(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 803 778**

(51) Int. CI.:

***C01B 3/38*** (2006.01)
***B01J 8/06*** (2006.01)
***B01J 19/00*** (2006.01)
***B01J 19/18*** (2006.01)
***F23C 5/08*** (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.02.2017 PCT/EP2017/052385**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **10.08.2017 WO17134225**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.02.2017 E 17703403 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2020 EP 3411329**

(54) Título: **Método para reducir la propagación de la temperatura en un reformador**

(30) Prioridad:

**04.02.2016 EP 16154314**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
**29.01.2021**

(73) Titular/es:

**TECHNIP FRANCE (100.0%)**
**6-8 Allee De L'Arche Faubourg De L'Arche**
**92400 Courbevoie, FR**

(72) Inventor/es:

**VAN UFFELEN, ROLAND y**
**WALSPURGER, STEPHANE**

(74) Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

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 reducir la propagación de la temperatura en un reformador

La invención se dirige a un método para calentar un gas del proceso en un reformador de encendido superior o inferior, un método para mejorar la propagación de la temperatura sobre un reformador de encendido superior o inferior, y a un reformador de encendido superior o inferior en donde pueden aplicarse estos métodos.

Un reformador es un horno en donde un gas de hidrocarburo tal como el gas natural (en lo sucesivo denominado gas del proceso) se convierte para formar una mezcla de CO e hidrógeno en presencia de un catalizador, típicamente un catalizador a base de metal (en particular, níquel). Este método de producción de hidrógeno también se conoce como reformado con vapor. La reacción de conversión debe realizarse a altas temperaturas, por ejemplo, temperaturas de al menos 700 °C. El calor necesario para la conversión endotérmica del gas del proceso se suministra al quemar un combustible con un oxidante (por ejemplo, oxígeno o aire). La combustión se controla mediante quemadores, que se colocan en la parte superior (un reformador de encendido superior) o en la parte inferior (reformador de encendido inferior) de la cámara del reformador. El gas del proceso se calienta en la cámara al hacerlo fluir a través de los tubos del reformador hacia abajo (en el caso de un reformador de encendido superior) o hacia arriba (en el caso de un reformador de encendido inferior) hacia el otro extremo (inferior o superior) de la cámara del reformador. Los tubos del reformador también pueden denominarse tubos catalizadores, porque estos tubos comprenden el catalizador que se requiere para la reacción de conversión.

Un reformador de encendido superior o inferior comprende carriles alternos de quemadores (carriles de quemadores) y tubos del reformador (carriles de tubos). El reformador comprende además una cámara del reformador que se confina dentro de paredes refractarias, *es decir* una serie de paredes laterales (típicamente cuatro), una pared superior refractaria (parte superior) y una pared inferior refractaria (parte inferior). Cada carril de quemador se coloca entre dos carriles de tubos o entre un carril de tubo exterior y una pared lateral de la cámara del reformador.

Un carril de tubo que se encuentra más cerca de una pared lateral de la cámara del reformador se denomina carril de tubo exterior. Por lo tanto, siempre hay dos carriles exteriores de tubos del reformador en un reformador de encendido superior o inferior. Los otros carriles de tubos del reformador se denominan carriles de tubos interiores y se encuentran entre los carriles de tubos exteriores. En consecuencia, la configuración de los carriles en un reformador con cuatro carriles de tubos y cinco carriles de quemadores será: B-O-B-I-B-I-B-O-B (en donde B = carril de quemador; O = carril exterior de los tubos del reformador; e I = carril interior de los tubos del reformador).

La mayoría de los carriles de quemadores tienen dos carriles de tubos adyacentes a ellos, en cuyo caso el carril de quemador suministra calor directamente a dos carriles de tubos. Sin embargo, este no es el caso de los carriles de quemadores que se encuentran directamente adyacentes a una pared lateral (denominados carriles de quemadores laterales). Un carril de quemador lateral suministra energía directamente solo a un carril de tubo, *es decir* al carril de tubo exterior que se encuentra adyacente al carril de quemador lateral. Esto generalmente dará como resultado diferencias de temperatura entre los diferentes carriles de tubos, en particular entre los carriles de tubos exteriores y los carriles de tubos interiores. Por lo tanto, a los quemadores en el carril de quemador lateral generalmente se les da un menor rendimiento que a los quemadores en los otros carriles de quemador(centrales). Típicamente, el rendimiento de los quemadores en un carril de quemador lateral está entre 50-100 % del rendimiento del carril de quemador central, más específicamente entre 50 y 70 %. El rendimiento es un parámetro que representa la liberación de calor de un quemador y se expresa en $J \cdot s^{-1}$.

Si bien el rendimiento exacto de los quemadores del carril lateral puede calcularse teóricamente con un modelo de caja simple, se encontró que los patrones de flujo de los gases de combustión calientes en la cámara del reformador dependen de muchos parámetros diferentes, que incluyen (entre otros) la presencia y el tipo de dispositivos de extracción de gases de combustión, variación de la velocidad del gas de un quemador a otro, interacción del quemador de los quemadores laterales con la pared lateral de la cámara del reformador, variación de la absorción de calor de un tubo a otro.

Por lo tanto, hacer una predicción precisa de los patrones de flujo en el reformador es muy complejo. Como consecuencia, predecir la liberación de calor del carril lateral que se requiere no puede hacerse con alta precisión. Existe la necesidad de un método o reformador con el que pueda equilibrarse la distribución de temperatura en la cámara del reformador.

En dependencia del rendimiento del carril de quemador lateral, los carriles de tubos exteriores pueden tener una temperatura mayor o menor que los carriles de tubos interiores. Por ejemplo, los carriles de tubos interiores de los reformadores mal equilibrados pueden ser 30 °C más calientes o más fríos que los carriles laterales.

La no uniformidad de la distribución de temperatura sobre la cámara del reformador es inconveniente. Primero, puede afectar el desempeño del reformador, que incluye el tiempo de vida del tubo catalizador. En segundo lugar, es ineficiente desde el punto de vista energético y, por lo tanto, también es ineficiente en cuanto a costos. Tercero, puede afectar la elección del material y los parámetros de diseño, tal como el grosor del tubo, que dictan los elementos más calientes del reformador. Por lo tanto, es un objeto de la invención mejorar la propagación de la temperatura sobre la cámara del reformador.

Se conocen diferentes métodos en la técnica para disminuir la interacción del quemador de los quemadores laterales con la pared de la cámara.

El documento US 2011/0220847 se dirige a reducir las inestabilidades del horno y la producción de $NO_X$, por ejemplo, al reducir o eliminar la interacción del quemador con la pared del reformador y reducir o eliminar el sobrecalentamiento localizado. Describe un método de combustión en un reformador de encendido superior o inferior, en donde los quemadores laterales tienen una o más propiedades de inyección diferentes de los quemadores centrales. Las propiedades de inyección incluyen el ángulo, el régimen de flujo, la cantidad y la ubicación de los inyectores de oxidante y la cantidad y ubicación de los inyectores de combustible de los quemadores.

El documento US 2007/0099141 describe un método para generar llamas enderezadas de un quemador en un horno. Se dice que las llamas enderezadas evitan el sobrecalentamiento localizado de los tubos del proceso y las paredes de la cámara que causan las llamas desviadas de patrones de flujo de gas no deseados en la cámara del horno.

El documento US 2007/0128091 se dirige a mejorar la distribución de calor y la transferencia de calor en hornos de síntesis. Se dice que esto se logra porque los quemadores exteriores que se encuentran en los alrededores de la pared del horno tienen una dirección de salida del quemador, que corre en una inclinación alejada del centro del horno en relación con la vertical, alejándose del centro del horno.

Una desventaja de ajustar el suministro de calor de los quemadores individuales como se describió anteriormente es que las soluciones se basan en métodos empíricos y modelado CFD y ambos pueden producir resultados incorrectos que requieren modificaciones en el diseño cuando se observan desviaciones de temperatura. Por lo tanto, a menudo se practica el equilibrio del rendimiento del quemador, de manera que el régimen de flujo de combustible u oxidante a los quemadores individuales se manipula para mejorar la distribución de la temperatura. Sin embargo, una desventaja de manipular los quemadores es que puede dar lugar a problemas de seguridad ya que los límites de estabilidad de la llama (liberación de calor y relación aire/combustible) normalmente se protegen a nivel global (para todo el reformador) y no pueden reconocer los límites de estabilidad de la llama en quemadores individuales.

Se conoce además en la técnica ajustar la temperatura de los tubos de calentamiento individuales en un horno.

El documento EP 2 671 634 describe un método para disminuir la propagación de las temperaturas del tubo entre tubos en un proceso que implica el calentamiento de al menos un fluido en un horno. En el método, primero se determina qué 50% de los tubos tienen la temperatura más baja. Subsecuentemente, se reduce el flujo del fluido distribuido que entra en estos tubos. La reducción en el flujo se logra al instalar un elemento de caída de presión en la entrada de tubos individuales. La mitad de todos los tubos del reformador deben tratarse de esta manera. Este método requiere que la operación de disminución del flujo se realice durante el cierre de la instalación.

El documento US 2010/0140552 se refiere a un método para controlar un proceso de reformado con vapor, en donde se mide la temperatura de la pared de cada tubo y, si la temperatura es mayor que la temperatura operativa máxima deseada (MOT), se modifica al menos un parámetro operativo del proceso de reformado para bajar la temperatura.

Por lo tanto, un objeto de la invención es mejorar la propagación de la temperatura y/o la distribución de la temperatura en un reformador, sin requerir la manipulación de los quemadores. Por lo tanto, puede garantizarse una protección adecuada para el reformador a nivel global.

Un objeto adicional de la invención es poder equilibrar la distribución de temperatura en un reformador.

Es una objeción adicional de la invención poder equilibrar la distribución de temperatura en un reformador durante la operación del reformador.

Más en particular, es un objetivo reducir la propagación de la temperatura en un reformador y/o proporcionar al reformador con una distribución de temperatura más uniforme. Este objeto incluye disminuir la diferencia de temperatura entre los carriles de tubos exteriores y los carriles de tubos interiores.

Además, es un objetivo lograr los objetos anteriores sin afectar negativamente la variación de temperatura dentro de un carril de tubo y/o dar lugar a problemas de seguridad.

En un primer aspecto, la invención se dirige a un método para mejorar la distribución de temperatura en un reformador de encendido superior o inferior que comprende dos carriles exteriores de tubos del reformador y uno o más carriles internos de tubos del reformador, el método que comprende hacer fluir el gas del proceso a través de los tubos del reformador de los carriles interiores y exteriores,
en donde cada carril de tubo tiene un régimen de flujo de carril, que se define como la cantidad total de gas del proceso que fluye a través de los tubos del reformador de dicho carril de tubo por unidad de tiempo,
en donde el régimen de flujo del carril de al menos un carril de tubo exterior es diferente del régimen de flujo del carril de al menos un carril de tubo interior, al establecer el régimen de flujo del carril de dicho carril de tubo exterior aguas arriba

de las entradas de tubo del reformador en un colector de gas que proporciona dicho al menos un carril exterior con gas del proceso, o aguas arriba del mismo.

La invención se basa en la idea de que la distribución de temperatura sobre los tubos del reformador en todo el horno reformador puede controlarse y/o mejorarse al ajustar (aumentar o disminuir) el régimen de flujo de carril de un carril de tubo determinado. En particular, se obtuvieron buenos resultados al ajustar el régimen de flujo de carril de uno o ambos carriles de tubos exteriores, de manera que tengan un régimen de flujo de carril diferente en comparación con al menos un carril de tubo interior.

De acuerdo con la invención, el régimen de flujo de carril de un carril de tubo se establece para que sea diferente del régimen de flujo de carril de tubo de otro carril. Esto puede lograrse al controlar o configurar el régimen de flujo aguas arriba de los tubos del reformador de dicho carril determinado, *por ejemplo,* en el colector de gas que proporciona el carril de tubo con gas del proceso. De esta manera, el régimen de flujo de un carril de tubo completo puede ajustarse fácilmente. Como resultado, se reduce la propagación en las diferencias de temperatura promedio entre los carriles. Se descubrió que dicho ajuste en el régimen de flujo de los carriles de tubos diferentes (que incluye los carriles de tubos exteriores) es una forma relativamente fácil de mejorar y/o controlar la distribución de temperatura en todo el reformador.

Se descubrió que al controlar la temperatura promedio de tubo de los carriles de tubos exteriores, y posiblemente también de los segundos carriles de tubo, se podía reducir la propagación en la temperatura promedio del tubo de carril que se observa entre los carriles de tubo en todo el horno. Además, dicho método permite controlar la propagación de la temperatura promedio de tubo entre carriles incluso durante la operación del reformador/horno (también llamado controlar*en operación*). A diferencia de la mayoría de los métodos para mejorar la distribución de calor en un horno, no es necesario apagar el horno.

