la etapa de calcular el valor del contenido de carbono adicionalmente usa el valor de la tercera

propiedad intensiva dependiente de la composición en la correlación de contenido de carbono.

11. Un método para producir una alimentación mixta para la producción de hidrógeno o gas de síntesis, comprendiendo el método:

- 5
- medir un primer caudal de una mezcla que contiene hidrocarburos obteniendo por ello un valor medido de caudal; llevar a cabo el método de la reivindicación 1 para determinar un valor de contenido de carbono de la mezcla que contiene hidrocarburo;
- 10
- seleccionar una deseada relación de vapor de agua a carbono de la alimentación mixta;
- calcular un caudal objetivo de una alimentación que contiene vapor de agua requerido para obtener la deseada relación de vapor de agua a carbono de la alimentación mixta usando el valor medido del caudal y el valor del contenido de carbono, teniendo la alimentación que contiene vapor de agua un caudal de alimentación que contiene vapor de agua;
- 15
- regular el caudal de la alimentación que contiene vapor de agua de modo que el caudal de la alimentación que contiene vapor de agua está cerca o es igual al caudal objetivo, obteniendo por ello un caudal regulado; y combinar la mezcla que contiene hidrocarburos al primer caudal con la alimentación que contiene vapor de agua al caudal regulado para formar la alimentación mixta.

20

12. El método de la reivindicación 11, en el que la etapa de determinar el valor del contenido de carbono de la mezcla que contiene hidrocarburos comprende llevar a cabo el método de una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 10.