Básicamente, el gas del proceso actúa como fluido refrigerante en la cámara del reformador, transportando el calor lejos de la cámara del reformador. En los reformadores que se conocen en la técnica, cada carril de tubo tiene el mismo régimen de flujo de carril. Sin embargo, al establecer que el régimen de flujo de ciertos carriles de tubos tenga un valor diferente, en particular uno o ambos carriles de tubos exteriores, la propagación de la temperatura en un reformador puede reducirse. En consecuencia, se consigue una distribución de temperatura más uniforme en el reformador.

En caso de que un carril determinado tenga una temperatura demasiado alta con relación al resto de la cámara del reformador, puede aumentarse el régimen de flujo del gas del proceso en ese carril, de manera que la temperatura del carril descienda. Alternativamente, en caso de que un carril determinado tenga una temperatura demasiado baja con relación al resto de la cámara del reformador, el régimen de flujo del gas del proceso en ese carril puede disminuirse. Por lo tanto, la distribución de temperatura puede hacerse más uniforme al elegir un régimen de flujo para al menos uno de los carriles de tubos exteriores que sea diferente (*es decir* mayor en caso de que la temperatura del carril exterior sea relativamente alta; menor en caso de que la temperatura del carril exterior sea relativamente baja) en comparación con el régimen de flujo del gas del proceso en los carriles interiores.

El régimen de flujo de carril de un carril determinado se define en la presente descripción como la velocidad a la que el gas del proceso fluye a través de los tubos del reformador de ese carril. La velocidad se expresa como la cantidad de gas del proceso por unidad de tiempo. La cantidad de gas del proceso típicamente se refiere a la masa total del gas del proceso, en cuyo caso el régimen de flujo se refiere al régimen de flujo másico. El régimen de flujo de un carril determinado es igual a la suma de los regímenes de flujo de todos los tubos del reformador individuales presentes en el carril:

$$\mathrm{F_{carril}} = \sum_{1-n} (\mathrm{F}_{tubo1} + \mathrm{F}_{tubo2} + \mathrm{F}_{tubo3} + \cdots + \mathrm{F}_{tubon}) \qquad (1)$$

en donde $F_{carril}$ es el régimen de flujo de carril de un cierto carril, $F_{tubo1}$ es el régimen de flujo en el primer tubo de reformador de dicho carril determinado, $F_{tubo2}$ es el régimen de flujo en el segundo tubo de reformador de dicho cierto carril y *n* es la cantidad de tubos del reformador presentes en el carril.

El término "régimen de flujo" como se usa en la presente típicamente se refiere al régimen de flujo másico.

El término "al menos un carril de tubo exterior" como se usa en la presente incluye modalidades en donde el término significa "un carril de tubo exterior" y en donde el término significa "cualquiera de los dos carriles de tubos exteriores".

El término "al menos un carril de tubo interior" como se usa en la presente incluye modalidades en donde el término significa "cualquiera de los carriles de tubos interiores tercero y más", "cualquiera de los carriles de tubos interiores cuarto y más" y "cualquiera de los carriles de tubos interiores".

Cuando se hace referencia en la presente descripción a la temperatura de un tubo, en particular se entiende la temperatura de la pared del tubo. Dado que la pared del tubo típicamente se hace de metal, también puede referirse a esta temperatura como la temperatura del metal del tubo. Además, cuando se hace referencia en la presente descripción a la temperatura de un carril de tubo, en particular se entiende la temperatura promedio de los tubos presentes en el carril. La temperatura de un tubo o de la pared del tubo puede medirse mediante el uso de técnicas que se conocen en la técnica, por ejemplo, mediante el uso de un Pirómetro Infrarrojo de Punto o Procesamiento de Imágenes Térmicas. Típicamente, la temperatura

de un tubo difiere en la longitud de un tubo de reformador (*por ejemplo,* el tubo está más caliente al final del tubo, donde el gas del proceso sale de la cámara del reformador). Al medir la temperatura de diferentes tubos del reformador (o carriles), la temperatura típicamente se mide a la misma elevación, *es decir* a la misma altura en la cámara del reformador. En consecuencia, la temperatura de cada tubo puede medirse a la misma distancia de la hilera de quemadores más cercana. Sin embargo, incluso a la misma altura, la temperatura puede ser diferente en dependencia de qué lado del tubo se determine la temperatura. En consecuencia, cuando se mide la temperatura de diferentes tubos (o carriles) de reformador, la temperatura también se mide típicamente en el mismo lado, más específicamente en el mismo ángulo de exposición hacia la hilera de quemadores más cercana. Por lo tanto, las temperaturas de diferentes tubos y carriles pueden compararse y/o promediarse si es necesario. La temperatura al final de un tubo también puede determinarse midiendo la temperatura del gas del proceso cuando sale del tubo reformador. Esta es una forma más práctica y fácil de determinar la temperatura de un tubo o carril de tubo, ya que no es necesario realizar mediciones de temperatura dentro de la cámara del reformador de esta manera.

Los términos "distribución de temperatura" y "propagación de la temperatura" como se usan en la presente se refieren a la distribución y propagación de la temperatura sobre los tubos o carriles de tubos. La distribución de temperatura y la propagación sobre los tubos o carriles de tubos puede evaluarse al medir y comparar la temperatura de cada tubo de reformador o carril de tubo, preferiblemente a la misma elevación y ángulo de exposición como se explicó anteriormente.

La Figura 1 representa una vista lateral de un reformador de encendido superior que muestra un carril de quemador lateral y un carril de tubo exterior y carriles de quemador central alternos adicionales y carriles de tubos interiores. Para cada carril, solo se muestra un tubo o quemador.

La Figura 2 representa una vista superior del mismo reformador de encendido superior que muestra dos paredes laterales, tres carriles de quemadores y tres carriles de tubos. Cada carril de tubo tiene un colector de gas con un regulador de flujo que se le proporciona. La figura no representa a todo el reformador. El horno puede tener uno o más carriles de tubos, carriles de quemadores, tubos por carril y quemadores por carril que no se representan en la Figura.

La Figura 3 representa una vista superior del mismo reformador de encendido superior que muestra dos paredes laterales, tres carriles de quemadores y tres carriles de tubos, así como también múltiples inyectores de combustible 106 que rodean cada quemador. Cada carril de tubo tiene un colector de gas con un regulador de flujo que se le proporciona. La Figura no representa a todo el reformador. El horno puede tener uno o más carriles de tubos, carriles de quemadores, tubos por carril y quemadores por carril que no se representan en la Figura.

La Figura 4 representa tres vistas superiores de un reformador de encendido superior, que muestra tres configuraciones diferentes para colocar el colector de gas y el distribuidor de gas. Las vistas superiores muestran cada uno tres colectores de gas (102, 103, 104) y un distribuidor de gas (12).

La Figura 5 representa los mismos reformadores de encendido superior que la Figura 4, excepto que los reguladores de flujo (105) se han colocado para establecer el régimen de flujo de carril. En la configuración que se representa a la izquierda de la Figura, no hay reguladores de flujo presentes. En la configuración que se representa en el medio de la Figura (Caso B), cada colector de gas se proporciona con un regulador de flujo aguas abajo y fuera del distribuidor de gas (105). En la configuración de la derecha (Caso C), cada colector de gas se proporciona con dos reguladores de flujo cerca del carril de tubo (105).

La Figura 6 es un gráfico que muestra la temperatura del metal del tubo en un horno reformador sin reguladores de flujo.

La Figura 7 es un gráfico que muestra la temperatura del metal del tubo en un horno reformador con reguladores de flujo que se colocan como en la vista superior central de la Figura 5.

La Figura 8 es un gráfico que muestra la temperatura del metal del tubo en un horno reformador con reguladores de flujo que se colocan como en la configuración en la derecha de la Figura 5 (Caso C). La Figura 9 es un gráfico que muestra la temperatura del metal del tubo en un horno reformador que no está de acuerdo con la invención, en donde el horno tiene una configuración de acuerdo con la vista superior izquierda de la Figura 5, excepto que se redujo el flujo en la mitad más fría de los tubos del reformador con reguladores de flujo, según se enseña en el documentoEP2671634.

La Figura 10 muestra diferentes configuraciones posibles de colectores y distribuidores de gas.

Un reformador de encendido superior o inferior es un horno que se conoce bien en la técnica. Tal horno comprende una cámara del reformador con generalmente cuatro paredes laterales, una parte superior y una parte inferior. Un reformador de encendido superior o inferior tiene carriles alternos de quemadores y tubos del reformador. Un carril de quemadores también puede denominarse en la presente descripción carril de quemador. Un carril de tubos del reformador también puede denominarse en la presente descripción carril de tubo. Un carril de tubo es un carril de múltiples tubos del reformador, que son esencialmente paralelos entre sí. Los tubos del reformador se colocan verticalmente en la cámara del reformador, lo que significa que entran en la cámara del reformador a través de la parte superior hacia abajo (hacia la parte inferior de la cámara del reformador) o ingresan a la cámara del reformador a través de la parte inferior hacia arriba (hacia la parte superior de la cámara del reformador). Los carriles de tubos se encuentran esencialmente paralelos entre

sí, así como también a dos de las paredes laterales de la cámara del reformador. Estas paredes laterales se denominan paredes laterales de carril. Los quemadores se disponen esencialmente en un plano, es decir, en la parte superior o en la parte inferior de la cámara del reformador. Los quemadores se disponen en carriles, que son esencialmente paralelos a los carriles de tubos y las paredes laterales de los carriles. El carril de quemador que se encuentra más cerca de la pared lateral del carril (en comparación con todos los demás carriles de quemador) se denomina carril de quemador lateral. Los otros carriles de quemador pueden denominarse carriles de quemador centrales. Un carril de tubo que se encuentra más cerca de una pared lateral de carril (en comparación con todos los demás carriles de tubo) se denomina como carril de tubo exterior. Los otros carriles de tubos pueden denominarse carriles de tubos interiores. Dado que hay dos paredes laterales de carriles en una cámara del reformador, hay dos carriles de tubos exteriores y dos carriles de quemadores laterales. La mayoría de los reformadores de encendido superior o inferior comerciales comprenden 2-16 carriles de tubos, pero la invención también puede funcionar para cantidades mayores de carriles de tubos. La presente invención es particularmente ventajosa para reformadores más grandes con más de 4 carriles de tubos.

Los diferentes carriles de quemadores y carriles de tubos pueden denominarse como sigue. Un carril de quemador lateral puede denominarse como un primer carril de quemador (B1); un carril de quemador adyacente a un carril de quemador lateral puede denominarse como un segundo carril de quemador (B2); un carril de quemador adyacente a un segundo carril de quemador (y si no es un primer carril de quemador) puede denominarse como un tercer carril de quemador (B3), *etcétera.* Un carril de quemador exterior puede denominarse como un primer carril de tubo (O o T1); un carril de tubo adyacente a un carril de tubo exterior puede denominarse como un segundo carril de tubo (T2); un carril de tubo adyacente a un segundo carril de tubo (y si no es un primer carril de tubo) puede denominarse como un tercer carril de tubo (T3), *etcétera.* En consecuencia, una configuración de carril que comprende cinco carriles de tubos (dos carriles exteriores y cinco carriles interiores) y seis carriles de quemador puede representarse de la siguiente manera: |B1-O-B2-T2-B3-T3-B3-T2-B2-T1-B1|, en donde la pared lateral del carril se representa por "|". Los uno o dos carriles de tubos del número más alto (en el ejemplo anterior T3) pueden denominarse como los carriles de tubos más interiores.

De acuerdo con la invención, el régimen de flujo de al menos un carril exterior es diferente del régimen de flujo de al menos un carril interior. En principio, establecer que el régimen de flujo de un carril exterior sea diferente de al menos un carril interior es suficiente para mejorar la distribución de temperatura sobre el reformador (aunque solo en un lado de la cámara del reformador). Sin embargo, preferentemente, el régimen de flujo de ambos carriles exteriores se ajusta de esta manera, de manera que la propagación de la temperatura se mejora en ambos lados de la cámara del reformador.

El régimen de flujo de carril de al menos un carril exterior puede ser mayor o menor que el régimen de flujo de carril de al menos un carril interior. Esto depende principalmente del rendimiento de los quemadores. En caso de que el rendimiento de los quemadores sea relativamente alto, el régimen de flujo de carril del carril exterior será generalmente mayor que el régimen de flujo de carril de al menos un carril interior. En caso de que el rendimiento de los quemadores sea relativamente bajo, el régimen de flujo de carril del carril interior generalmente será menor que el régimen de flujo de carril de al menos un carril interior.

Generalmente, no hay mucha diferencia entre los regímenes de flujo de los dos carriles de tubos exteriores. La diferencia se minimiza normalmente al diseñar con precisión la caída de presión permitida de los tubos que transportan el gas del proceso desde el colector de gas principal hasta los carriles de tubos individuales. La diferencia en el régimen de flujo de carril entre los dos carriles de tubos exteriores puede ser inferior al 1 %, preferentemente inferior al 0,5 %, aún con mayor preferencia inferior al 0,1 %, según el carril exterior con el régimen de flujo de carril más bajo. Generalmente, el régimen de flujo de los dos carriles de tubos exteriores es generalmente aproximadamente la misma.

De acuerdo con el método de la invención, el régimen de flujo de carril de al menos un carril de tubo exterior y opcionalmente uno o más carriles de tubos interiores es diferente del régimen de flujo de carril de al menos un carril de tubo interior. Esto se hace al ajustar el régimen de flujo de carril de al menos un carril exterior o uno o más carriles de tubos interiores a un valor diferente de al menos un carril interior. Esto puede establecerse al ajustar el régimen de flujo del gas del proceso aguas arriba de los tubos del reformador de dicho carril de tubo determinado, en el colector de gas o incluso más aguas arriba, en el distribuidor de gas. De esta manera, el régimen de flujo de un carril de tubo puede establecerse mediante el uso de solo unos pocos (*por ejemplo,* uno o dos) reguladores de flujo. Además, esto permite establecer el régimen de flujo de carril fuera de la cámara de combustión del reformador, de manera que no es necesario apagar el reformador cuando se establece el régimen de flujo de carril. En principio, también puede establecerse el régimen de flujo de un solo tubo de reformador (*por ejemplo,* al proporcionar la entrada del tubo de reformador con un inserto o placa para detener parcialmente u obstruir el flujo del gas del proceso), pero esto es menos preferido debido a la gran cantidad de tubos catalizadores en un reformador, así como también al hecho de que tal operación requeriría el apagado del horno. Por lo tanto, el régimen de flujo de carril de un carril de tubo generalmente se establece aguas arriba de la entrada del tubo de reformador, típicamente en el colector de gas.

Para proporcionar un carril de tubo determinado con un régimen de flujo de carril de un cierto valor (*por ejemplo,* un régimen de flujo que es diferente del régimen de flujo de carril de al menos uno de los carriles de tubos interiores), el régimen de flujo al que el colector de gas de dicho carril de tubo determinado proporciona a los tubos del reformador en dicho carril con gas del proceso puede establecerse, ajustarse y/o controlarse. Por ejemplo, el régimen de flujo al que el colector de gas de dicho carril de tubo determinado se proporciona con gas del proceso puede establecerse, ajustarse y/o controlarse. Por lo tanto, indirectamente, se establece el régimen de flujo de carril del carril de tubo. Al menos un carril

exterior se proporciona con un régimen de flujo de carril que es diferente del régimen de flujo de carril de al menos un tubo interior mediante el ajuste del régimen de flujo del gas del proceso aguas arriba de los tubos del reformador de dicho carril exterior en el colector de gas o aguas arriba de los mismos.

La configuración del régimen de flujo de un carril de tubo determinado generalmente se realiza al controlar o configurar el régimen de flujo en el colector de gas, *por ejemplo,* el régimen de flujo al cual el gas del proceso ingresa al colector de gas de ese carril, *es decir* el colector de gas que proporciona ese carril de tubo con gas del proceso. Típicamente, cada carril de tubo en un reformador comprende un colector de gas para distribuir el gas del proceso sobre los tubos del reformador en dicho carril de tubo. Un colector de gas es típicamente un tubo que comprende una o más entradas y múltiples salidas. El tubo puede ser lineal o ramificado, puede tener un diámetro interior fijo o variable. El colector de gas puede dividirse aproximadamente en dos partes: una parte de carril y una parte de conector. La parte de carril del colector de gas es la porción alargada del colector de gas que comprende las salidas del colector de gas. La parte de carril típicamente se encuentra paralela a un carril de tubo. La parte de conector del colector de gas es la porción del colector de gas que conecta la parte de carril y el distribuidor de gas. Por lo tanto, la parte de conector es la parte del colector de gas que proporciona el gas del proceso a la parte de carril del colector de gas. Preferentemente, uno o más reguladores de flujo se colocan en el colector de gas, por ejemplo, en la parte de conector del colector de gas. Cuando se coloca en un colector de gas, el regulador de flujo debe colocarse preferentemente aguas arriba de todas las entradas del tubo de reformador, en particular aguas arriba de todas las salidas del colector de gas de dicho colector de gas. Con la máxima preferencia, ninguna salida del colector de gas se ubica aguas arriba de un regulador de flujo.

La configuración del colector de gas puede ser de diferente grado de complejidad. En realidad, el diseño es generalmente el compromiso entre una homogeneidad que se desea en la distribución del fluido y la cantidad de tuberías y trabajos de soldadura que deben realizarse para obtener el diseño correspondiente. Por ejemplo, un sistema de colector de gas puede comprender un distribuidor de gas (colector principal) que distribuye el fluido a los colectores de gas (subcolectores). El uso del diseño de distribuidor de gas y colector de gas permite cierta flexibilidad para seleccionar la ruta más adecuada para la tubería y, por lo tanto, el mejor compromiso entre el desempeño de distribución y el costo de la tubería. Se muestran diferentes configuraciones en las Figuras 4 y 10.

Un colector de gas tiene al menos una entrada para que el gas del proceso ingrese al colector de gas y múltiples salidas para que el gas del proceso salga del colector de gas y se alimente a los tubos del reformador del carril de tubo (*es decir*, el carril de tubo que comprende el colector de gas). Cada tubo de reformador del carril de tubo se conecta de manera fluida a al menos una de las salidas del colector de gas. Generalmente, un tubo de reformador solo se conecta a una de las múltiples salidas del colector de gas. Típicamente, un colector de gas solo tiene una entrada. Típicamente, el número de salidas en los colectores de gas es igual al número de tubos del reformador en el carril. Al menos una entrada del colector de gas puede conectarse de manera fluida a un depósito de gas del proceso, a una alimentación de gas del proceso o al menos a una salida del distribuidor de gas que se describe más abajo. El colector de gas típicamente se encuentra justo fuera de la sección radiante del horno, *es decir* fuera de la cámara del reformador. Sin embargo, el gas del proceso que fluye a través del colector de gas en un reformador todavía tiene una alta temperatura de hasta 700 °C. Tales altas temperaturas son necesarias para que el catalizador esté significativamente activo cuando el gas del proceso ingrese a los tubos del reformador. Para este propósito, el gas del proceso típicamente se precalienta a temperaturas de 500-600 °C antes de alimentarse al colector de gas.

Por lo tanto, para establecer el régimen de flujo de un cierto carril de tubo, el colector de gas de dicho carril de tubo puede proporcionarse con un gas del proceso a un régimen de flujo, de manera que dicho carril de tubo tenga un régimen de flujo de carril diferente de al menos un carril interior. En consecuencia, en el caso de al menos un carril de tubo exterior, el colector de gas del carril de tubo exterior puede proporcionarse con un gas del proceso a un régimen de flujo de manera que al menos un carril exterior tenga un régimen de flujo de carril diferente de al menos un carril interior.

Como ya se explicó anteriormente, es difícil predecir la liberación exacta de calor del carril de quemador lateral y cómo evoluciona con el tiempo y los cambios en la composición de la alimentación. Por lo tanto, es conveniente que el régimen de flujo pueda establecerse en un cierto valor y, si es necesario, pueda ajustarse más tarde. De esta manera, es posible proporcionar ciertos carriles con un régimen de flujo de carril inicial, y medir subsecuentemente la distribución de temperatura que se obtiene con la configuración inicial, y luego ajustar los regímenes de flujo iniciales de uno o más de los carriles para reducir la propagación de la temperatura que se compara además con la configuración inicial. De esta manera, mediante ajustar y/o reajustar el régimen de flujo de diferentes carriles de tubos, la distribución de temperatura sobre el reformador puede controlarse y mejorarse.

En consecuencia, para poder establecer (y si es necesario ajustar, además, *por ejemplo,* al restablecer) el régimen de flujo al que se proporciona el gas del proceso al colector de gas de un carril determinado, puede usarse un regulador de flujo (también llamado dispositivo de control de flujo). Un regulador de flujo permite establecer y/o variar el régimen de flujo al que se proporciona el gas del proceso al colector de gas de un carril determinado. Por ejemplo, el regulador de flujo puede permitir proporcionar un colector de gas de un cierto carril con gas del proceso a un régimen de flujo entre 90-110 %, preferentemente entre 95 y 105 % del régimen de flujo con el que se proporciona el colector de gas de uno o más de los carriles de tubos interiores. Ejemplos de reguladores de flujo adecuados son insertos, válvulas, placas (*por ejemplo,* placas de orificio u orificios de restricción) y toberas Venturi. Si es necesario, pueden diseñarse específicamente diferentes colectores de gas para poder suministrar a los carriles de tubos con los regímenes de flujos deseados. Por ejemplo, en

caso de que el colector de gas que proporciona el carril de tubo exterior con gas del proceso necesite proporcionar el gas a un régimen de flujo más alto, el colector de gas puede necesitar un diámetro mayor que los colectores de gas de los carriles interiores.

Uno o más reguladores de flujo en el reformador pueden controlarse de forma manual o automática. Pueden controlarse en el sitio o de forma remota. La decisión de ajustar un regulador de flujo puede ser según la temperatura del gas del proceso que sale de un cierto carril de tubo. Esto se hace por razones prácticas, ya que la medición de temperatura puede ubicarse adecuadamente en el sistema de salida de un carril de tubo. En consecuencia, la temperatura de los diferentes carriles de tubos puede aumentarse o disminuirse mediante un control preciso.

La propagación de la temperatura sobre los tubos del reformador puede expresarse al comparar la diferencia de temperatura entre el gas del proceso que sale de los diferentes carriles de tubos del reformador. Tal medición de temperatura es más práctica, ya que puede ubicarse en el sistema de salida del reformador.

Preferentemente, la diferencia de temperatura entre el gas del proceso que sale de cualquiera de los carriles de tubos es inferior a 10 °C, aún con mayor preferencia inferior a 5 °C.

El regulador de flujo puede proporcionarse al colector de gas del carril de tubo para el cual debe establecerse el régimen de flujo de carril, por ejemplo, uniéndolo a una entrada del colector de gas del mismo. Cada carril de tubo para el cual debe establecerse o variarse el régimen de flujo puede tener un colector de gas que se proporciona con un regulador de flujo. En consecuencia, la entrada del colector de gas de al menos un carril de tubo exterior generalmente se proporcionará con un regulador de flujo. El regulador de flujo determina el régimen de flujo al que se proporciona gas del proceso al colector de gas. El regulador de flujo se proporciona aguas arriba de las entradas del tubo de reformador o aguas arriba del mismo. Típicamente, el regulador de flujo se proporciona a la entrada del colector de gas. Un regulador de flujo puede, por ejemplo, insertarse o unirse físicamente a al menos una entrada del colector de gas. Por ejemplo, la entrada del colector de gas puede comprender un puerto en el que el regulador de flujo (*por ejemplo,* una válvula o entrada) puede atornillarse o instalarse. Tal puerto puede soldarse o embridarse en la línea de entrada del colector de gas.

Alternativamente, el regulador de flujo puede proporcionarse aguas arriba de la entrada del colector de gas. El regulador de flujo puede proporcionarse, por ejemplo, a un distribuidor de gas o a un tubo que proporciona gas del proceso al colector de gas del carril de tubo para el cual debe establecerse el régimen de flujo de carril (*por ejemplo,* al colector de gas de al menos un carril de tubo exterior). En este caso, el regulador de flujo se conecta de manera fluida a la entrada del colector de gas del carril de tubo para el cual debe establecerse el régimen de flujo de carril. Por ejemplo, el regulador de flujo puede conectarse de manera fluida a la entrada del colector de gas a través de un distribuidor de gas o a través de un tubo para proporcionar el colector de gas con gas del proceso. El regulador de flujo puede proporcionarse en el tubo o en la entrada del tubo.

El regulador de flujo puede bloquear u obstruir parcialmente el flujo de gas del proceso que se proporciona al colector de gas. Por lo tanto, el regulador de flujo logra cambiar el régimen de flujo. El regulador de flujo puede funcionar al crear una caída de presión entre el colector de gas y el tubo, el depósito de gas del proceso o el distribuidor de gas a través del cual el colector de gas se proporciona con gas del proceso. Como se mencionó anteriormente, los ejemplos de reguladores de flujo son insertos, válvulas, placas (*por ejemplo,* placas de orificio u orificios de restricción) y toberas Venturi. Las placas y los insertos pueden simplemente bloquear parte del paso del gas del proceso. Puede insertarse un inserto en un tubo (*por ejemplo*, el tubo que proporciona un colector de gas con gas del proceso) o en una entrada (*por ejemplo,* una entrada del colector de gas). Los insertos pueden tener una geometría específica que puede diseñarse para generar una caída de presión dada (y, por lo tanto, un régimen de flujo dado).

Preferentemente, el regulador de flujo es (altamente) resistente a altas temperaturas. En este aspecto, los insertos son más convenientes que las válvulas (*por ejemplo,* debido a las partes móviles en una válvula). La temperatura en el colector de gas es generalmente más alta que la temperatura máxima típica que las válvulas de control y las válvulas de seguridad pueden soportar.