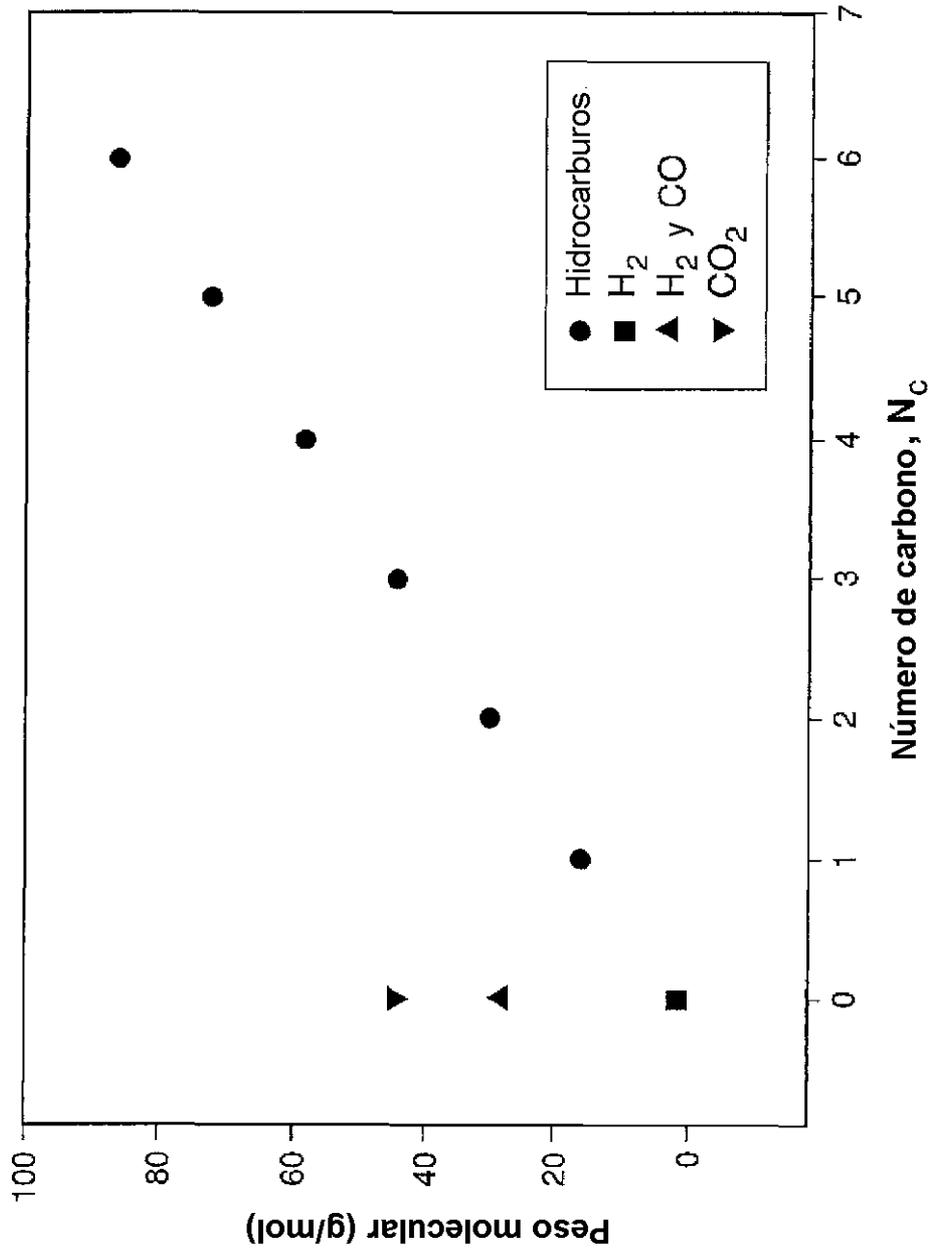


FIG. 1