Preferentemente, el regulador de flujo es ajustable. Esto significa que el régimen de flujo al que se proporciona un colector de gas con gas del proceso puede establecerse en un valor diferente sin tener que quitar el regulador de flujo del reformador (típicamente del colector de gas del mismo). Las válvulas pueden configurarse fácilmente para proporcionar un régimen de flujo diferente. Un ejemplo de una válvula adecuada es una válvula de mariposa. Sin embargo, una desventaja de una válvula es que no tiene resistencia a altas temperaturas debido a sus partes móviles. Sin embargo, todavía puede usarse adecuadamente en la invención para crear una caída de presión, especialmente cuando no se pretende cerrar la válvula herméticamente.

En caso de que el regulador de flujo no sea ajustable (por ejemplo, para ciertos insertos y placas), el régimen de flujo puede establecerse mediante el intercambio del regulador de flujo. Esto significa que el regulador de flujo se retira y se reemplaza con un regulador de flujo diferente. En consecuencia, el inserto o placa se une preferentemente de manera desmontable al colector de gas o al tubo que proporciona al colector de gas con gas del proceso. Desmontable significa que el regulador de flujo puede conectarse y retirarse nuevamente sin dañar el equipo y preferentemente también sin dañar el regulador de flujo en sí. Para establecer fácilmente el régimen de flujo mediante el uso de un inserto, el inserto

debe ser desmontable y preferentemente también accesible. En una modalidad preferida, el regulador de flujo es un inserto. Los insertos pueden diseñarse de manera que puedan ser fácilmente accesibles y ser intercambiables.

El régimen de flujo al que se proporciona el gas del proceso a un colector de gas también puede establecerse o controlarse mediante un distribuidor de gas. Típicamente, todos los colectores de gas se llenan con gas del proceso del mismo depósito de gas del proceso y/o de la misma corriente de alimentación de gas del proceso principal. El reformado se lleva a cabo generalmente en una composición de gas del proceso único para todos los tubos del reformador. En tal caso, un depósito (*por ejemplo*, tanque o tubería de búfer) proporciona gas del proceso a todos los tubos del reformador, cuyo depósito se encuentra fuera del reformador o incluso fuera de la instalación de reformado. Esto puede lograrse mediante el uso de un colector de gas adicional para distribuir los colectores de gas de los carriles de tubos con gas del proceso.

Tal colector de gas adicional se denomina en la presente descripción como el distribuidor de gas. Tal distribuidor de gas también puede denominarse como un colector principal, y los colectores de gas aguas abajo de este colector se denominan subcolectores. El gas del proceso generalmente ingresa al distribuidor de gas a un cierto régimen de flujo. El gas del proceso puede distribuir el gas del proceso a cada colector de gas al mismo régimen de flujo. Sin embargo, el distribuidor de gas también puede diseñarse de manera que pueda proporcionar a los colectores de gas de uno o más carriles con un régimen de flujo diferente. Esto puede lograrse, por ejemplo, al proporcionar los reguladores de flujo mencionados anteriormente a una o más de las salidas del distribuidor de gas (en lugar de al colector de gas).

El distribuidor de gas comprende al menos una entrada para que el gas del proceso entre en el distribuidor de gas; y múltiples salidas para que el gas del proceso salga del distribuidor de gas y alimente los colectores de gas. Cada entrada del colector de gas se conecta de manera fluida a una de las múltiples salidas del distribuidor de gas. En consecuencia, el colector de gas también puede denominarse en la presente descripción subcolector de gas (siendo el distribuidor de gas el colector de gas principal). Generalmente, una entrada del (sub)colector de gas se conecta a una de las múltiples salidas. Por lo tanto, el número de salidas en el distribuidor de gas es igual al número de colectores de gas (y, por lo tanto, también al número de carriles de tubos). Las salidas del distribuidor de gas pueden conectarse a los colectores de gas en la porción final o en cualquier otra ubicación a lo largo de la longitud del colector de gas. Al menos una entrada del distribuidor de gas puede conectarse de manera fluida a un depósito de gas del proceso o a una alimentación principal de gas del proceso.

Como se mencionó anteriormente, los reguladores de flujo pueden usarse para establecer (y si es necesario, además ajustar, *por ejemplo,* al restablecer) el régimen de flujo al que se proporciona el gas del proceso al colector de gas de un carril determinado. El régimen de flujo de carril de cierto carril de tubo puede establecerse al proporcionar la salida del distribuidor de gas que se conecta de manera fluida a la entrada del colector de gas de dicho carril de tubo con un regulador de flujo. Una salida del distribuidor de gas puede proporcionarse con un regulador de flujo de la misma manera que una entrada de colector de gas puede proporcionarse con un regulador de flujo.

Más abajo, se dan varios criterios para la diferencia en el régimen de flujo entre al menos un carril de tubo exterior y al menos un carril de tubo interior. Aunque el término "al menos un carril de tubo exterior" se usa más abajo, las modalidades en donde ambos carriles de tubos exteriores cumplen los criterios también se prevén en la presente invención y se describen explícitamente en la presente. De hecho, en la mayoría de las modalidades prácticas de la invención, los mismos criterios con respecto a la diferencia en el régimen de flujo con al menos el carril de tubo interior generalmente se aplican a ambos carriles de tubos exteriores.

Al menos un carril de tubo exterior generalmente tiene un régimen de flujo de carril que es diferente de cualquiera de los segundos carriles de tubos, y preferentemente también es diferente de cualquiera de los carriles de tubos cuartos y adicionales, con mayor preferencia diferente de cualquiera de los carriles de tubos terceros y adicionales, aún con mayor preferencia diferente de cualquiera de los carriles de tubos interiores.

Al menos un carril de tubo exterior generalmente tiene un régimen de flujo de carril que es 90-110 % del régimen de flujo de carril de al menos un carril de tubo interior, preferentemente de cualquiera de los carriles de tubos interiores.

En caso de que el régimen de flujo de al menos un carril de tubo exterior sea inferior al de uno o más de los carriles de tubos interiores, al menos un carril de tubo exterior puede tener un régimen de flujo de 90-99 %, por ejemplo 95-98 %, del régimen de flujo de carril del carril de tubo interior con el régimen de flujo más alto. Al menos un carril de tubo exterior puede tener además un régimen de flujo de carril que es 90-99 %, por ejemplo, 95-98 %, del régimen de flujo de cualquiera de los carriles de tubos interiores cuartos y adicionales, o de cualquiera de los carriles de tubos interiores terceros y adicionales, o incluso cualquiera de todos los carriles de tubos interiores.

En caso de que el régimen de flujo de al menos un carril de tubo exterior sea mayor que el de uno o más de los carriles de tubos interiores, al menos el carril de tubo exterior puede tener un régimen de flujo de 101-110 %, por ejemplo 102-105 %, del régimen de flujo de carril del carril de tubo interior con el régimen de flujo de carril más bajo. Al menos un carril exterior puede tener además un régimen de flujo de carril que sea de 101-110 %, por ejemplo, de 102-105 %, del régimen de flujo de cualquiera de los carriles de tubos interiores cuartos y adicionales, o de cualquiera de los carriles de tubos interiores terceros y adicionales, o incluso de cualquiera de todos los carriles de tubos interiores.

Con el fin de disminuir la propagación de la temperatura sobre la cámara del reformador aún más y/o para lograr una distribución de temperatura aún más uniforme sobre la cámara del reformador, puede establecerse que uno o ambos segundos carriles de tubos tengan un régimen de flujo diferente de uno o más de los carriles de tubos interiores terceros y adicionales. Como ya se explicó anteriormente, un segundo carril de tubo es un carril de tubo adyacente a un carril de tubo exterior y otro carril interior adicional (*es decir* el tercer carril de tubo). Independientemente de si el régimen de flujo de carril de uno o ambos carriles de tubos exteriores se estableció para ser mayor o menor que el régimen de flujo de uno o más de los carriles de tubos interiores, el régimen de flujo de carril de uno o ambos carriles de tubo segundos puede elegirse independientemente para ser mayor o menor que los carriles de tubos terceros o adicionales. Esto se determinará principalmente mediante la intensidad de rendimiento de los quemadores y el régimen de flujo de carril de al menos un carril de tubo exterior.

En caso de que el régimen de flujo de al menos un segundo carril de tubo sea inferior al de uno o más de los otros carriles de tubos interiores, al menos un segundo carril de tubo puede tener un régimen de flujo de carril del 90-99 %, por ejemplo 95-98 %, del régimen de flujo de carril del carril de tubo interior con el régimen de flujo de carril más alto. Al menos un segundo carril de tubo puede tener además un régimen de flujo de carril que es 90-99%, por ejemplo, 95-98%, del régimen de flujo de cualquiera de los carriles de tubos interiores cuartos y adicionales, o de cualquiera de los carriles de tubos interiores terceros y adicionales.

En caso de que el régimen de flujo de al menos un segundo carril de tubo sea mayor que el de uno o más de los otros carriles de tubos interiores, al menos un segundo carril de tubo puede tener un régimen de flujo de 101-110 %, por ejemplo 102-105 %, del régimen de flujo de carril del carril de tubo interior con el régimen de flujo de carril más bajo. Al menos un carril exterior puede tener además un régimen de flujo de carril que sea del 101-110 %, por ejemplo, del 102-105 %, del régimen de flujo de cualquiera de los carriles de tubos interiores cuartos y adicionales, o de cualquiera de los carriles de tubos interiores terceros y adicionales.

Para disminuir la propagación de la temperatura sobre la cámara del reformador aún más y/o para lograr una distribución de temperatura aún más uniforme sobre la cámara del reformador, uno o ambos terceros carriles de tubos también pueden establecerse para que tengan un régimen de flujo de carril diferente de los carriles de tubos interiores cuartos y adicionales. Se aplican los mismos criterios para la diferencia que se describió anteriormente para el segundo carril de tubo.

Generalmente, no hay mucha diferencia entre los regímenes de flujos de la mayoría de los carriles de tubos interiores. La diferencia en el régimen de flujo de carril entre dos cualesquiera de los carriles de tubos cuartos y adicionales, o incluso entre dos cualesquiera de los carriles de tubos terceros y adicionales, puede ser inferior al 1 %, preferentemente inferior al 0,5 %, aún con mayor preferencia inferior al 0,1%, según el régimen de flujo de carril más bajo de los dos. Generalmente, el régimen de flujo de los carriles de tubos cuartos y adicionales, o incluso de los carriles de tubos terceros y adicionales, es aproximadamente el mismo. En consecuencia, el régimen de flujo de estos carriles no se establece para ser diferente de la mayoría de los carriles de tubos interiores. En una modalidad, la diferencia en el régimen de flujo de carril entre cualquiera de los dos carriles interiores es inferior al 0,5 %, por ejemplo, inferior a 0,1 %, según el régimen de flujo de carril más bajo de los dos.

En una modalidad preferida, la presente invención puede combinarse con la enseñanza del documento US 2011/0220847. En consecuencia, los quemadores laterales (*es decir*, los quemadores que se ubican adyacentes a una pared lateral de la cámara del reformador), pueden tener una o más propiedades de inyección diferentes de los quemadores centrales (*es decir*, los quemadores que no se encuentran adyacentes a una pared de la cámara del reformador). Una o más propiedades de inyección se seleccionan del grupo que consiste en el ángulo del inyector de oxidante, el ángulo del inyector de combustible, el régimen de flujo al que el oxidante sale del inyector de oxidante, el régimen de flujo al que el combustible sale del inyector de combustible, la cantidad de inyectores de oxidante, la ubicación de los inyectores de oxidante, la cantidad de inyectores de combustible y la ubicación de los inyectores de combustible. De esta manera, la propagación de la temperatura que puede ocurrir especialmente en las esquinas de la cámara del reformador puede reducirse adicionalmente. En consecuencia, especialmente los cuatro quemadores en las esquinas de la parte superior o inferior de la cámara del reformador pueden ajustarse para tener diferentes propiedades de inyección que los quemadores centrales. Además, la relación de combustible a oxidante puede elegirse de manera diferente en los quemadores adyacentes a una pared refractaria (especialmente los quemadores de las cuatro esquinas) y los quemadores centrales.

La invención se dirige además a un reformador de encendido superior o inferior en donde pueden llevarse a cabo los métodos de la invención. Por lo tanto, la invención se dirige a un reformador de encendido superior o inferior que puede usarse para calentar un gas del proceso y/o para mejorar la distribución de temperatura en el reformador, el cual comprende:

- una cámara del reformador que comprende carriles alternos de quemadores y tubos del reformador;
- al menos tres carriles de tubos del reformador, en donde cada carril comprende

a) múltiples tubos del reformador y
b) un colector de gas para distribuir el gas del proceso por los tubos del reformador,
en donde el colector de gas tiene al menos una entrada para que el gas del proceso ingrese al colector de gas y múltiples salidas para que el gas del proceso salga del colector de gas y se alimente a los tubos del reformador,

en donde cada uno de los múltiples tubos del reformador de un cierto carril tiene una entrada que se conecta de manera fluida al menos a una de las salidas del colector de gas de ese mismo carril,
en donde dichos al menos tres carriles comprenden dos carriles exteriores y al menos un carril interior; y

- al menos dos carriles de quemadores que se ubican en la parte superior o inferior de la cámara del reformador en donde cada carril de quemadores se coloca entre dos carriles de tubos del reformador o entre un carril exterior de tubos del reformador y una pared lateral de la cámara del reformador; y
- opcionalmente, un distribuidor de gas para distribuir gas del proceso a los colectores de gas, cuyo distribuidor de gas tiene al menos una entrada para que entre el gas del proceso y múltiples salidas para que salga el gas del proceso y para proporcionar gas del proceso a los colectores de gas, en donde cada entrada de colector de gas se conecta de manera fluida a una de las múltiples salidas del distribuidor de gas; y
- un regulador de flujo que se ubica aguas arriba de las entradas del tubo de reformador en el colector de gas que proporciona al menos un carril exterior con gas del proceso, o aguas arriba del mismo, para establecer el régimen de flujo al que se proporciona el gas del proceso en el colector de gas de uno de los carriles exteriores, de manera que se proporciona gas del proceso al colector de gas de dicho uno de los carriles exteriores a un régimen de flujo diferente del colector de gas de al menos un carril interior; y
- opcionalmente uno o más reguladores de flujo adicionales para establecer el régimen de flujo al que se proporciona gas del proceso al colector de gas de otros carriles que no sean dichos carriles exteriores.

El regulador de flujo puede conectarse al reformador como se describió anteriormente.

Como se explicó anteriormente, uno o más reguladores de flujo pueden estar presentes en el reformador. Típicamente, los colectores de gas de ambos carriles de tubos exteriores se proporcionan con un regulador de flujo (ya sea a la entrada del colector de gas o aguas arriba del colector de gas). Además, los colectores de gas de los segundos carriles de tubos se proporcionan preferentemente con un regulador de flujo (ya sea a la entrada del colector de gas o aguas arriba del colector de gas).

La configuración básica de un reformador de encendido superior o inferior también se describió anteriormente. Esta configuración también se aplica al reformador de la invención. Además, la descripción del (de los) colector(es) de gas, el distribuidor de gas y/o los reguladores de flujo que se describieron anteriormente para los métodos de la invención también se aplican al reformador de la invención.

Una mejora importante de la invención es la simplicidad del sistema y la facilidad de control y operabilidad para los operadores del reformador. Una mejor propagación de la temperatura sobre el horno permite un control más estricto de la temperatura a la que los materiales del horno (*por ejemplo,* tubos, sistema de entrada y salida) se exponen durante su vida útil. Por lo tanto, puede lograrse un ahorro de costos al aumentar la vida útil general del reformador.

La implementación de la invención es relativamente fácil y requiere bajos costos de mantenimiento y operación, a diferencia del equilibrio de quemadores individuales que requiere una medición iterativa de la temperatura del tubo y un ajuste prolongado de cada quemador en un ambiente cálido.

Ejemplo 1:

Se diseña un reformador de vanguardia convencional con 8 carriles de tubos. Suponiendo que los dos carriles de tubos exteriores estarán más fríos en 15 °C en comparación con los carriles interiores, la temperatura del gas del proceso que sale de los diferentes carriles podría ser la siguiente:

| | carril exterior | 2$^{do}$ carril | 3$^{er}$ carril | 4$^{to}$ carril | 4$^{to}$ carril | 3$^{er}$ carril | 2$^{do}$ carril | carril exterior | promedio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Temperatura | 870 | 880 | 885 | 885 | 885 | 885 | 880 | 870 | 880 |

Dado que la temperatura de salida se controla a 880 °C y la temperatura de diseño del tubo más caliente se establece según los datos históricos y, por lo tanto, se vincula a la temperatura de salida del gas del proceso de los carriles interiores, la temperatura de diseño se establecería realmente según una temperatura de salida de 885 °C.

Al aplicar la presente invención, el régimen de flujo de carril de los carriles exteriores, y posiblemente también de los segundos carriles de tubos, puede establecerse de manera diferente que la mayoría de los carriles interiores, aumentando de esta manera la temperatura de estos carriles a 880 °C. Como resultado, la temperatura de salida del tubo más caliente (promedio del carril) puede reducirse en 5 °C, por lo tanto, la temperatura de diseño del tubo catalizador puede reducirse en 5 °C, lo que resulta en una reducción significativa en el grosor de la pared del tubo. Por lo tanto, el costo del material del reformador puede reducirse significativamente.

Ejemplo 2:

En este ejemplo, la configuración del colector de gas como se representa en las Figuras 4 y 5 (casos A-C) se usó para ilustrar la invención y se comparó con un horno reformador en donde el 50 % de los tubos que se identificaron como los

más fríos en el caso A estaban equipados con un regulador de flujo, es decir, un orificio o una válvula como lo enseña el documento EP2671634 (Caso D).

La temperatura del metal del tubo de un horno con múltiples carriles de tubos se calculó para el caso A (Figura 5, izquierda). El número de tubos por carril era de 44 y el diseño era de manera que un distribuidor de gas central suministraba la alimentación gaseosa a los colectores de gas individuales para cada hilera de tubos, proporcionando así los tubos de reformado de un carril de tubo con gas del proceso.

El carril de tubo al lado de la pared lateral se señala como la hilera 1 (carril de tubo exterior), el siguiente carril de tubo hacia el centro del reformador es la hilera 2 y el carril de tubo que está en el lado derecho de la figura se señala como hilera 3.

En el caso A, no había ningún dispositivo de control en el sistema de colector de entrada de gas ni en los tubos. En el caso B, se colocaron 2 válvulas en el colector de gas, lo que permite controlar el flujo que se distribuye a las hileras 3, 2 y 1 independientemente. En el caso C, para cada colector de gas, la mitad de la parte de carril del colector de gas se equipó con un único regulador de flujo, lo que permite controlar el flujo en los colectores de gas individuales de todos los carriles de tubos.

Finalmente, para un ejemplo comparativo (caso D), el 50 % de los tubos que se identificaron como los tubos más fríos en el caso A, se equiparon con un regulador de flujo, es decir, un orificio o una válvula como lo enseñó el documento EP2671634.

Las temperaturas del metal del tubo para el caso A se marcan en la Figura 6. Puede reconocerse claramente que el carril de tubo más frío es el más cercano a la pared lateral del reformador, que se señala como la hilera 1. La diferencia notable entre la temperatura promedio del metal del tubo de la hilera 1 y las hileras 2 y 3 puede ser el resultado del uso de un rendimiento absorbido relativamente bajo en el carril exterior en comparación con los carriles centrales.

La propagación máxima que se observa en las temperaturas del metal de los tubos al nivel donde se mide es de aproximadamente 54 °C, con un valor máximo de temperatura de tubo de 971 °C.

Las temperaturas del metal de los tubos para el caso B se representan en la figura 7. El régimen de flujo al colector de gas del carril de tubo exterior (hilera 1) se redujo mediante el regulador de flujo y, como consecuencia, las temperaturas de la pared del tubo aumentaron. El carril exterior todavía muestra una temperatura ligeramente más fría en promedio (943 °C) en comparación con los otros carriles (953 °C para la hilera 2 y 949 °C para la hilera 3). La propagación máxima que se observa en las temperaturas del metal de los tubos al nivel donde se mide disminuye a 37 °C en comparación con el caso A, con un valor máximo de temperatura del tubo de 964 °C, que disminuye en 7 °C en comparación con el caso A.

Las temperaturas del metal del tubo para el caso C se representan en la Figura 8. El régimen de flujo hacia el carril exterior (hilera 1) se redujo mediante los dos dispositivos de flujo y, como consecuencia, la temperatura de la pared del tubo aumentó. El dispositivo de flujo en dos partes del colector de gas se manipuló de manera diferente, lo que resultó en un flujo ligeramente menor a los tubos de alimentación de la parte del colector de gas del 1 al 21 en comparación con los otros tubos de alimentación de la parte del colector de gas 22-44. El carril exterior (hilera 1) muestra una temperatura comparable en promedio (946 °C) en comparación con los otros carriles de tubos (952 °C para la hilera 2 y 948 °C para la hilera 3). La propagación máxima que se observa en las temperaturas del metal de los tubos al nivel donde se mide disminuye a 33 °C, con un valor máximo de temperatura del tubo de 962 °C, que disminuye en 9 °C en comparación con el caso A.

Las temperaturas del metal de los tubos para el caso D se representan en la Figura 5. El caso D se obtiene después de la instalación de orificios de restricción calibrados o reguladores de flujo en el 50 % de los tubos que se han identificado como tubos fríos. El carril exterior (hilera 1) todavía muestra una temperatura ligeramente inferior en promedio (943 °C) en comparación con los otros carriles (950 °C para la hilera 2 y 952 °C para la hilera 3). La propagación máxima que se observa en las temperaturas del metal de los tubos al nivel donde se mide se reduce a 34 °C, con un valor máximo de temperatura del tubo de 961 °C, se reduce en 10 °C en comparación con el caso A. En comparación con el caso B y C, la temperatura máxima del metal del tubo se mejora marginalmente, mientras que la propagación de la temperatura que se observa sobre el horno está a la par en comparación con el caso C.

El caso D tiene el mayor inconveniente de que los orificios pueden colocarse solo después de la identificación de los tubos fríos. La razón por la cual los tubos están fríos puede relacionarse en parte con la carga del catalizador. Se sabe que el catalizador debe reemplazarse varias veces durante la vida útil del reformador y, por lo tanto, el caso D impone el reemplazo de los orificios de restricción en cada recarga, después de la identificación del tubo frío. Además, el número de reguladores de flujo es muy alto en comparación con los casos B y C. Por lo tanto, se cree que la instalación de dispositivos de control en el sistema de colector de gas de entrada (colector de gas y/o distribuidor de gas) puede proporcionar una forma práctica y asequible de obtener una reducción muy significativa en la temperatura máxima del tubo, así como también una reducción en la propagación de la temperatura del tubo en el horno.

En comparación con el caso D, los casos B y C permiten alcanzar el objetivo deseado mediante el uso de menos equipos, que pueden controlarse en línea y ajustarse en función de las condiciones de alimentación (cuando cambia la calidad de la materia prima) y la capacidad.

orificios de restricción en cada recarga, después de la identificación del tubo frío. Además, el número de reguladores de flujo es muy alto en comparación con los casos B y C. Por lo tanto, se cree que la instalación de dispositivos de control en el sistema de colector de gas de entrada (colector de gas y/o distribuidor de gas) puede proporcionar una forma práctica y asequible de obtener una reducción muy significativa en la temperatura máxima del tubo, así como también una reducción en la propagación de la temperatura del tubo en el horno.

En comparación con el caso D, los casos B y C permiten alcanzar el objetivo deseado mediante el uso de menos equipos, que pueden controlarse en línea y ajustarse en función de las condiciones de alimentación (cuando cambia la calidad de la materia prima) y la capacidad.

**REIVINDICACIONES**

1. El método para calentar un gas del proceso (5) en un reformador de encendido superior o inferior (1) que comprende dos carriles exteriores de tubos del reformador (10) y uno o más carriles interiores de tubos del reformador (11,12), el método que comprende hacer fluir gas del proceso (5) a través de los tubos del reformador (4) de los carriles interiores y exteriores,
en donde cada carril tiene un régimen de flujo de carril, que se define como la cantidad total de gas del proceso que fluye a través de los tubos del reformador de dicho carril por unidad de tiempo,
en donde el régimen de flujo de carril de al menos un carril exterior (10) es diferente del régimen de flujo de carril de al menos un carril interior (11, 12) al establecer el régimen de flujo de carril de dicho carril de tubo exterior aguas arriba de las entradas del tubo de reformador en un colector de gas (102) que proporciona dicho al menos un carril exterior (1) con gas del proceso, o aguas arriba del mismo.

2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el régimen de flujo de carril de dicho al menos un carril de tubo exterior se establece o se ha establecido en el colector de gas.

3. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho colector de gas (102) para proporcionar los tubos del reformador en dicho carril con gas del proceso, tiene
al menos una entrada para que el gas del proceso entre en el colector de gas (102); y
múltiples salidas para que el gas del proceso salga del colector de gas (102) y alimente a los tubos del reformador (4) de al menos un carril exterior (10);
en donde cada tubo de reformador (4) de dicho al menos un carril exterior (10) se conecta de manera fluida a al menos una de las salidas del colector de gas (102), y en donde el colector de gas se proporciona con un gas del proceso a un régimen de flujo de manera que al menos un carril exterior (10) tenga un régimen de flujo de carril diferente de al menos un carril interior (11, 12).

4. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el carril exterior se proporciona con un régimen de flujo de carril que es diferente del régimen de flujo de carril de al menos un carril interior al establecer el régimen de flujo al que se proporciona el colector de gas de dicho carril exterior con gas del proceso.

5. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el régimen de flujo de carril se establece o se ha establecido al proporcionar un regulador de flujo (105) aguas arriba de los tubos del reformador.