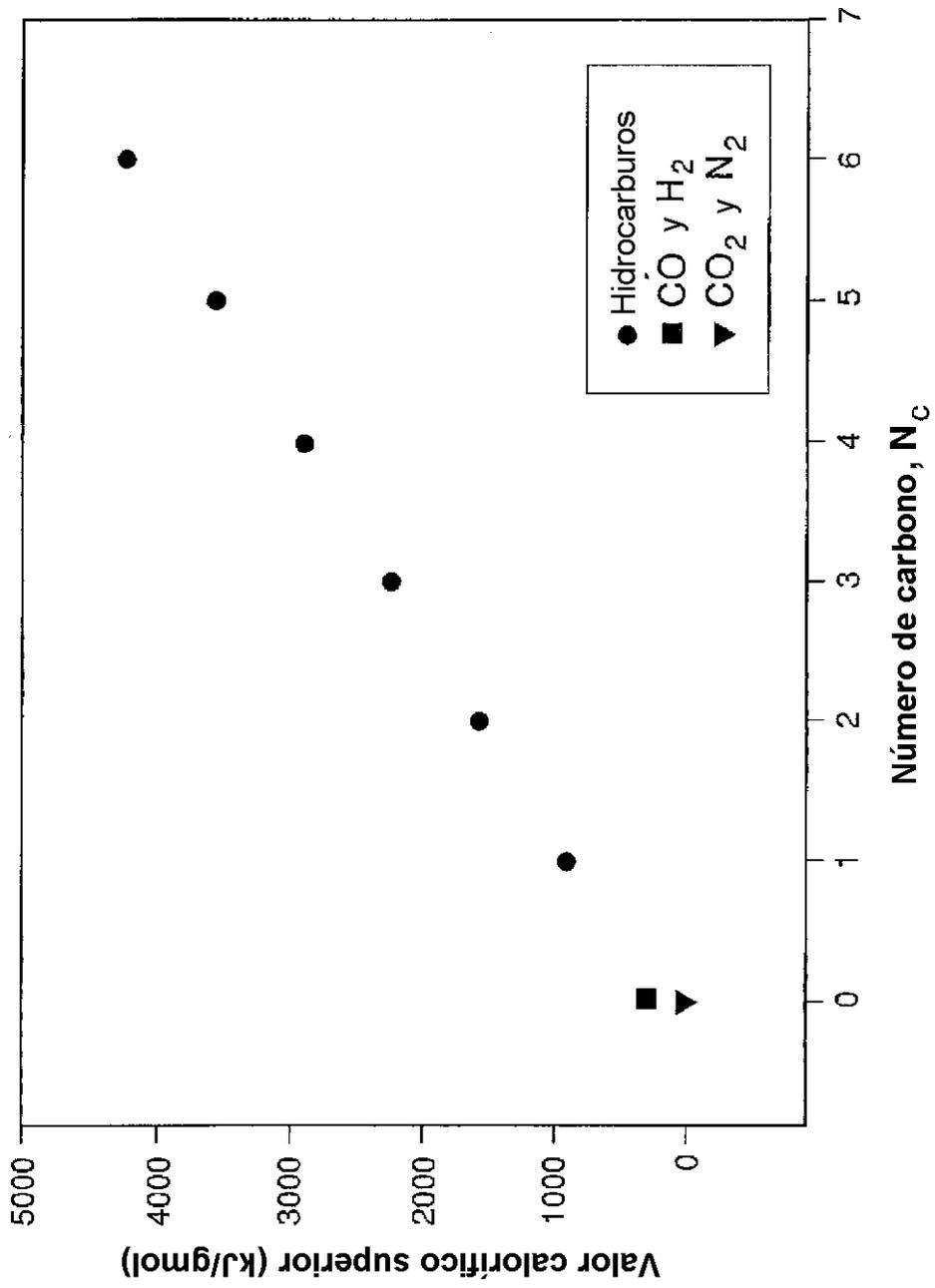


FIG. 2