6. El método de acuerdo con la reivindicación 4 o 5, en donde se usa un regulador de flujo (105) para proporcionar el régimen de flujo del carril de al menos un carril exterior diferente del régimen de flujo de carril de al menos un carril interior, en donde el regulador de flujo (105) bloquea u obstruye parcialmente el flujo de gas del proceso que se proporciona al colector de gas de al menos un carril exterior.

7. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4-6, en donde el regulador de flujo (105) es un inserto, una válvula, una placa, una placa de orificio, un orificio de restricción o una tobera Venturi.

8. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4-7, en donde se proporciona el regulador de flujo (105)
- a la entrada del colector de gas de al menos un carril exterior; o
- a una entrada de tubo de un tubo que proporciona gas del proceso al colector de gas de al menos un carril exterior.

9. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada carril de tubos del reformador comprende un colector de gas (102, 103, 104) para proporcionar a los tubos del reformador en el carril con gas del proceso, cada colector de gas que tiene
- al menos una entrada para que el gas del proceso ingrese al colector de gas y
- múltiples salidas para que el gas del proceso salga del colector de gas y alimente a los tubos del reformador,
en donde cada tubo de reformador de un cierto carril se conecta de manera fluida a una de las múltiples salidas del colector de gas de ese mismo carril, y
en donde el reformador comprende además un distribuidor de gas para distribuir el gas del proceso sobre los colectores de gas, en donde el distribuidor de gas comprende
- al menos una entrada para que el gas del proceso entre en el distribuidor de gas,
- múltiples salidas para que el gas del proceso salga del distribuidor de gas y se alimente a los colectores de gas,
en donde cada entrada del colector de gas se conecta de manera fluida a una de las múltiples salidas del distribuidor de gas,
en donde el régimen de flujo de carril de al menos un carril exterior es diferente del régimen de flujo de carril de al menos un carril interior al crear una caída de presión entre el colector de gas de al menos un carril exterior y el distribuidor de gas.

10. El método de acuerdo con la reivindicación 9, en donde la caída de presión se crea mediante el regulador de flujo.

11. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde uno o ambos carriles exteriores tienen un régimen de flujo de carril que es diferente de cualquier carril interior.

12. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores,
en donde uno o ambos carriles exteriores tienen un régimen de flujo de carril que es 90-99 %, por ejemplo 95-98 %, del régimen de flujo de carril del carril interior con el régimen de flujo de carril más alto; o
en donde uno o ambos carriles exteriores tienen un régimen de flujo de carril que es 101-110 %, por ejemplo 102-105 %, del régimen de flujo de carril del carril interior con el régimen de flujo de carril más bajo.

13. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores,
en donde uno o ambos carriles exteriores tienen un régimen de flujo de carril que es 90-99 %, por ejemplo 95-98 %, del régimen de flujo de carril de cualquiera de los carriles interiores; o
en donde uno o ambos carriles exteriores tienen un régimen de flujo de carril que es 101-110 %, por ejemplo 102-105 %, del régimen de flujo de carril de cualquiera de los carriles interiores.

14. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la diferencia en el régimen de flujo de carril entre los dos carriles exteriores es inferior al 0,5 %, preferentemente inferior al 0,1 %, según el carril exterior con el régimen de flujo de carril más bajo.

15. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho uno o más carriles interiores comprenden dos primeros carriles interiores y uno o más carriles interiores adicionales, en donde cada primer carril interior es adyacente a un carril exterior y a un carril interior adicional, y
en donde uno o los dos primeros carriles interiores tienen un régimen de flujo de carril que es diferente del régimen de flujo de carril del carril exterior adyacente al mismo y del régimen de flujo de carril del carril interior adicional adyacente al mismo.

16. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los quemadores que se ubican adyacentes a una pared lateral de la cámara del reformador pueden tener una o más propiedades de inyección diferentes de los quemadores que no se ubican adyacentes a una pared de la cámara del reformador,
en donde una o más propiedades de inyección se seleccionan del grupo que consiste en el ángulo del inyector de oxidante, el ángulo del inyector de combustible, el régimen de flujo al que el oxidante sale del inyector de oxidante, el régimen de flujo al que el combustible sale del inyector de combustible, la cantidad de inyectores de oxidante, la ubicación de los inyectores de oxidante, la cantidad de inyectores de combustible y la ubicación de los inyectores de combustible.

17. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se proporciona gas del proceso al colector de gas (102) que proporciona dicho al menos un carril exterior (1) con gas del proceso, cuyo gas del proceso que se proporciona al colector de gas (2) se proporciona en un régimen de flujo que se establece y, si es necesario, se ajusta además mediante un regulador de flujo que permite establecer y variar el régimen de flujo al que se proporciona el gas del proceso al colector de gas.

18. El reformador de encendido superior o inferior (1) para calentar un gas del proceso (5) y/o para mejorar la distribución de temperatura en el reformador, en donde el reformador comprende
- una cámara del reformador (2) que comprende carriles de quemadores alternos (6) y tubos del reformador (4);
- al menos tres carriles de tubos del reformador (4), en donde cada carril comprende
a) tubos del reformador múltiples (4) y
b) un colector de gas (102, 103, 104) para distribuir el gas del proceso sobre los tubos del reformador,
en donde el colector de gas tiene al menos una entrada para que el gas del proceso ingrese al colector de gas y múltiples salidas para que el gas del proceso salga del colector de gas y alimente a los tubos del reformador,
en donde cada uno de los múltiples tubos del reformador de un cierto carril tiene una entrada que se conecta de manera fluida al menos a una de las salidas del colector de gas de ese mismo carril,
en donde dichos al menos tres carriles comprenden dos carriles exteriores (10) y al menos un carril interior (11, 12); y
- al menos dos carriles de quemadores (6) que se ubican en la parte superior o inferior de la cámara del reformador en donde cada carril de quemadores se coloca entre dos carriles de tubos del reformador o entre un carril exterior de tubos del reformador y una pared lateral de la cámara del reformador; y
- opcionalmente, un distribuidor de gas para distribuir el gas del proceso a los colectores de gas, cuyo distribuidor de gas tiene al menos una entrada para que entre el gas del proceso y múltiples salidas para que salga el gas del proceso y para proporcionar el gas del proceso a los colectores de gas, en donde cada entrada de colector de gas se conecta de manera fluida a una de las múltiples salidas del distribuidor de gas; y
- un regulador de flujo (105), que se ubica aguas arriba de las entradas del tubo de reformador en el colector de gas (102) que proporciona al menos un carril exterior (1) con gas del proceso, o aguas arriba del mismo, para establecer el régimen de flujo al que se proporciona el gas del proceso al colector de gas de uno de los carriles exteriores, de manera que se proporciona gas del proceso al colector de gas de dicho uno de los carriles exteriores a un régimen de flujo diferente del colector de gas de al menos un carril interior; y
- opcionalmente uno o más reguladores de flujo adicionales para establecer el régimen de flujo al que se proporciona el gas del proceso al colector de gas de otros carriles que no sea uno de los carriles exteriores.

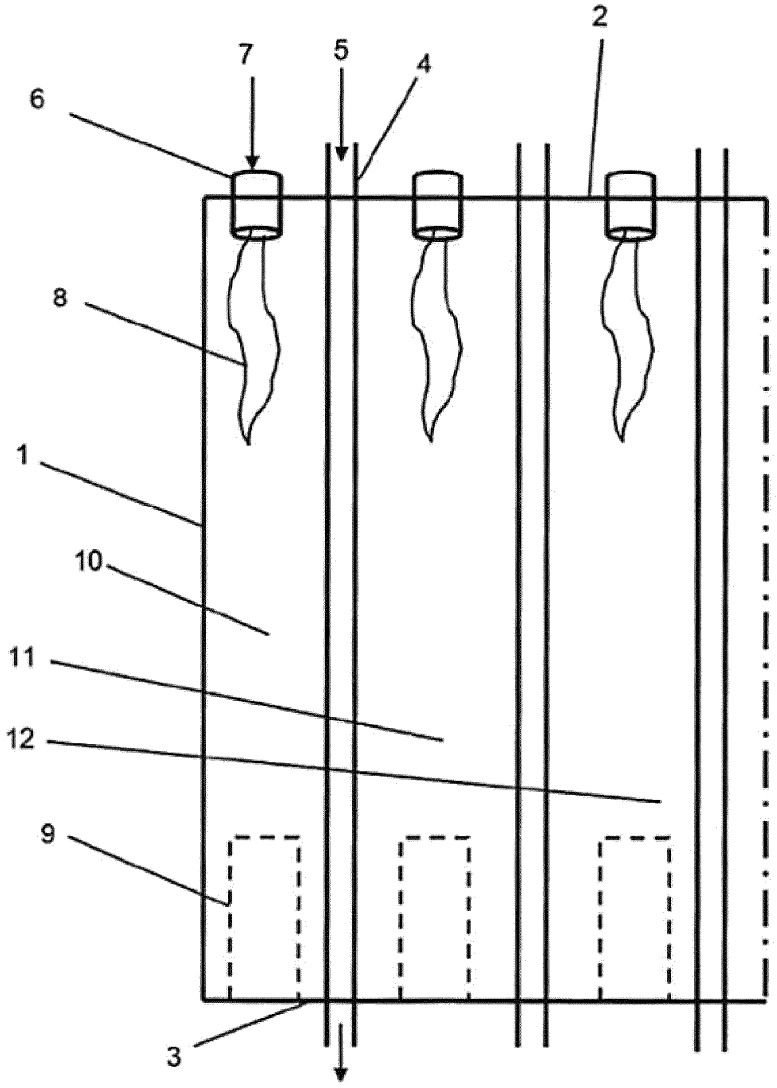


Fig. 1

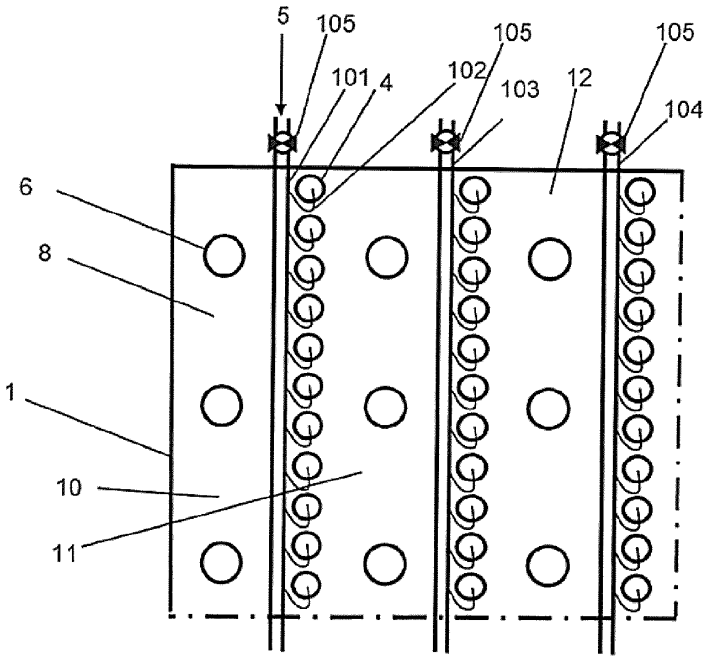
5
105
105
105
101
4
102
103
12
104
6
8
1
10
11

Fig. 2

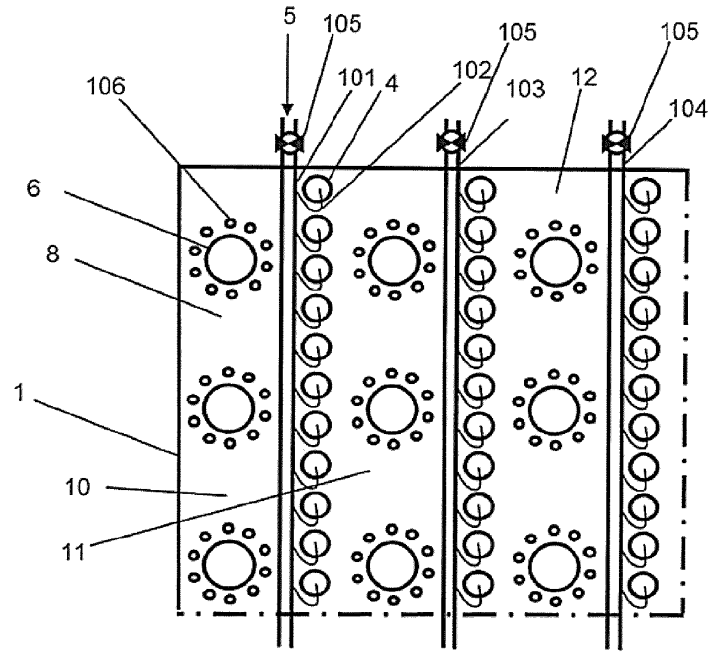
5
105
105
105
106
101
4
102
103
12
104
6
8
1
10
11