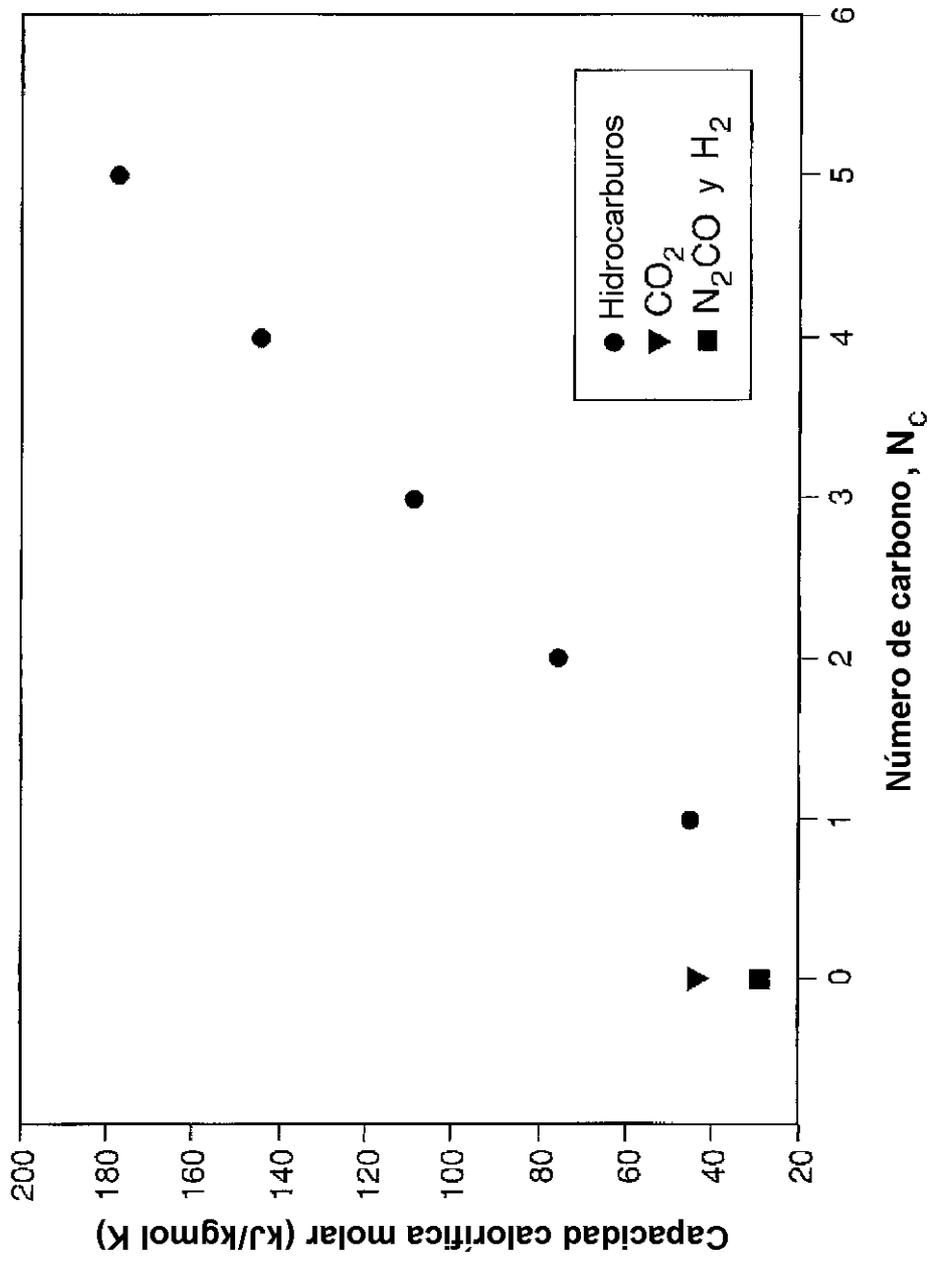


FIG. 3

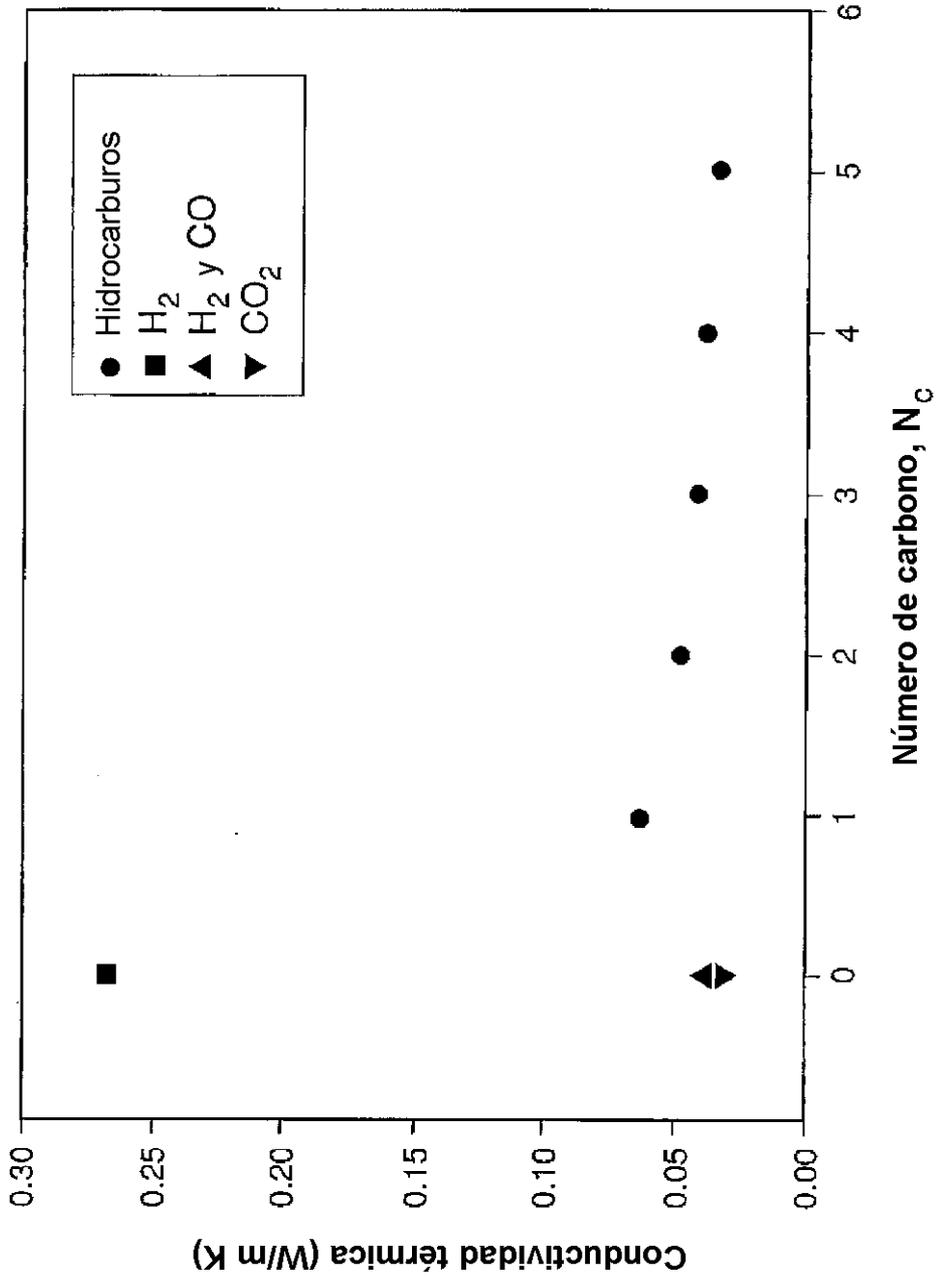


FIG. 4

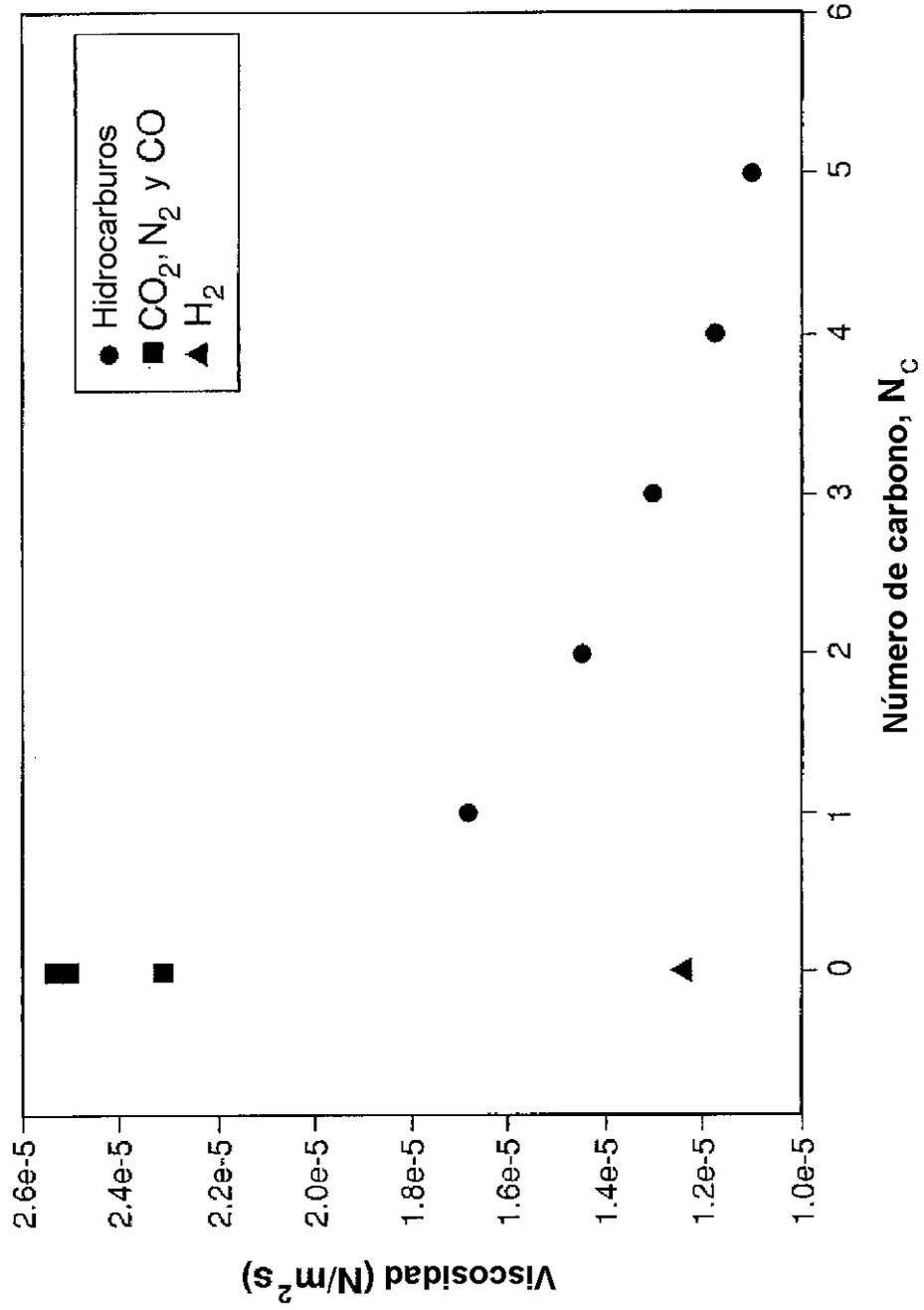