Fig. 3

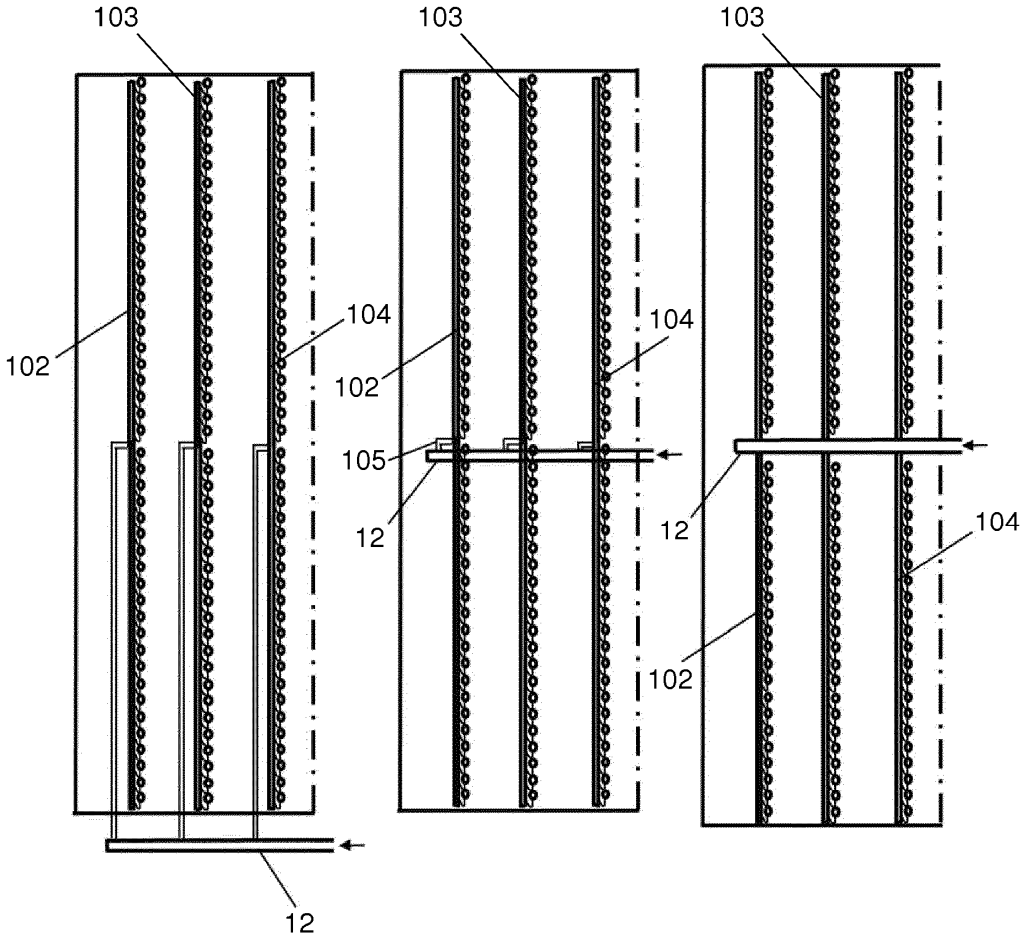


Fig. 4

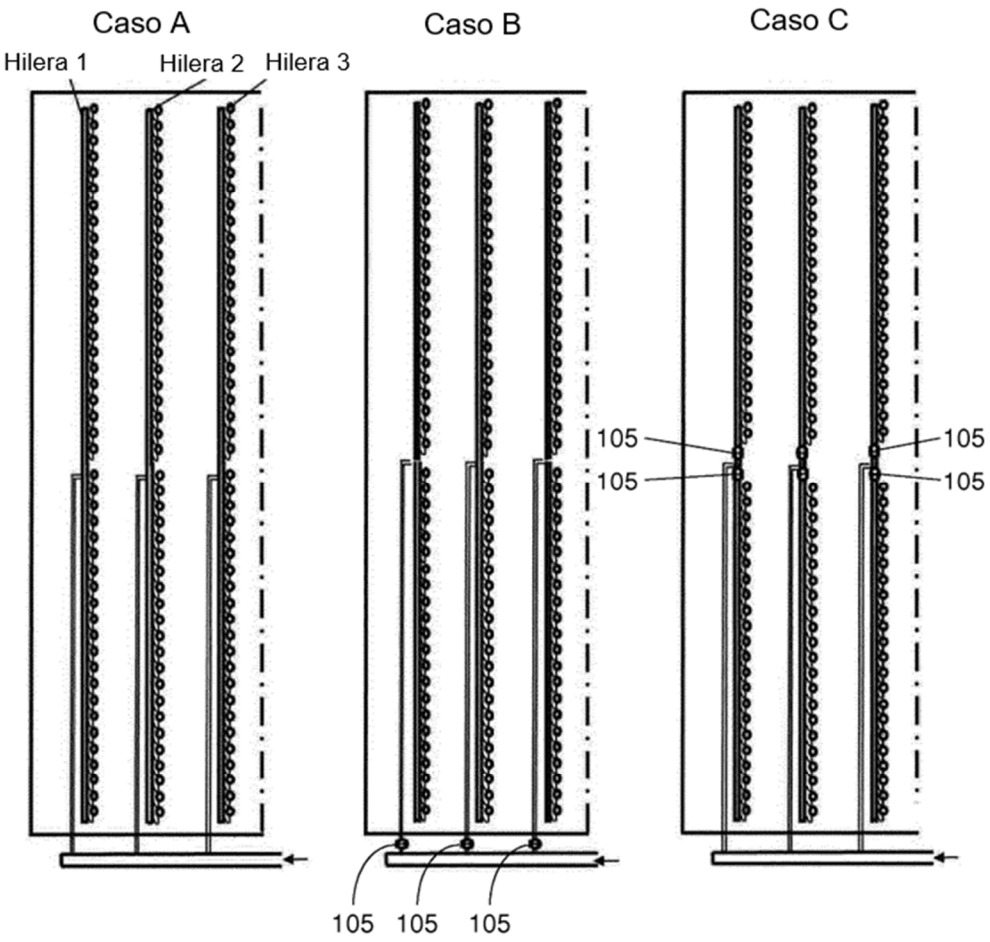
Caso A
Caso B
Caso C
Hilera 1
Hilera 2
Hilera 3
105
105
105
105
105
105
105

Fig. 5

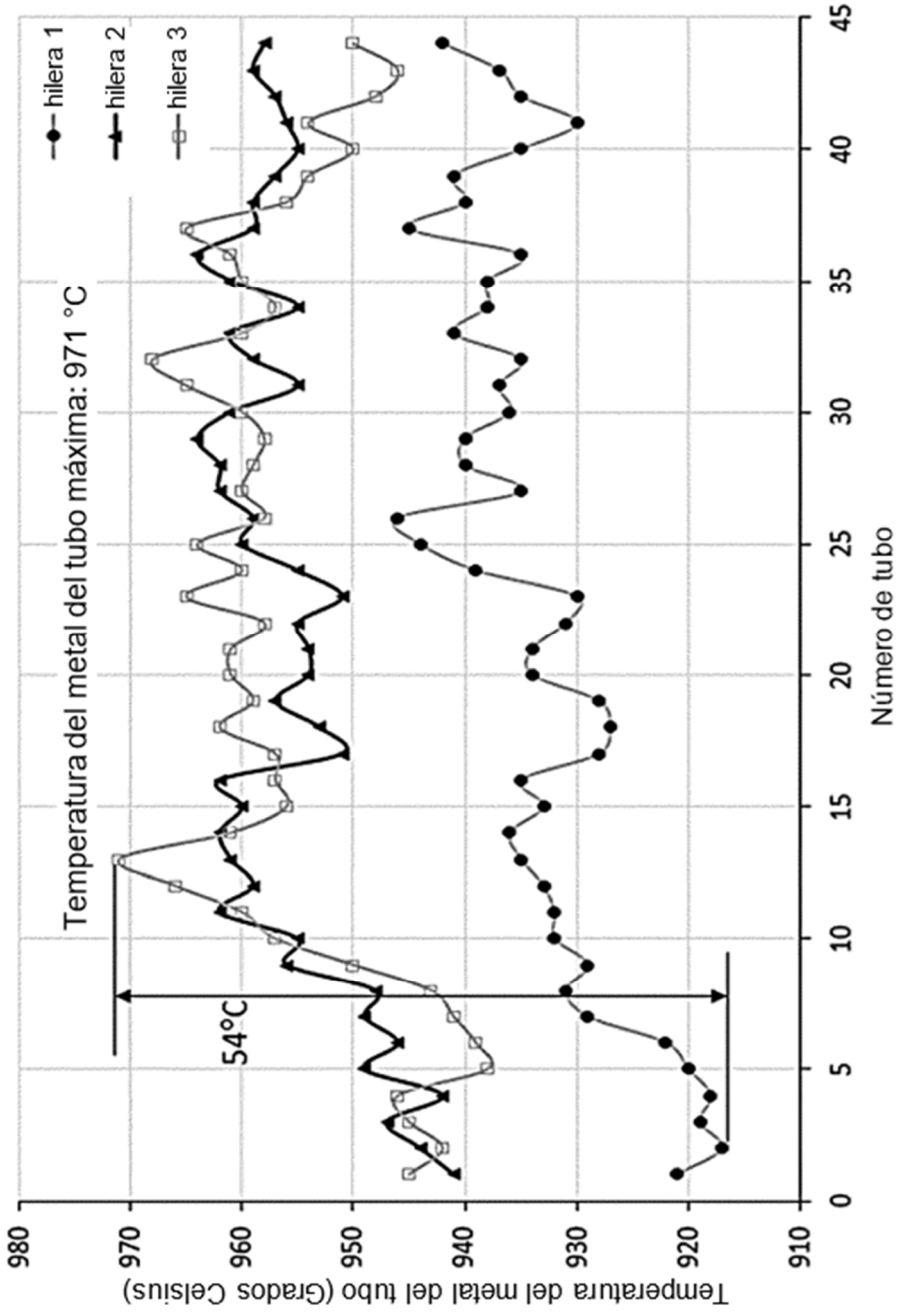
hilera 1
hilera 2
hilera 3
Temperatura del metal del tubo máxima: 971 °C
54°C
Temperatura del metal del tubo (Grados Celsius)
Número de tubo
980
970
960
950
940
930
920
910
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45

Fig. 6

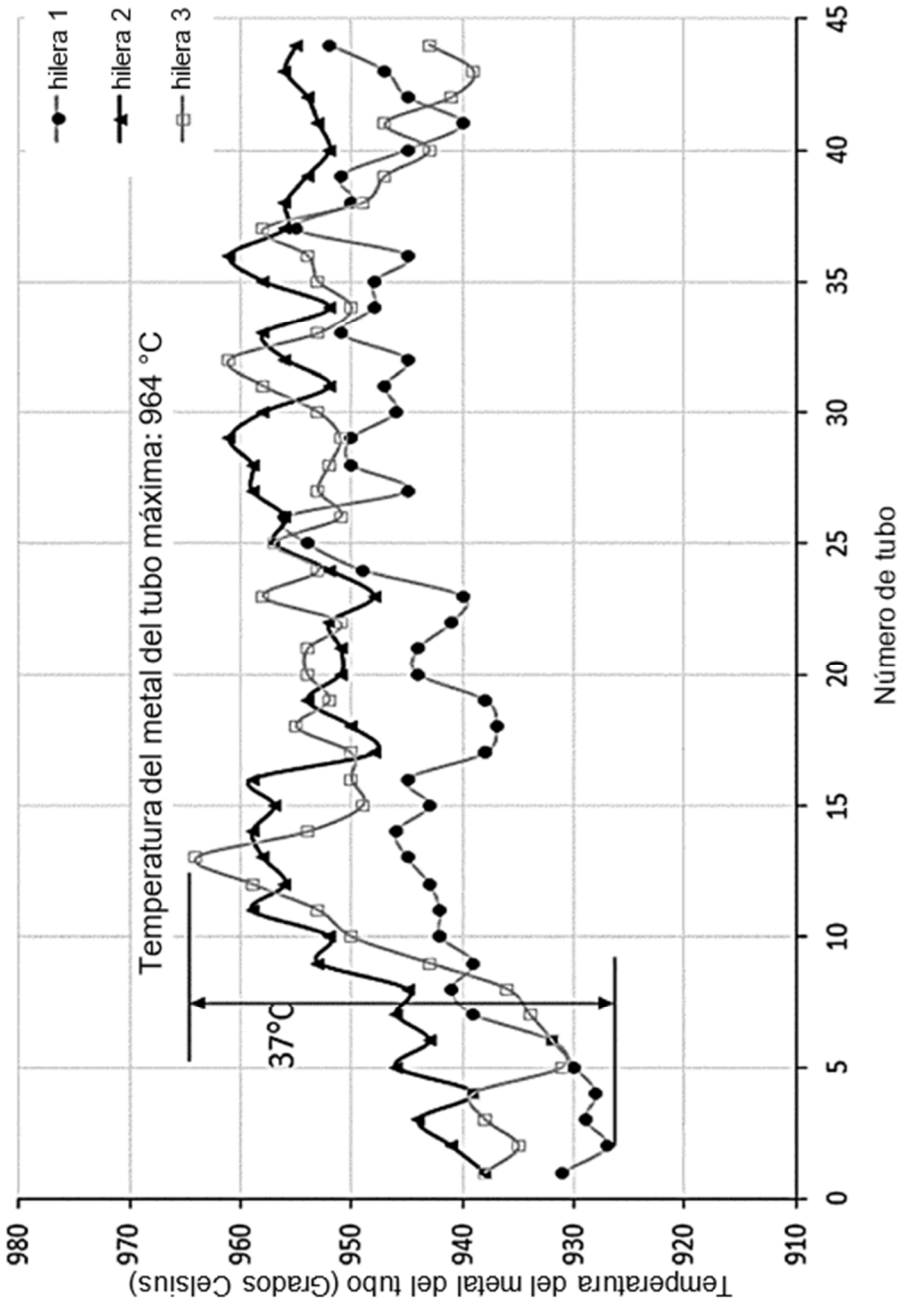
hilera 1
hilera 2
hilera 3
Temperatura del metal del tubo máxima: 964 °C
37°C
Temperatura del metal del tubo (Grados Celsius)
Número de tubo
980
970
960
950
940
930
920
910
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45