FIG. 5

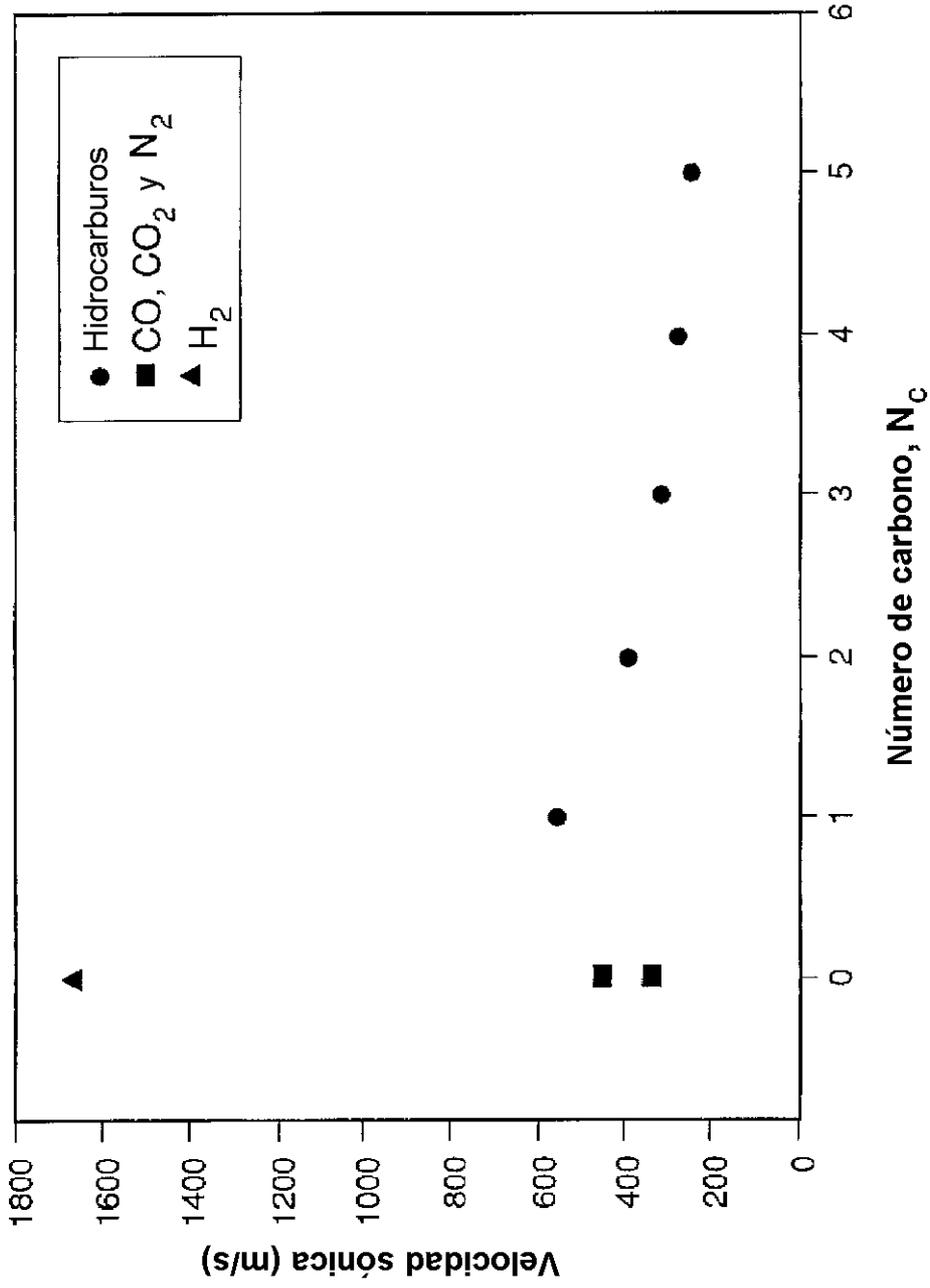


FIG. 6

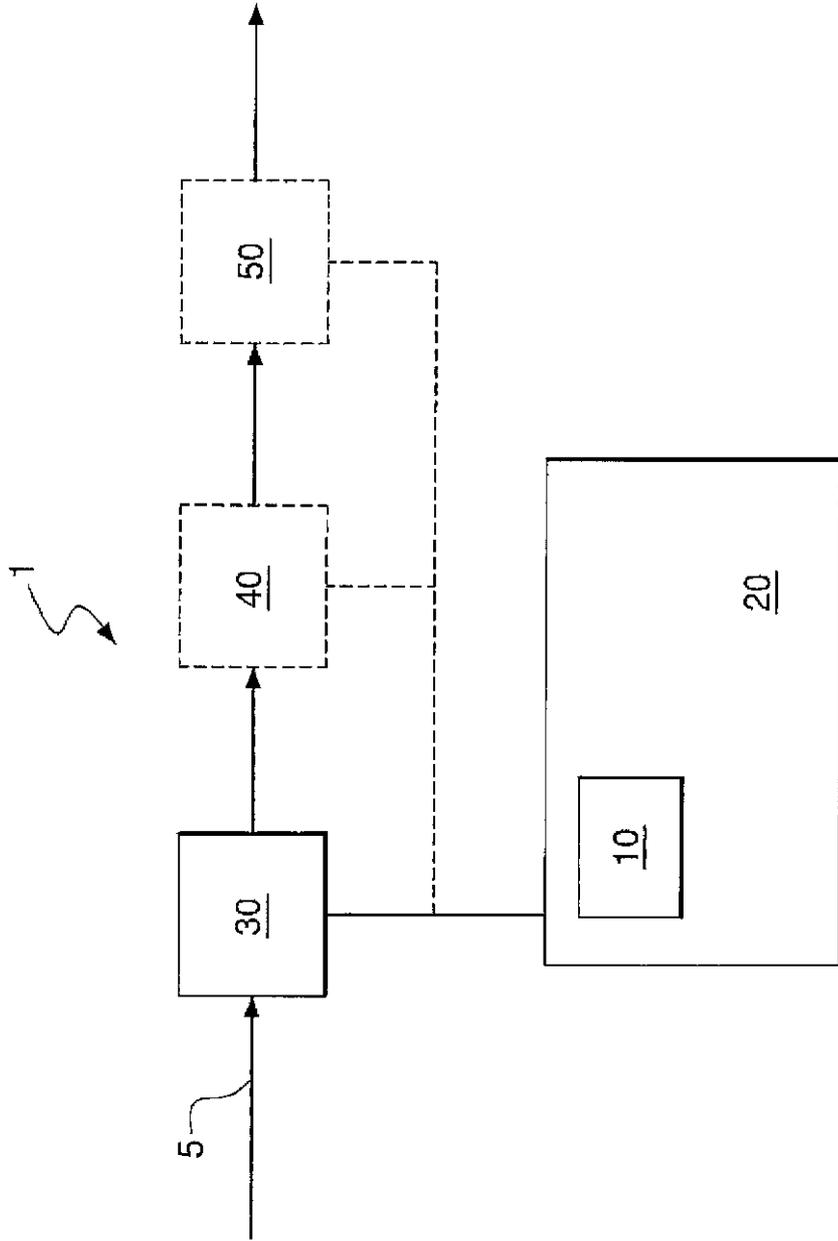