Fig. 7

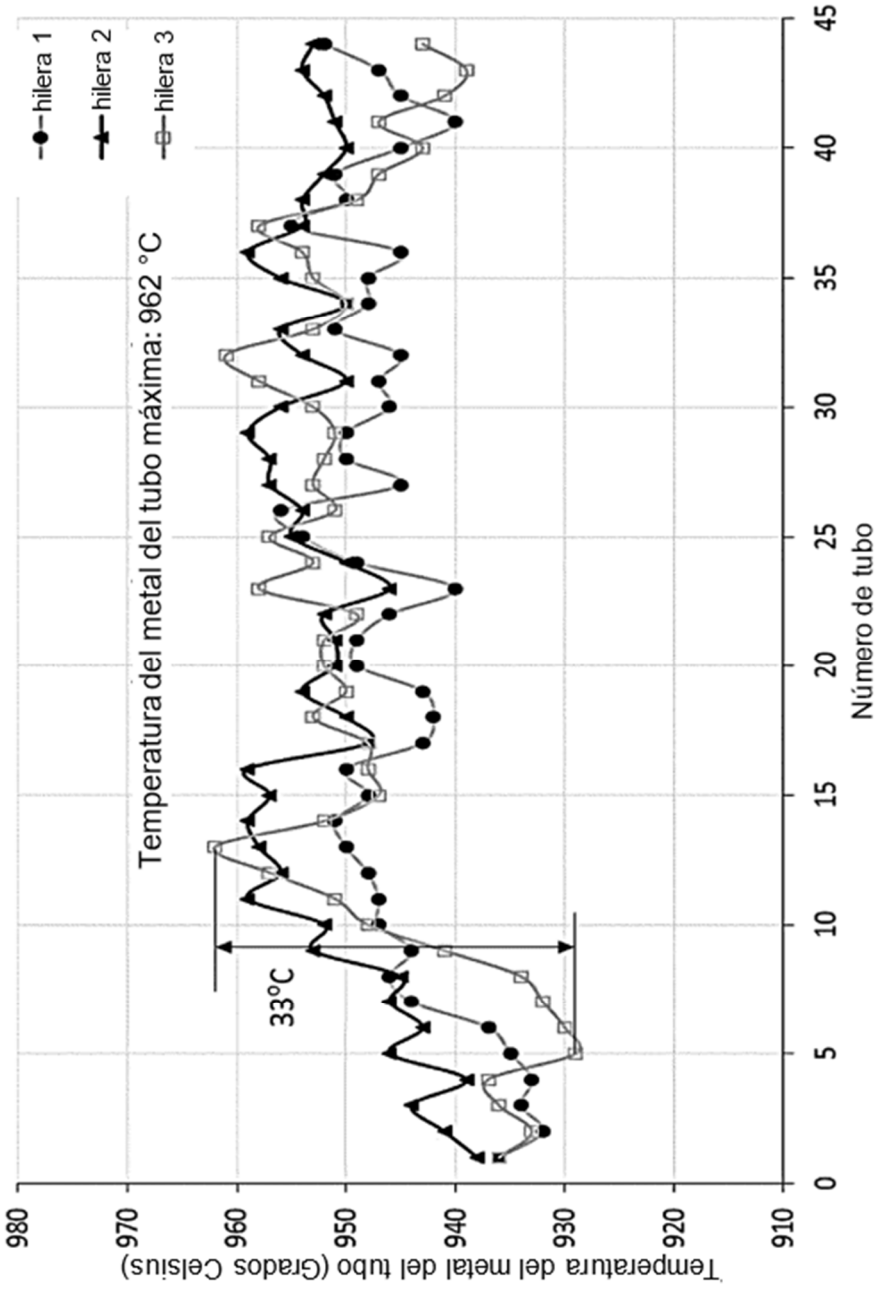
hilera 1
hilera 2
hilera 3
Temperatura del metal del tubo máxima: 962 °C
33°C
Temperatura del metal del tubo (Grados Celsius)
Número de tubo
980
970
960
950
940
930
920
910
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45

Fig. 8

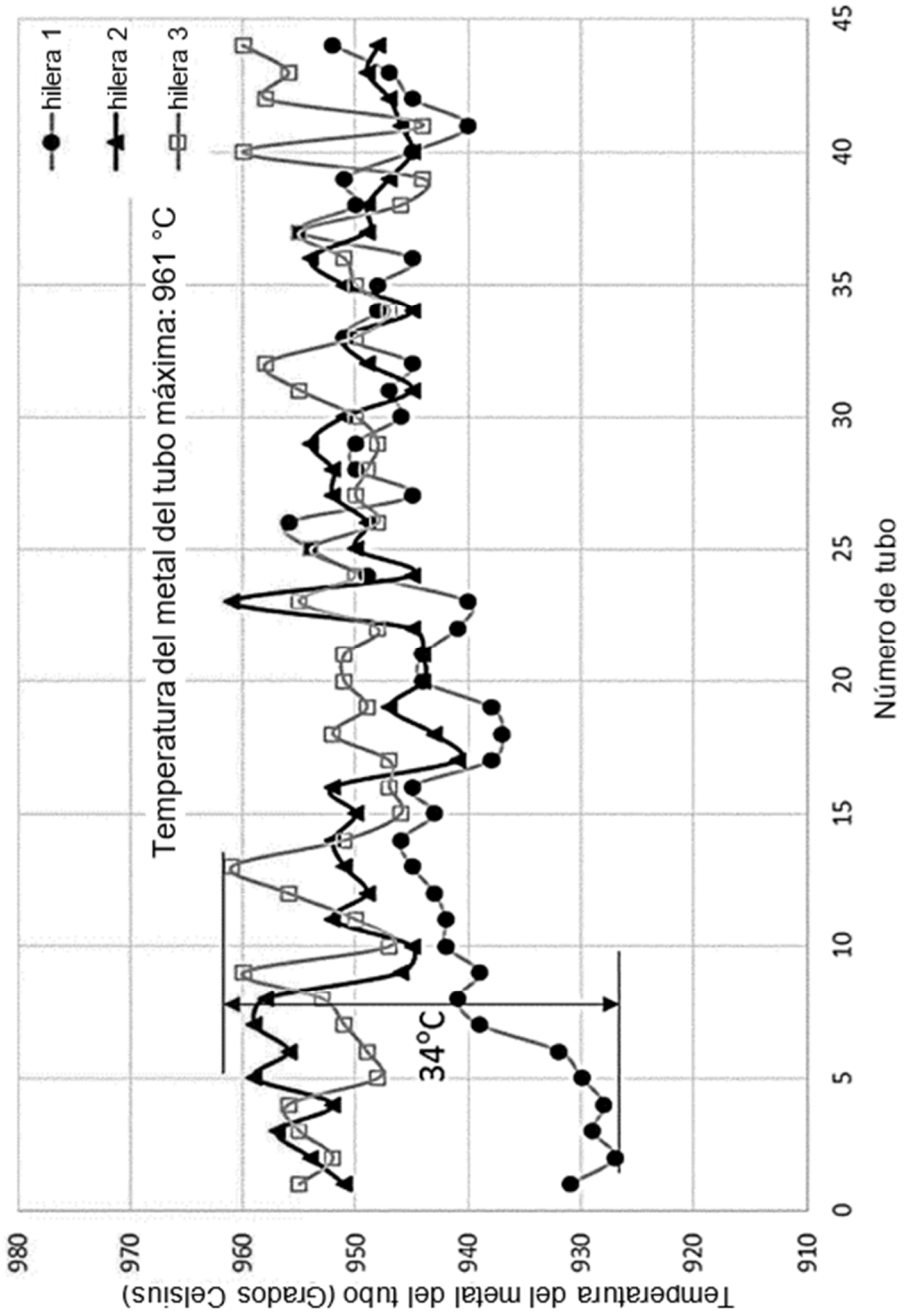
hilera 1
hilera 2
hilera 3
Temperatura del metal del tubo máxima: 961 °C
34°C
Temperatura del metal del tubo (Grados Celsius)
Número de tubo
980
970
960
950
940
930
920
910
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45

Fig. 9

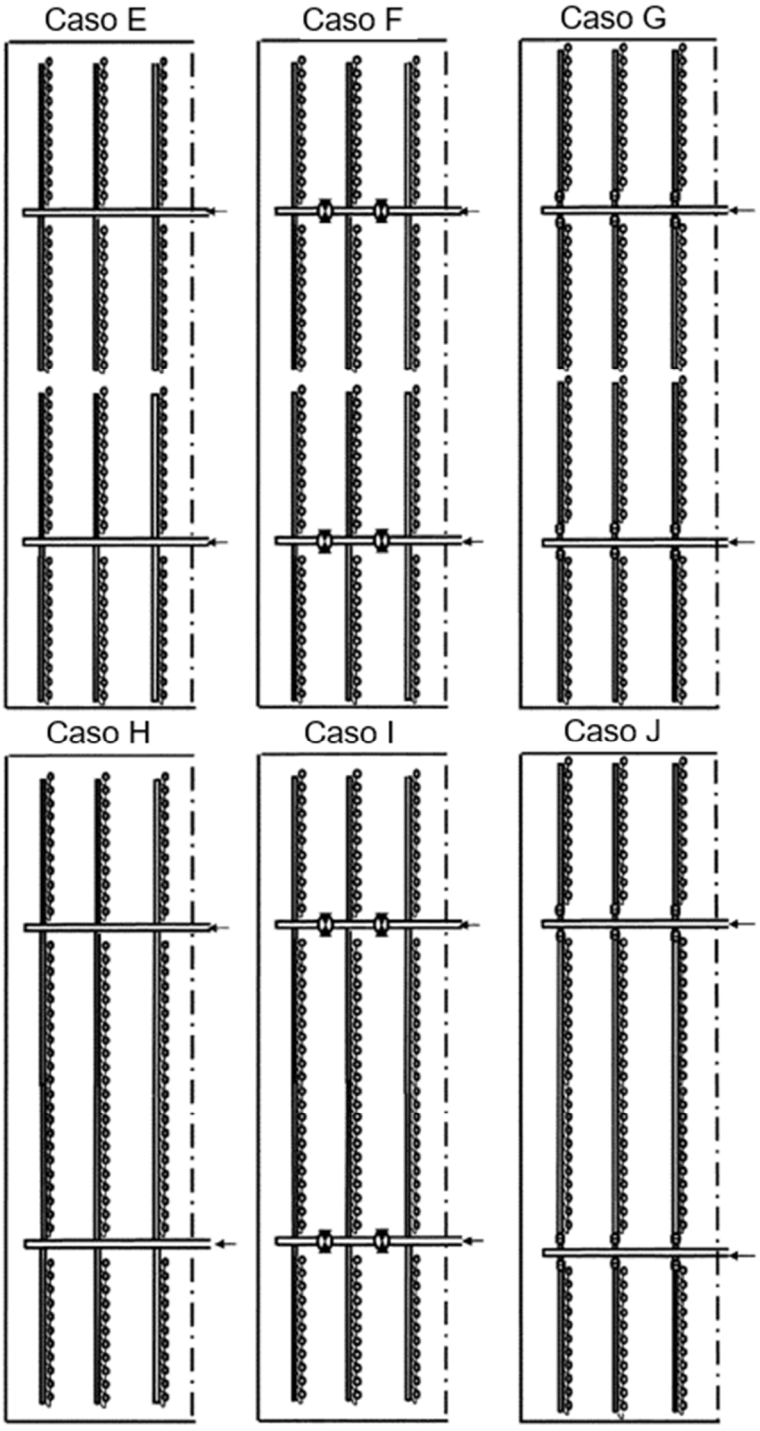


Fig. 10