FIG. 7

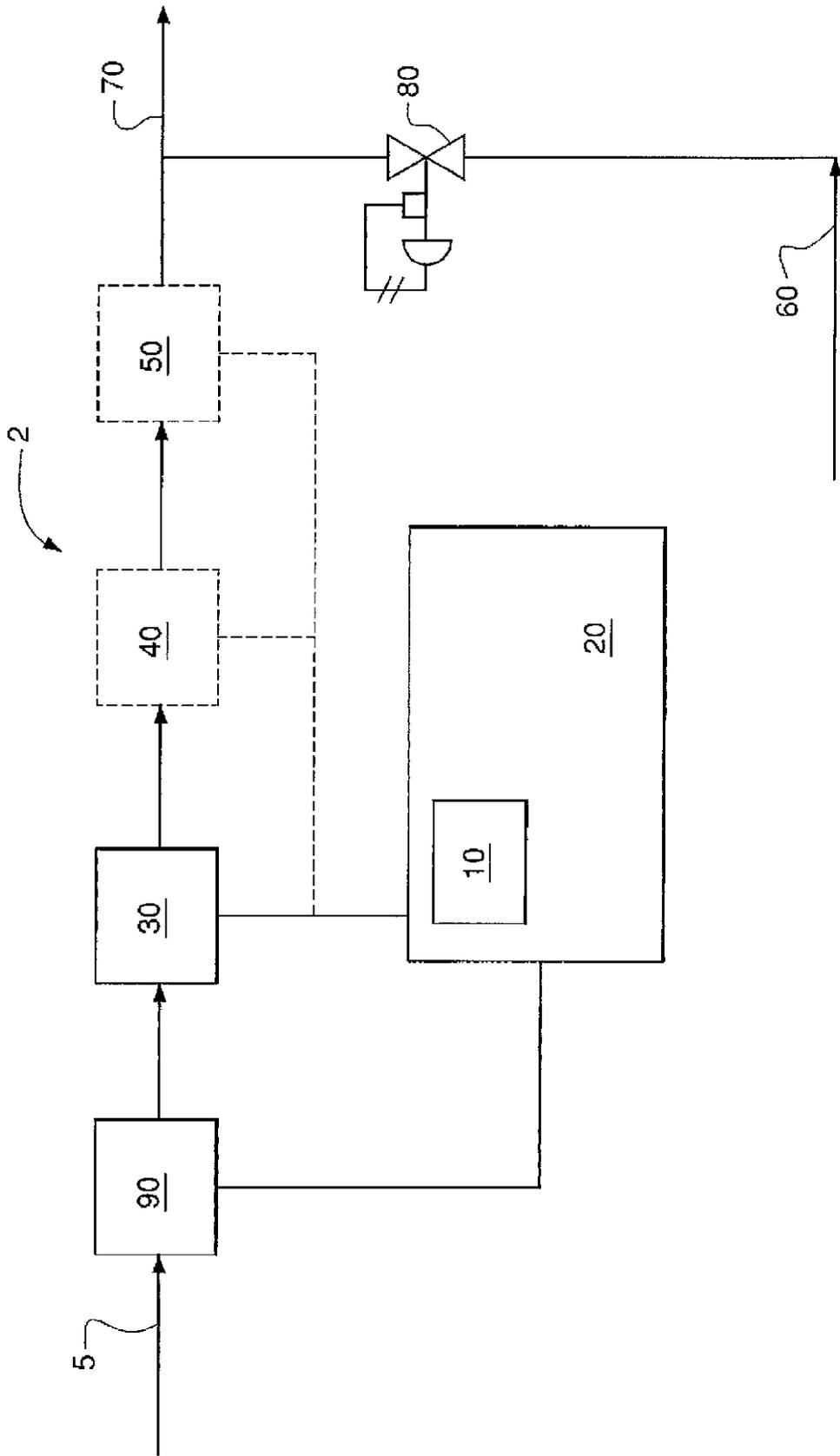


FIG. 8